

УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА У ЕРИ КЛИМАТСКИХ ПРОМЈЕНА

Цитирање монографије: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) (2023) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. У: Пржуљ Н, Говедар З (уредници) Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске (Едиција). Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 846

Monograph cite as: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) (2023) Natural resources management in a changing climate. In: Pržulj N, Govedar Z (eds) Sustainable development and management of natural resources of the Republic of Srpska (Edition). Academy of Science and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, pp 846

Едиција

ОДРЖИВИ РАЗВОЈ И УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Уредници едиције

Академик Ново Пржуљ

Проф. др Зоран Говедар, дописни члан АНУРС-а

Чланови Одбора за биотехничке науке:

Академик Ново Пржуљ, предсједник

Академик Миливоје Надаџдин, члан

Проф. др Зоран Говедар, дописни члан АНУРС-а, члан

Проф. др Радослав Грујић, члан

Проф. др Родољуб Тркуља, члан

Проф. др Војислав Тркуља, члан

Проф. др Александар Остојић, члан

Проф. др Милан Матаруга, члан

Проф. др Горан Трбић, члан

Проф. др Драгана Стојисављевић, члан

Проф. др Предраг Илић, члан

Цитирање едиције: Пржуљ Н, Говедар З (уредници) (2020) Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука

Edition

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES OF THE REPUBLIC OF SRPSKA

Edition editors

Academician Novo Pržulj

Prof. dr Zoran Govedar, corresponding member of the ASARS

Members of Committee on Biotechnical Sciences:

Academician Novo Pržulj, president

Academician Milivoje Nadaždin, member

Prof. dr Zoran Govedar, corresponding member of the ASARS, member

Prof. dr Radoslav Grujić, member

Prof. dr Rodoljub Trkulja, member

Prof. dr Vojislav Trkulja, member

Prof. dr Aleksandar Ostojić, member

Prof. dr Milan Mataruga, member

Prof. dr Goran Trbić, member

Prof. dr Dragana Stojisavljević, member

Prof. dr Predrag Ilić, member

Edition cite as: Pržulj N, Govedar Z (eds) (2020) Sustainable development and management of natural resources of the Republic of Srpska. Academy of Science and Arts of the Republic of Srpska

АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Научне монографије

Књига LIV

Одјељење природно-математичких и техничких наука

Одбор за биотехничке науке

Књига 52

Монографија

УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА У ЕРИ КЛИМАТСКИХ ПРОМЈЕНА

Главни уредник

Академик Рајко Кузмановић

Одговорни уредник

Академик Драго Бранковић

Уредник

Академик Бранко Шкундрић

Уредници монографије

Проф. др Горан Трбић

Проф. др Татјана Попов

Академик Драгољуб Мирјанић

Рецензенти

Проф. др Милутин Љешевић

Др Милан Радовановић



Бања Лука, 2023.

ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS OF THE REPUBLIC OF SRPSKA

Scientific monographs

Book LIV

Department of the natural, technical sciences and mathematics

Committee on Biotechnical Sciences

Book 52

Monograph

NATURAL RESOURCES MANAGEMENT IN A CHANGING CLIMATE

Editor-in-chief

Academician Rajko Kuzmanović

Executive editor

Academician Drago Branković

Editor

Academician Branko Škundrić

Monograph editors

Prof. dr Goran Trbić

Prof. dr Tatjana Popov

Academician Dragoljub Mirjanić

Reviewers

Prof. dr Milutin Lješević

Dr Milan Radovanović



Banja Luka, 2023

САДРЖАЈ

Подаци о ауторима текстова у монографији

Ријеч председника Академије наука и умјетности Републике Српске

Предговор *Едицији*

Предговор монографији

Рецензија 1

Рецензија 2

- 1 Климатске промјене и урбана клима на Западном Балкану 1
Стеван Савић, Горан Трбић, Драган Милошевић, Татјана Попов
- 2 Соларна енергетика и климатске промјене 41
Драгољуб Мирјанић, Томислав Павловић, Ивана Радоњић,
Галина Сажко
- 3 Милутин Миланковић – животно путовање и трагање за
промјеном климе у прошлости 79
Милован Пецељ, Милица Пецељ, Светозар Кољевић
- 4 Утицај савремених климатских промјена на биљни свијет 131
Татјана Попов
- 5 Климатске промјене и управљање земљиштем 273
Ружица Стричевић, Тихомир Предић, Михајло Марковић
- 6 Стратешки и плански документи као одговор на адаптацију
на климатске промјене 333
Дејан Филиповић, Љубица Душков
- 7 Савремене климатске промјене у Црној Гори 369
Драган Бурић, Владан Дуцић, Јелена Луковић
- 8 Хумана биоклиматологија – биоклиматски индекси UTCI и PET
у контексту климатских промјена – Примјер Бања Лука 401
Милица Пецељ
- 9 Геотермални потенцијал Републике Српске и могућност
коришћења субгеотермалних ресурса ниске енталпије у
функцији превенције климатских промјена 425
Петар Беговић, Бранко Иванковић, Дуња Јосиповић
- 10 Утицај климатских промјена на водне ресурсе у
Републици Српској 449
Свјетлана Лолић

-
- 11 Утицај климатских промјена на појаву болести и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа 477
Војислав Тркуља, Андрија Томић, Татјана Поповић,
Рената Иличић
 - 12 Дендроклиматологија: основни појмови, технике мјерења и могућности истраживања у Републици Српској 519
Раде Ивановић, Милан Миленковић
 - 13 Климатске промјене и здравље 545
Зоран Вујковић, Горан Трбић
 - 14 Савремене климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини 567
Татјана Попов, Владан Дуцић, Владимир Ђурђевић,
Горан Трбић, Слободан Гњато
 - 15 Климатски атлас Босне и Херцеговине 605
Даворин Бајић, Горан Трбић, Драгутин Аџић
Умјесто закључка 797
Горан Трбић, Татјана Попов, Драгољуб Мирјанић

CONTENT

Contributors contact details

A word from the president of the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska

Preface to the *Edition*

Foreword to the Monograph

Review 1

Review 2

- 1 Climate Change and Urban Climate in the Western Balkans 1
Stevan Savić, Goran Trbić, Dragan Milošević, Tatjana Popov
- 2 Solar Energy and Climate Change 41
Dragoljub Mirjanić, Tomislav Pavlović, Ivana Radonjić,
Galina Sazhko
- 3 Milutin Milanković – Life Journey and Search for Climate
Change in the Past 79
Milovan Pecelj, Milica Pecelj, Svetozar Koljević
- 4 The Impact of Recent Climate Change on Plants 131
Tatjana Popov
- 5 Climate Change and Land Management 273
Ružica Stričević, Tihomir Predić, Mihajlo Marković
- 6 Strategic and Planning Documents as Response to
Adaptation to Climate Change 333
Dejan Filipović, Ljubica Duškov
- 7 Contemporary Climate Change in Montenegro 369
Dragan Burić, Vladan Ducić, Jelena Luković
- 8 Human Bioclimatology – Bioclimatic Indices UTCI and PET
in the Context of Climate Change – Example of Banja Luka 401
Milica Pecelj
- 9 Geothermal Potential of the Republic of Srpska and the
Possibility of Using Low Enthalpic Subgeothermal Resources
in the Function of Climate Changes Prevention 425
Petar Begović, Branko Ivanković, Dunja Josipović
- 10 Climate Change Impact on Water Resources in the
Republic of Srpska 449
Svjetlana Lolić

-
- 11 The Impact of Climate Change on the Occurrence of Diseases and Pests of Agricultural Plants and Forest Trees 477
Vojislav Trkulja, Andrija Tomić, Tatjana Popović,
Renata Iličić
 - 12 Dendroclimatology: Basic Concepts, Measurement Techniques and Research Possibilities in the Republic of Srpska 519
Rade Ivanović, Milan Milenković
 - 13 Climate Change and Health 545
Zoran Vujković, Goran Trbić
 - 14 Recent Climate Change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina 567
Tatjana Popov, Vladan Ducić, Vladimir Đurđević,
Goran Trbić, Slobodan Gnjato
 - 15 Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina 605
Davorin Bajić, Goran Trbić, Dragutin Adžić
- Instead of a Conclusion 797
Goran Trbić, Tatjana Popov, Dragoljub Mirjanić

Подаци о ауторима текстова у монографији Contributors contact details

Драгутин Аџић

Географски информациони системи; Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: dragutin.adzic@pmf.unibl.org

Даворин Бајић

Географски информациони системи; Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: davorin.bajic@pmf.unibl.org

Петар Беговић

Геологија и хидрогеологија, Заштита подземних вода и животне средине; Интернационална асоцијација хидрогеолога – ИАХ, Рединг, Уједињено Краљевство; Удружење геолога Босне и Херцеговине, Сарајево, БиХ; Српско геолошко друштво, Београд, Србија
Мејл: begovic@ibis.ba

Драган Бурић

Физичка географија, Климатске промјене; Универзитет Црне Горе, Филозофски факултет, Никшић, Црна Гора
Мејл: draganburic33@gmail.com

Dragutin Adžić

Geographic information systems; University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: dragutin.adzic@pmf.unibl.org

Davorin Bajić

Geographic information systems; University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: davorin.bajic@pmf.unibl.org

Petar Begović

Geology and hydrogeology, Protection of groundwater and environment; International Association of Hydrogeologist – IAH, Reading, United Kingdom; Association of Geologist of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, B&H; Serbian Geological Society, Belgrade, Serbia
E-mail: begovic@ibis.ba

Dragan Burić

Physical geography, Climate change; University of Montenegro, Faculty of Philosophy, Nikšić, Montenegro
E-mail: draganburic33@gmail.com

Зоран Вујковић

Неурологија; Универзитет у Бањој Луци, Медицински факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: zoran.vujkovic@med.unibl.org

Слободан Гњато

Физичка географија, Климатологија, Климатске промјене, Лимнологија; Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: slobodan.gnjato@pmf.unibl.org

Владан Дуцић

Физичка географија, Климатске промјене; Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија
Мејл: vladanducic@yahoo.com

Љубица Душков

Просторно планирање, заштита животне средине, адаптација на климатске промјене; Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија
Мејл: ljubica.duskov@gef.bg.ac.rs

Владимир Ђурђевић

Динамичка метеорологија, Климатологија; Универзитет у Београду, Физички факултет, Београд, Србија
Мејл: vdj@ff.bg.ac.rs.com

Zoran Vujković

Neurology; University of Banja Luka, Faculty of Medicine, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: zoran.vujkovic@med.unibl.org

Slobodan Gnjato

Physical geography, Climatology, Climate change, Limnology; University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: slobodan.gnjato@pmf.unibl.org

Vladan Ducić

Physical geography, Climate change; University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia
E-mail: vladanducic@yahoo.com

Ljubica Duškov

Spatial planning, Environmental planning, Adaptation to climate change; University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia
E-mail: ljubica.duskov@gef.bg.ac.rs

Vladimir Đurđević

Dynamical meteorology, Climatology; University of Belgrade, Faculty of Physics, Belgrade, Serbia;
E-mail: vdj@ff.bg.ac.rs.com

Бранко Иванковић

Геологија и хидрогеологија,
Водоснабдијевање и управљање
водним ресурсима;
Интернационална асоцијација
хидрогеолога – ИАХ, Рединг,
Уједињено Краљевство; Удружење
геолога Босне и Херцеговине,
Сарајево, БиХ; Српско геолошко
друштво, Београд, Србија
Мејл: ivankovic@ibis.ba

Раде Ивановић

Физичка географија,
Палеоклиматологија; Универзитет у
Источном Сарајеву, Филозофски
факултет, Катедра за географију,
Пале, Република Српска, БиХ
Мејл: rade.ivanovic@ffuis.edu.ba

Рената Иличић

Заштита здравља биљака,
Фитопатологија, Интегрална заштита
биљака; Универзитет у Новом Саду,
Пољопривредни факултет, Нови
Сад, Србија
Мејл: renatailicic@gmail.com

Дуња Јосиповић

Геологија и хидрогеологија,
Хидрогеотермална енергија;
Удружење геолога Босне и
Херцеговине, Сарајево, БиХ
Мејл: josipovic@ibis.ba

Branko Ivanković

Geology and hydrogeology, Water
supply management; International
Association of Hydrogeologist – IAH,
Reading, United Kingdom;
Association of Geologist of Bosnia
and Herzegovina, Sarajevo, B&H;
Serbian Geological Society, Belgrade,
Serbia
E-mail: ivankovic@ibis.ba

Rade Ivanović

Physical Geography,
Paleoclimatology; University of East
Sarajevo, Faculty of Philosophy,
Department of Geography, Pale,
Republic of Srpska, B&H
E-mail: rade.ivanovic@ffuis.edu.ba

Renata Iličić

Plant Health Protection,
Phytopathology, Integrated Pest
Management; University of Novi Sad,
Faculty of Agriculture, Novi Sad,
Serbia
E-mail: renatailicic@gmail.com

Dunja Josipović

Geology and hydrogeology,
Hydrogeothermal energy;
Association of Geologist of Bosnia
and Herzegovina, Sarajevo, B&H
E-mail: josipovic@ibis.ba

Свјетлана Лолић

Микробиологија, Мониторинг површинских вода, Алгологија, Микологија; Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ; Институт за генетичке ресурсе, Универзитет у Бањој Луци, Бања Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: svjetlana.lolic@pmf.unibl.org

Јелена Луковић

Физичка географија, Климатске промјене; Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија
Мејл: lukovicjellena@gmail.com

Михајло Марковић

Наука о земљишту, Педологија, Мелиорације земљишта, Ерозија и конзервација земљишта, Рекултивација земљишта; Универзитет у Бањој Луци, Пољопривредни факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: mihajlo.markovic@agro.unibl.org

Милан Миленковић

Физичка географија, Биоеграфија; Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд, Србија
Мејл: m.milenkovic@gi.sanu.ac.rs

Драган Милошевић

Урбана биометеорологија; Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Катедра за геоекологију, Нови Сад, Србија;
Мејл: dragan.milosevic@dgt.uns.ac.rs

Svjetlana Lolić

Microbiology, Monitoring of surface water, Algology, Micology; University of Banja Luka, Faculty of Science and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H; Institute of genetic resources, University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: svjetlana.lolic@pmf.unibl.org

Jelena Luković

Physical geography, Climate change; University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia
E-mail: lukovicjellena@gmail.com

Mihajlo Marković

Soil Science, Pedology, Land Reclamation, Soil Erosion and Conservation, Recultivation of lands; University of Banja Luka, Faculty of Agriculture, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: mihajlo.markovic@agro.unibl.org

Milan Milenković

Physical Geography, Biogeography; Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA, Belgrade, Serbia
E-mail: m.milenkovic@gi.sanu.ac.rs

Dragan Milošević

Urban biometeorology; University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Chair of Geoecology, Novi Sad, Serbia;
E-mail: dragan.milosevic@dgt.uns.ac.rs

Драгољуб Мирјанић

Медицинска физика; Универзитет у
Бањој Луци, Медицински факултет,
Бања Лука, Република Српска, БиХ;
Академија наука и умјетности
Републике Српске, Бања Лука,
Република Српска, БиХ
Мејл: mirjanicd@gmail.com

Томислав Павловић

Обновљиви извори енергије,
Соларна енергетика; Универзитет у
Нишу, Природно-математички
факултет, Ниш, Србија
Мејл: pavlovic@pmf.ni.ac.rs

Милица Пецељ

Климатологија, Биоклиматологија,
Биометеорологија, Геоекологија,
Животна средина; Географски
Институт „Јован Цвијић“ САНУ,
Београд, Србија
Мејл: milicapecelj@gmail.com

Милован Пецељ

Физичка географија, Климатологија,
Геоморфологија, Спелеологија,
Животна средина, Геоекологија,
Историографија; Академија науке и
умјетности Републике Српске, Бања
Лука, Република Српска, БиХ;
Универзитет у Београду, Географски
факултет, Београд, Србија;
Мејл: milovanpecelj@yahoo.com

Dragoljub Mirjanić

Medical physics; University of Banja
Luka, Faculty of Medicine, Banja
Luka, Republic of Srpska, B&H;
Academy of Sciences and Arts of the
Republic Srpska, Banja Luka,
Republic of Srpska, B&H
E-mail: mirjanicd@gmail.com

Tomislav Pavlović

Renewable Energy Sources, Solar
Energy; University of Niš, Faculty of
Sciences and Mathematics, Niš,
Serbia
E-mail: pavlovic@pmf.ni.ac.rs

Milica Pecelj

Climatology, Bioclimatology, Human
Biometeorology, Geoecology,
Environment; Geographic Institute
„Jovan Cvijic“ SASA, Belgrade, Serbia
E-mail: milicapecelj@gmail.com

Milovan Pecelj

Physical geography, Climatology,
Geomorphology, Speleology,
Environment, Geoecology,
Historiography; Academy of Sciences
and Arts of the Republic of Srpska,
Banja Luka, Republic of Srpska, B&H;
University of Belgrade, Faculty of
Geography, Belgrade, Serbia;
E-mail: milovanpecelj@yahoo.com

Татјана Попов

Физичка географија, Биогеографија,
Климатске промјене; Универзитет у
Бањој Луци, Природно-
математички факултет, Бања Лука,
Република Српска, БиХ
Мејл: tatjana.popov@pmf.unibl.org

Татјана Поповић

Заштита здравља биљака,
Фитопатологија, Интегрална
заштита биљака; Институт за
заштиту биља и животну средину,
Београд, Србија
Мејл: tanjaizbis@gmail.com

Тихомир Предић

Наука о земљишту, Агрохемија,
Исхрана биљака, ГИС у
пољопривреди, Земљишни
покривач и начин коришћења
земљишта; ЈУ Пољопривредни
институт Републике Српске, Бања
Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: tiho.predic@gmail.com

Ивана Радоњић

Обновљиви извори енергије,
Соларна енергетика; Универзитет у
Нишу, Природно-математички
факултет, Ниш, Србија
Мејл: ivana.radonjic-mitic@pmf.edu.rs

Стеван Савић

Урбана климатологија; Универзитет у
Новом Саду, Природно-
математички факултет, Катедра за
геоекологију, Нови Сад, Србија;
Мејл: stevan.savic@dgt.uns.ac.rs

Tatjana Popov

Physical geography, Biogeography,
Climate change; University of Banja
Luka, Faculty of Natural Sciences and
Mathematics, Banja Luka, Republic
of Srpska, B&H
E-mail: tatjana.popov@pmf.unibl.org

Tatjana Popović

Plant Health Protection,
Phytopathology, Integrated Pest
Management; Institute for Plant
Protection and Environment;
Belgrade, Serbia
E-mail: tanjaizbis@gmail.com

Tihomir Predić

Soil Science, Agrochemistry, Plant
Nutrition, Application of GIS in
Agriculture, Land Cover and Land
Use; PI Agricultural Institute of
Republic of Srpska, Banja Luka,
Republic of Srpska, B&H
E-mail: tiho.predic@gmail.com

Ivana Radonjić

Renewable Energy Sources, Solar
Energy; University of Niš, Faculty of
Sciences and Mathematics, Niš,
Serbia
E-mail: ivana.radonjic-mitic@pmf.edu.rs

Stevan Savić

Urban climate; University of Novi
Sad, Faculty of Sciences, Chair of
Geoecology, Novi Sad, Serbia;
E-mail: stevan.savic@dgt.uns.ac.rs

Галина Сажко

Педагогија компјутерских наука;
Украјинска академија инжењерске
педагогије, Харков, Украјина
Мејл: sazhkogi@gmail.com

Ружица Стричевић

Мелиорације земљишта,
Наводњавање, Евапотранспирација,
Одводњавање, Моделирање биљне
производње, Климатске промјене;
Универзитет у Београду,
Пољопривредни факултет, Београд,
Србија
Мејл: sruzica@agrif.bg.ac.rs

Андрија Томић

Заштита здравља биљака,
Фитопатологија; Универзитет у
Источном Сарајеву, Пољопривредни
факултет, Источно Сарајево,
Република Српска, БиХ
Мејл: tomic_andrija@yahoo.com

Горан Трбић

Физичка географија, Климатологија,
Климатске промјене, Прилагођавање
на климатске промјене, Климатско
моделовање, Смањивање ризика од
катастрофа; Универзитет у Бањој
Луци, Природно-математички
факултет, Бања Лука, Република
Српска, БиХ
Мејл: goran.trbic@pmf.unibl.org

Galina Sazhko

Computers Science Pedagogy;
Ukrainian Engineering Pedagogics
Academy, Kharkov, Ukraine
E-mail: sazhkogi@gmail.com

Ružica Stričević

Soil and Water Management,
Irrigation, Evapotranspiration,
Drainage, Crop Growth Modeling,
Climate Change; University of
Belgrade, Faculty of Agriculture,
Belgrade, Serbia
E-mail: sruzica@agrif.bg.ac.rs

Andrija Tomić

Plant Health Protection,
Phytopathology; University of East
Sarajevo, Faculty of Agriculture, East
Sarajevo, Republic of Srpska, B&H
E-mail: tomic_andrija@yahoo.com

Goran Trbić

Physical geography, Climatology,
Climate change, Adaptation to
climate change, Climate modeling,
Disaster risk reduction; University of
Banja Luka, Faculty of Natural
Sciences and Mathematics, Banja
Luka, Republic of Srpska, B&H
E-mail: goran.trbic@pmf.unibl.org

Војислав Тркуља

Заштита здравља биљака,
Фитопатологија, Интегрална
заштита биљака; ЈУ
Пољопривредни институт
Републике Српске, Бања Лука, БиХ;
Универзитет у Бањој Луци,
Пољопривредни факултет, Бања
Лука, Република Српска, БиХ
Мејл: vtrkulja@blic.net

Дејан Филиповић

Просторно планирање, Заштита
животне средине, Стратешка
процјена утицаја на животну
средину, Управљање отпадом,
Природне непогоде; Универзитет у
Београду, Географски факултет,
Београд, Србија
Мејл: dejan.filipovic@gef.bg.ac.rs

Vojislav Trkulja

Plant Health Protection,
Phytopathology, Integrated Pest
Management; PI Agricultural
Institute of Republic of Srpska, Banja
Luka, Republic of Srpska, B&H;
University of Banja Luka, Faculty of
Agriculture, Banja Luka, Republic of
Srpska, B&H
E-mail: vtrkulja@blic.net

Dejan Filipović

Spatial planning, Environmental
protection, Strategic environmental
assessment, Waste management,
Natural hazards; University of
Belgrade, Faculty of Geography,
Belgrade, Serbia
E-mail: dejan.filipovic@gef.bg.ac.rs

Ријеч председника Академије наука и умјетности Републике Српске

Одбор за биотехничке науке Академије наука и умјетности Републике Српске започео је обиман посао на изради едиције *Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске*, у оквиру које ће се, кроз појединачне монографије, изнијети научна достигнућа и перспективе развоја пољопривреде, шумарства, производње хране и биомасе, коришћења земљишних и водних ресурса и уопште коришћења природних ресурса у циљу економског напретка, као и мултифункционалног управљања ресурсима.

У свим монографијама ове едиције, у принципу, пошло се са становишта климатских промјена и мјера прилагођавања на њих, како би се смањили негативни утицаји промјене климе у будућности. У условима климатских промјена и савременог тржишног привређивања, потребно је управљати на савремен начин природним ресурсима, који је заснован на емпиријским и теоретским премисама. На тај начин постижу се два циља; рационално коришћење природних ресурса и постизање жељене ефикасности пословања. Пошто је планета Земља посљедњих деценија угрожена неконтролисаним људском активношћу, што је довело до нарушавања еколошке хармоније, потребно је ускладити технологију и обим производње са еколошким захтјевима. То усклађивање директно је повезано са одрживим развојем и заштитом природног наслеђа. Управљање природним ресурсима засновано је на стратегијском планирању, за шта монографије ове едиције пружају изванредну научну основу. У едицији је, кроз многобројна поглавља, анализирано одрживо коришћење расположивих природних ресурса и мјере њихове заштите.

Један од најзначајнијих фактора у економском развоју земље представља присуство повољних и економски значајних природних ресурса. Слабије развијене земље процес економског развоја треба да заснивају на властитим доступним природним ресурсима. У Републици Српској, шумски екосистеми, пољопривредно земљиште и слатководни екосистеми имају највећи значај, мада се не смију занемарити ни минерални ресурси, рибарство, падавине, клима, топографија, као и други непознати ресурси. Повећање знања о познатим и непознатим природним ресурсима и о њиховој употреби, доприноси развоју сваке земље. Такође, очување свих природних ресурса неопходно је за равнотежу екосистема. Концепт одрживог развоја подразумијева концепт развоја који задовољава потребе садашње генерације људи, а да, у исто вријеме, не угрожава могућност будућих генерација да задовоље своје потребе. Одрживо коришћење и заштита природних ресурса обезбјеђује се у

оквиру стратегије просторног развоја и националне стратегије одрживог коришћења природних ресурса и добара.

Вода је основни предуслов за све облике живота на земљи и најважнији природни ресурс. Иако је три четвртине Земљине површине прекривено водом, само 3,5% водених ресурса припада ријекама и језерима. Република Српска поседује обиље овог ресурса и он јесте, а и у будућности биће, од посебног значаја за развој пољопривреде и прехранбене индустрије. Шуме су плућа Земљиног глобуса и без њих, као и без воде, не би било живота на планети. Шуме су фабрике за производњу кисеоника, чистачи угљен-диоксида из ваздуха, чувари земљишта од ерозије и загађења, контролори количине воде у екосистему и станиште многих врста животиња, птица и инсеката. Пољопривредно земљиште је природни ресурс који човјек користи за производњу хране. Ради се о обновљивом природном ресурсу, јер се природним процесима у релативно кратком времену састав земљишта регенерише, што га чини погодним за пољопривредну производњу и човјек га може користити на одржив начин. Аутори поглавља у већини монографија вежу своја разматрања за ова три природна ресурса, било кроз примарну производњу или кроз прераду пољопривредних производа. Производња биомасе и економско управљање природним ресурсима везани су за наведене природне ресурсе.

У едицији је изнесен низ приједлога смањења сиромаштва и подстицања економског раста у руралним подручјима, уз рационално и одрживо коришћење природних ресурса. Посебан квалитет ове едиције јесте што она анализира природне ресурсе и економске могућности и капацитете у Републици Српској, узимајући у обзир социјалну структуру и величину газдинства, с једне стране, и остварени прогрес у науци, с друге стране. Кроз изнесена достигнућа и нове технологије у условима климатских промјена, едиција предлаже међусобно допуњавање и узајамно јачање привреде на принципима одрживог развоја. Активности малих произвођача побољшавају приступ природним ресурсима, производним улагањима, технологијама, финансијским услугама и тржиштима и повећавају могућности запошљавања малих породичних пољопривредника.

У свјетској литератури постоји обиље радова, књига, монографија и других писаних дјела о одрживом развоју и очувању природних ресурса, што се не може рећи за наше подручје. Један број аутора, од којих су неки и чланови Одбора за биотехничке науке АНУРС, бави се овим проблемима, али у свом, релативно уском подручју проучавања. Ова едиција окупила је велики број научника из Републике Српске, околних земаља, Европе, па чак и ваневропских земаља, који су сумирали најновија достигнућа из области којом се баве. Тешко је наћи комплексније дјело које на једном мјесту сумира велики број

података, процеса, технологија и теорија које се односе на одрживост и очување природних ресурса. Из тог разлога, Академија наука и умјетности Републике Српске подржала је овај подухват Одбора за биотехничке науке и са задовољством се појављује као издавач ове едиције.

Академик Рајко Кузмановић

Предговор *Едицији*

Иницијативу за припрему и издавање едиције *Одрживи развој и управљање природним ресурсима у Републици Српској* дао је академик Васкрисија Јањић, на првом консултативном састанку Одбора за биотехничке науке Академије наука и умјетности Републике Српске, 2018. године. На том састанку Одбора, констатовано је да се овим замашним и дуготрајним пословима не може приступити без окупљања и изванредне организације научних радника и стручњака који ће предано на овоме радити дужи низ година. Договорено је да се, на овом великом и значајном послу, ангажује сва наша научна елита из Републике Српске, Републике Србије и из других земаља. Од тада па до данас, под руководством академика Нове Пржуља, председника Одбора, одржан је низ састанака, договора и консултација са члановима Одбора и другим људима, да би се припремио детаљан програм за израду оваквих дјела.

Потреба за припрему и издавање едиције најбоље ће се објаснити коришћењем једне знамените и значајне едиције из сасвим друге области. Наш познати научник Јован Цвијић започео је вјековни подухват српске науке: антропогеографско истраживање српских земаља, у оквиру којег је обухватио истраживање насеља, поријекло становништва и обичаје. Та едиција названа је *Корени* и састоји се од 17 књига, које обухватају његове поједине цјелине. Полазећи од значаја пољопривреде, шумарства, ветеринарства и прехрамбене технологије за развој наше Републике, ушло се у израду едиције *Одрживи развој и управљање природним ресурсима у Републици Српској*, која, такође, треба да послужи као снажан замајац за свеукупни развој у овим привредним областима. Ова едиција нема свој крај, јер природна богатства наше земље нису само оно што се користи у пољопривреди, шумарству, ветеринарству и прехрамбеној технологији него и у другим привредним дјелатностима, тако да се ствара основа за израду и других едиција које би обухватиле и друга природна богатства. Зато је садашње одређење у изради ове едиције, њеном броју и садржају отворено и може се стално изнова настављати, проширивати и повећавати.

Пошло се од чињенице да природна богатства нису власништво и проблем појединца него су богатство и снага државе и народа који у њој живе. Држава мора рачунати да њој на Земљиној кугли (историјски, цивилизацијски, државноправно) припада одређен проценат природних добара (земљиште, шуме, вода, пашњаци, вјетар, руде и друга природна богатства) и њена је одговорност да се та добра његују, обнављају, одржавају и користе за добробит народа. Зато судбина и намјена природних богатстава не смије прерасти у неодговорност појединих генерација људи и држава у којима они

живе. Природна богатства једне земље одређује њен статус у свјетском економском систему, њену моћ и политички утицај.

Све што се налази у природи чини природно богатство. Из природе се добијају сировине за разноврсну производњу или извори енергије која је човјеку потребна за живот и рад. Енергија не може да се ствара, већ се користи из различитих природних извора. Неки од тих извора су обновљиви (енергија сунца, воде, вјетра), а неки су необновљиви (нафта, земни гас, угаљ, биљке, животиње). Природна богатства, као што су биљни и животињски свијет, вода, ваздух, земљиште, нафта, метали, минерали и друго, природне су вриједности које човјек користи да би опстајао и развијао се као културно, социјално и духовно биће. Човјек је једина врста која свјесно мијења природу и прилагођава је својим потребама користећи средства која му је на располагање ставила наука, техника и технологија. Ту се, међутим, појављује велики проблем на који човјечанство још нема рационалан одговор. Наиме, човјекове потребе могу се класификовати на више начина. Невоља која овдје постоји има два дијела – многе потребе човјека нису стварне него лажне и засноване су на себичности интересних лобија и група. Истовремено, архаичан развој привреде, немаран однос према природи, неконтролисано загађивање ваздуха и вода, немилосрдно уништавање биљног и животињског свијета, довело је до еколошке кризе која поприма застрашујуће димензије, поготово у неким најразвијенијим земљама свијета. Та криза озбиљно пријети, уколико се не предузму хитне, енергичне и далекосежне мјере на националном и међународном плану, да једног дана, не у тако далекој будућности, људи остану без чисте воде, без чистог ваздуха, без основних природних сировина, без животног простора.

Огроман пораст индустријске производње и цјелокупна производна активност човјечанства почели су као нека огромна геолошка снага да мијењају лик наше планете. Испоставило се да природна богатства нису извор из којег се може бесконачно живјети. У историји човјечанства наступило је раздобље када сваку своју активност оно мора да пореди са могућностима природе. Зато је познати француски истраживач Жак-Ив Кусто рекао: „Раније је природа застрашивала човјека, а сада човјек застрашује природу.“ До сада, огроман број људи није мислио о могућим посљедицама неограничене експлоатације природних ресурса. Људи нису размишљали о судбини биосфере, спољног омотача наше планете, на којем се одражавају све посљедице човјекове привредне активности. Биосфера, коју напаја сунчева енергија, представља резултат дуготрајног биохемијског рада живих организама. Земљина биосфера је општепланетарни омотач, чији су састав, структура и енергетика условљени прошлoшћу и садашњoшћу, као и свеукупношћу живих организама у току дуге геолошке историје. Захваљујући томе, образује се биоорганички систем

планете са свим, њему својственим, многоликим органским и минерално-органским материјама.

Човјек се појавио у биосфери релативно недавно, у једној од посљедњих етапа њене еволуције, и све до почетка двадесетог вијека његова активност на планети имала је локални карактер. Сада је она обухватила читаву биосферу и постала глобална. Наш вијек је одскочна етапа за прелазак у сферу узајамног дејства (природе и човјека) у оквиру којег разумна људска активност постаје одлучујућа.

Сунчева енергија, која доспијева на земљу, основни је извор свих природних и многих антропогених процеса у биосфери. Апсорбујући сунчеву енергију, биљни свијет годишње образује око 150–200 милијарди тона органске материје и ослобађа око 300 милијарди тона кисеоника. Годишње се фотосинтезом трансформише око 200 милиона тона угљеника из угљен-диоксида у органску материју. Ова биомаса служи као основа за исхрану цјелокупног животињског свијета, укључујући ту и човјека. Кисеоник производе и ослобађају биљке, надокнађујући у атмосфери недостатак овог гаса. Њега користе сви живи организми за дисање, а служи и за оксидацију у мртој природи. Све до прије неколико деценија, сматрало се да су биолошки ресурси неограничени, али се та заблуда данас скупо плаћа, те је човјекова природна средина доведена у опасност. Човјекова активност попримила је тако огромне, могло би се рећи геолошке размјере. Сфера материјалне производње толико је порасла да се на хоризонту историјског развоја јасно види реална опасност од поремећаја великог кружења материје. Технолошки прогрес је толико трасирао сасвим нове путеве кретања енергије и материје у биосфери и пореметио природну равнотежу. У свијету се данас сваких 7–10 година удвостручује производња електроенергије, основе практичних могућности за технолошки развој човјечанства. Зато је проблем заштите биосфере изузетно сложен проблем, има комплексан карактер и повезан је са свим областима људске дјелатности. Он је, у ствари, повезан са двије основне стране људске дјелатности – нарушавање предјела које је створила природа и активно избацивање произведених и других отпадака, еколошки штетних материја у биосферу. Тако је загађивање природе постало планетарни проблем, посебно погубан у развијеним и високоразвијеним земљама. С лица планете за посљедњих 100 година нестало је на стотине врста биљног и животињског свијета, а на ивици нестанка је још око 1.000 врста. Тако је биосфера изгубила способност самочишћења и више не располаже сопственим снагама да би изашла са теретом који је човјек убацио у њу.

Огроман замах и успјех у проучавању природних богатстава дешава се средином прошлог вијека након појаве бројних научних резултата. Резултати

ових проучавања омогућили су да се размишља о изради и припреми ове едиције. Користећи та научна достигнућа, едиција ће послужити као фундаментално научно дјело, јединствено по многим својим карактеристикама. У бројним научним радовима из различитих фундаменталних дисциплина и примијењених области у којима се третира ова проблематика, присутно је мноштво података и научних резултата, али се то налази у огромном броју часописа издатих у различито вријеме у свијету, па је тешко све сакупити, објединити и представити на једном мјесту. Тај примјер разбацаности података у милионским чланцима и часописима надокнадиће ова едиција. Проучавања и употпуњавања сазнања из ових области нису завршена и она ће се наставити и у будућности. Све ће ово допринијети да се боље и детаљније упознају природна богатства на нашим просторима, како бисмо их рационалније и боље користили. Дјела ове едиције треба да буду драгоцену ризница података, незаобилазна свакоме и на сваком мјесту. Без оваквих дјела, која отварају перспективу на основама дугорочног развоја, наше друштво било би знатно сиромашније и бједније. Она ће представљати ризницу сазнања о природном богатству наше земље, из којих ће наредна покољења моћи да прате све његове промјене у позитивном или негативном смислу, изазване различитим дјелатностима човјека.

У нашој научној литератури вјероватно нема много храбрих и искрених, плодотворних, беспопштених и строгих људи који желе да помогну свима. Код аутора ове едиције то није случај. Нема потребе подробније улазити у садржај свих књига едиције, јер она ће бити пред читаоцима, који ће моћи уживати у њеним богатствима, у моћном духу аутора и њиховој способности да све то споје у складну природну цјелину, као и да покаже њихову међусобну повезаност, која постоји, а која је невидљива и неуочљива. Овим дјелом треба да се покаже да наука није само чиста наука, него и дар, а дар треба употријебити за оно што је племенито или, боље рећи, посветити живот развијању и примјени тога дара, што у великој мјери значи жртвовати живот и послужити народ својим даром.

Уредници *Едиције*

Академик Ново Пржуљ
Академик Васкрсија Јањић

Предговор монографији

Климатске промјене један су од највећих научних, еколошких, политичких и друштвено-економских изазова савременог друштва. Доминантно су условљене сагоријевањем фосилних горива, тј. повећањем антропогених емисија угљен-диоксида и других гасова који условљавају појачан ефекат стаклене баште, глобално загријавање и повећање температуре ваздуха. Глобално повећање температуре ваздуха било је окидач за промјене осталих климатских елемената, а прије свега: испаравања, режима падавина, појаве снијега, олујних вјетрова, дуготрајних топлотних таласа и др. Климатске промјене су условиле већу фреквенцију и интензитет климатских екстрема, који веома неповољно утичу на животну средину и природне ресурсе у цијелом свијету. Подручје југоисточне Европе, односно Западног Балкана, једно је од најугроженијих у свијету са аспекта појаве поплава, суша, дуготрајних топлотних таласа и олујних вјетрова. Климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини нарочито су изражене у посљедње три деценије, када врше све израженији притисак на многобројне природне ресурсе, а нарочито воду, пољопривредно земљиште, шумске екосистеме, те биодиверзитет у цјелини.

Глобално загријавање климатског система је неспорно, а многе од уочених промјена у другој половини XX вијека нису забиљежене у историјски посматраном периоду – атмосфера и океани су се загријали, количине снијега и леда су смањене, а ниво мора је порастао. Глобална средња температура ваздуха на површини Земље има тренд раста од почетка XX вијека. Од тада до данас готово читава планета Земља захваћена је процесом загријавања. Просјечна глобална површинска температура копна и океана порасла је у периоду 1850–2022. године за +1,1 °C (0,65–1,06 °C). Протекле три деценије најтоплије су од када постоје инструментална мјерења. Готово све године од 1990. године спадају међу глобално најтоплије, а пентада 2015–2020. године представља најтоплији петогодишњи период од када постоје метеоролошка мјерења. Десет најтоплијих година забиљежено је у XXI вијеку, а чак девет најтоплијих у посљедњој деценији. Повећање температуре ваздуха нарочито је изражено на простору Европе, и то у њеном јужном дијелу, гдје су и смјештени Република Српска и Босна и Херцеговина. Осим пораста температуре ваздуха, присутни су трендови повећања учесталости, интензитета и/или дужине трајања екстремних временских и климатских догађаја као што су: топлотни таласи, суше, поплаве, олујни вјетрови и др. Током периода 2000–2022. године готово све године у Републици Српској и Босни и Херцеговини имале су карактеристике екстремних временских услова: поплаве 2000, 2001, 2009, 2010, 2014, 2018, 2019, 2020, 2021. и 2022. године, суша и топлотни таласи у 2003, 2007, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2021. и 2022. години,

талас хладноће почетком 2012. године, олујни вјетрови 2012, 2017, 2019, 2020, 2021. и 2022. године, изузетно велики број дана са појавом града у 2018. години итд. Током посљедњих пет година (2018–2022) наступили су интензивни касни прољећни мразеви, који су нанијели велику штету воћарству. Климатски модели указују да ће се ови екстреми додатно интензивирати у будућности и да ће представљати већи ризик и пријетњу животної средини у Републици Српској и Босни и Херцеговини.

Овакви трендови промјене климатских услова нарочито ће имати утицаја на пољопривреду и водне ресурсе, те на биодиверзитет, туризам и шумске екосистеме. Адекватно планирање прилагођавања на новонастале климатске услове захтијева и темељно и научно утемељено познавање измијењених климатских услова. Због тога се наглашава важност перманентног истраживања и публикавања научних радова на основу којих би се креирале политике и стратешке смјернице прилагођавања на климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини.

Научна монографија под насловом *Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена* дио је едиције *Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске*, коју реализује Академија наука и умјетности Републике Српске. *Монографија* се састоји из 15 поглавља: Климатске промјене и урбана клима на Западном Балкану, Соларна енергетика и климатске промјене, Милутин Миланковић – животно путовање и трагање за промјеном климе у прошлости, Утицај савремених климатских промјена на биљни свијет, Климатске промјене и управљање земљиштем, Стратешки и плански документи као одговор на адаптацију на климатске промјене, Савремене климатске промјене у Црној Гори, Хумана биоклиматологија – биоклиматски индекси UTCI и PET у контексту климатских промјена – Примјер Бања Лука, Геотермални потенцијал Републике Српске и могућност коришћења субгеотермалних ресурса ниске енталпије у функцији превенције климатских промјена, Утицај климатских промјена на водне ресурсе у Републици Српској, Утицај климатских промјена на појаву болести и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа, Дендроклиматологија: основни појмови, технике мјерења и могућности истраживања у Републици Српској, Климатске промјене и здравље, Савремене климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини и Климатски атлас Босне и Херцеговине.

Свако поглавље је са одређеног аспекта третирано проблематику климатских промјена у Републици Српској, Босни и Херцеговини и региону југоисточне Европе. У монографији је коришћена веома обимна и савремена научна литература (домаћа и страна), која је коректно цитирана. Треба нагласити и

велики број аутоцитата, што је један од захтјева да се монографија сврста у категорију дјела од посебног националног значаја.

Монографија *Управљање ресурсима у ери климатских промјена* има фундаментални и примијењени карактер и може бити од користи бројним читаоцима, а посебно оним који се баве питањима климатских промјена, животне средине, природних ресурса, одрживог развоја и просторног планирања. У монографији су представљени бројни подаци и чињенице који могу бити драгоцјени за боље разумијевање садашњег стања и будућих трендова климатских промјена и њиховог утицаја на природне ресурсе, али и укупни друштвено-економски развој.

Уредници монографије захваљују свима који су на било који начин помогли израду и њено публикување. Велику захвалност дугујемо рецензентима проф. др Милутину Љешевићу, редовном професору у пензији Географског факултета Универзитета у Београду, и проф. др Милану Радовановићу, научном савјетнику и директору Географског института „Јован Цвијић“ при Српској академији наука и уметности. Осим тога, захвалност дугујемо и др Горици Станојевић, научном сараднику Географског института „Јован Цвијић“ при Српској академији наука и уметности, за корисне сугестије и савјете приликом финализације текста монографије.

Аутори посебно захваљују Академији наука и умјетности Републике Српске, Одјељењу природно-математичких и техничких наука и Одбору за биотехничке науке ове академије, који су подржали и перманентно пратили рад на изради монографије, те академику Миливоју Унковићу, који је урадио графички дизајн корица монографије. Штампане монографије финансијски су подржали Министарство за научнотехнолошки развој, високо образовање и информационо друштво Републике Српске и Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске, Фонд за заштиту животне средине и енергетску ефикасност Републике Српске и Развојни програм Уједињених нација у Босни и Херцеговини, за шта им изражавамо велику захвалност.

Уредници *Монографије*

Проф. др Горан Трбић
Проф. др Татјана Попов
Академик Драгољуб Мирјанић

Рецензија 1

Рукопис научне монографије под насловом *Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена* део је едиције *Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске*, коју реализује Академија наука и умјетности Републике Српске. Укупно је написано 15 поглавља, а свако поглавље на неки начин третира проблематику климатских промена у Републици Српској, Босни и Херцеговини и региону југоисточне Европе. Рукопис научно, систематично, исцрпно и свеобухватно третира проблематику савремених климатских промена и њиховог утицаја на животну средину Републике Српске и региона Западног Балкана и може да представља важан допринос науци. Садржаји рукописа у потпуности су усклађени са прихваћеним и провереним научним теоријама и чињеницама. Такође, рукопис је у целини заснован на природи знања, методологији и начину сазнања у датим дисциплинама (географији, климатологији, физици, биологији, екологији, хидрологији, педологији...). Рукопис поседује логичку структуру и континуитет у представљању садржаја у којем сваки део текста има своје место и функцију. Рукопис монографије *Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена* написан је на 797 страна текста формата Б5, са једноструким проредом и фонтом Calibri 11. У тексту се налазе 54 табеле, 269 слика и 27 графикана. Рукопис почиње насловном страном, импресумом, списком аутора поглавља на српском и енглеском језику, речима председника Академије наука и умјетности Републике Српске и Предговором, који се односи на едицију *Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске*.

Рукопис научне монографије поштује језичке норме и написан је на српском књижевном језику ијекавског изговора. Понуђени рукопис написан је ћириличним писмом, а текст је у потпуности језички и стилски уједначен. У рукопису је коришћена веома обимна и савремена научна литература, која је коректно цитирана. Наглашавамо и велики број аутоцитата, што је један од захтева да се монографија сврста у категорију дела од посебног националног значаја. Монографија *Управљање ресурсима у ери климатских промјена* има фундаментални и примењени карактер и може бити од користи бројним читаоцима, а посебно оним који се баве питањима, климатских промена, животне средине, природних ресурса, одрживог развоја и просторног планирања. У овој монографији представљени су бројни подаци и чињенице који могу бити драгоцени за боље разумевање садашњег стања и будућих трендова климатских промена и њиховог утицаја на друштвено-економски развој. Рукопис обрађује, анализира и интегрише савремена теоријска сазнања и методолошке приступе, те нуди практична решења из области климатских

промена. Обрађена проблематика представља веома актуелно истраживачко подручје у склопу проучавања савремених климатских промена на природне ресурсе које на овакав начин до сада није систематизовано у Републици Српској, Босни и Херцеговини и региону југоисточне Европе. Написана поглавља обезбеђују вредна сазнања за разумевање климатских промена на животну средину и најугроженије секторе. Допринос оваквих истраживања и написаних поглавља огледа се у генералном проширивању фундаменталних сазнања о климатским променама, те потреби и могућностима прилагођавања. Резултати истраживања представљени у поглављима монографије могу имати разноврсну практичну примену у области пољопривреде, водопривреде, енергетике, те у мултидисциплинарним истраживањима у области заштите животне средине.

На основу свега претходно изнесеног може се закључити да се ради о научној монографији која представља оригинално научно дело високе научне вредности, веома актуелне научне тематике и широке могућности примене резултата истраживања. Из тог разлога рукопис *Управљање природним ресурсима у ери климатских промена* позитивно се оцењује и са задовољством препоручује за штампу као научна монографија истакнутог националног значаја.

Београд, новембар 2022.

Др Милутин А. Љешевић, редовни
професор Географског факултета
Универзитета у Београду, у пензији

Рецензија 2

Монографија *Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена* (у даљем тексту монографија) посвећена је тематици климатских промена са посебним освртом на недавне трендове температура ваздуха и падавина, просторно-временску променљивост екстремних климатских догађаја, климатске услове урбаних средина у условима измењеног термалног притиска и комфора, као и биоклиматским индексима и здравственим ризицима, те променама климе у будућности применом различитих сценарија антропогене емисије гасова стаклене баште. Указано је на стање и перспективе земљишних и водних ресурса под „притиском” савремених климатских промена и антропогених утицаја; употребу обновљивих извора енергије као што су соларна енергија и геотермална енергија; утицај климатских промена на биљни свет уопштено; болести и штеточине пољопривредних култура и шумског дрвећа. Истакнут је значај и допринос великана науке Милутина Миланковића и његовог капиталног дела *Канон осунчавања и његова примена на проблем ледених доба* у изучавању и тумачењу палеоклиматских промена. Основе и примена дендрохронологије и дендроклиматологије посебно су представљене. Урађена је анализа законодавних оквира, политика, стратегија и планова у циљу адаптације и повећања отпорности заједница на климатске промене, смањења ризика по јавно здравље и добра и очување животне средине. Од глобалног до локалног, од општег ка посебном, од теоријског до примењеног, сагледана је тематика климатских промена са последицама по јавно здравље и животну средину, коришћење и очување природних ресурса на простору Републике Српске, Босне и Херцеговине, земаља у региону, односно југоисточној Европи. Може се закључити да су уредници одабирају тема посветили велику пажњу како би одговорили на захтеве савремене науке и праксе, а аутори предано и посвећено обрадили свако истраживачко питање. Сходно томе објављивање ове монографије има велики значај за научну, стручну, али и ширу друштвену заједницу.

Обимност монографије (797 страна) указује на детаљност, темељност и свеобухватни приступ у њеној изради, подржан изводима из одговарајућих извора литературе (са великим бројем аутоцитата) и обрадом, анализом и тумачењем података, односно релевантним теоријско-методолошким приступом за изучавану проблематику. Велики број јасних и репрезентативних графичких (269 слика и 27 графикона) и табеларних прилога (54 табеле) употпуњује и олакшава праћење и разумевање основног текстуалног садржаја. Евидентно је да су уредници кроз рад са ауторима уложили велике напоре како би монографија у целини одражавала јединственост у стилу и језику писања, са јасно представљеним научним појмовима и терминима,

што читаоцима олакшава праћење и разумевање свих њених целина. Структура, концепт, дефинисани наслови и поднаслови, начини формулисања истраживачких проблема, циљева и задатака сваког од поглавља, доприносе прегледности монографије.

Монографија представља значајан научни допринос у области климатских промена, животне средине и одрживог развоја, енергетике и обновљивих извора енергије, просторног планирања. Анализом и приказом садашњег стања, као и будућих трендова, указано је на размере и могуће консеквенце климатских промена, првенствено на простору Републике Српске и Босне и Херцеговине, земаља у региону, али и шире. Представљени резултати могу послужити за успостављање политика и стратегија развоја, указујући на могуће правце друштвено-економског развоја друштва.

Узимајући у обзир наведене чињенице о научној оригиналности и вредности монографије *Управљање природним ресурсима у ери климатских промена*, препоручује се њено објављивање и сврставање у категорију дела од посебног националног значаја.

Задовољство и привилегија је бити рецензент монографије *Управљање природним ресурсима у ери климатских промена*.

Београд, 6. новембар 2022.

Др Милан Радовановић,
Географски институт „Јован Цвијић”
Српска академија наука и уметности

Климатске промјене и урбана клима на Западном Балкану

Стеван Савић, Горан Трбић, Драган Милошевић, Татјана Попов

Сажетак: *Глобалне климатске промјене су процес који неминовно захвата простор европског континента, па самим тим и Босну и Херцеговину и друге земље Западног Балкана, које су смјештене на простору југоисточне Европе. Све интензивнији и дуготрајнији топли таласи (нарочито током љетњег периода), појава интензивних хладних таласа зими, интензивни краткотрајни падавински периоди, као и са друге стране дуготрајни сушни периоди посљедице су климатских промјена које су карактеристичне за просторе држава Западног Балкана, па самим тим и Босну и Херцеговину. Овакви температурни и падавински екстремни су све чеићи у посљедњих двадесет–тридесет година, што доказују и годишње температуре ваздуха у свим државама Западног Балкана, односно јасно је уочљиво да већина посљедњих неколико година представља најтоплије године од почетка XX вијека.*

Усљед оваквих екстремних временских догађаја, јасно је да су урбане средине у земљама Западног Балкана под јачим, прије свега термалним притиском, јер је већ модификована микро и локална клима због одлика геометрије површине.

Цитирање: Савић С, Трбић Г, Милошевић Д, Попов Т (2023) Климатске промјене и урбана клима на Западном Балкану. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:1–39

Cite as: Savić S, Trbić G, Milošević D, Popov T (2023) Climate Change and Urban Climate in the Western Balkans. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:1–39

Као посљедица јављају се још више температуре током топлих таласа, и знатно већи број тропских ноћи, па самим тим долази до директног угрожавања здравља становништва и економије у урбаним срединама.

У овој студији је коришћено за анализу укупно 49 публикација које директно или индиректно анализирају, прије свега термалне вриједности и индексе, у урбаним срединама у земљама Западног Балкана, и то у Бањој Луци, Новом Саду, Београду, Тирани, Скопљу. Резултати јасно показују већи термални притисак у урбаним зонама, када се говори о температурама и индексима термалног комфора, и максималне разлике у односу на природну средину јављају се у најурбанизованијим и индустријским дијеловима града. Такође, анализе термалног ризика на квалитет и смртност становништва у урбаним зонама, показују да је повећани морталитет управо у категорији становника са преко 65 година.

Кључне ријечи: Климатске промјене, екстремни климатски догађаји, урбана клима, температура ваздуха, урбано острво топлоте, термални комфор, Западни Балкан

1.1. Увод

Посљедњих деценија климатске промјене на глобалном и регионалном нивоу углавном су негативно утицале на животну средину и друштвену заједницу на просторима свих континената, укључујући и Европу, а самим тим обухватиле су и географско подручје Западног Балкана. Интензитет и посљедице екстремних климатских догађаја, које су све чешће услед климатских промјена, као што су топли или хладни таласи, затим суше, поплаве изазване екстремним падавинама, шумски пожари, циклони итд., изазивају велику рањивост и изложеност природних екосистема и антропогених цјелина (градови, насеља, индустријска постројења). Као посљедица оваквих климатских екстрема, долази до промјена у животној средини, поремећаја у производњи хране и водоснабдијевању, оштећења инфраструктуре и насеља, повећаног морбидитета и морталитета становништва, али и до негативног утицаја на ментално здравље и општу добробит људи (IPCC 2014). Наведене екстремне појаве као посљедица климатских промјена (топли и хладни таласи, суше и поплаве) прије свега су карактеристичне за јужну и југоисточну Европу, па самим тим и за географско подручје земаља Западног Балкана.

Генерално, сиромашнији дио глобалне популације посебно је осјетљив на климатске екстреме, јер често као посљедица неких од температурних или падавинских екстрема јесте угрожавање егзистенције, смањење приноса усјева,

уништавање домова, а овакве посљедице доприносе порасту цијена и додатном снижавању животног стандарда. Истовремено, човјек као појединац који је социјално, економски, културно, политички, институционално или на било који други начин маргинализован посебно је рањив на климатске промјене, а уједно и са мањим капацитетом да реагује у смислу и ублажавања климатских промјена и прилагођавања на нове климатске процесе и појаве (IPCC 2014). Поједине студије показују да постоје и позитивни ефекти климатских промјена када се говори о пољопривредној производњи, међутим ти позитивни трендови уочавају се на просторима виших географских ширина (на примјер, регион Скандинавије). Са друге стране, знатан број студија показује да климатске промјене негативно утичу на приносе пшенице, кукуруза и соје, који су међу главним гајеним биљкама у земљама Западног Балкана (IPCC 2014; Milošević et al. 2015a). Истовремено, неопходно је нагласити да су у одређеним годинама крајем XX и почетком XXI вијека поједине екстремне појаве изазване климатским процесима довеле до огромне материјалне штете на простору централне, јужне и западне Европе. Тако су, на примјер, велике поплаве у централној Европи током 2000. године нанијеле штету у износу од преко 15 милијарди евра (Risk Management Solutions 2003), а интензивни топли талас током 2003. године усмртио је преко 30.000 људи и нанио материјалну штету у пољопривреди и кроз шумске пожаре од преко 15 милијарди америчких долара (Schär and Jendritzky 2004).

Према истраживањима Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), фактори који угрожавају здравље људи на глобалном нивоу у мањој мјери су изазвани директним утицајем климатских промјена, односно и даље доминирају многобројни други неклиматски стресори (IPCC 2014). Међутим, општепознато је да екстремни климатски услови, нарочито током љетњих мјесеци, могу представљати главну пријетњу за јавно здравље (Conti et al. 2005), затим могу негативно утицати на спољашњи термални комфор (Ongoma et al. 2016; Lehnert et al. 2018; Milošević et al. 2022; Savić et al. 2022), повећани морталитет становништва (Arsenović 2019; Arsenović et al. 2019a) и допринијети повећању опасности од топлотног ризика, посебно у урбаним срединама.

Према подацима Уједињених нација (United Nations 2014), од 2007. године на глобалном нивоу први пут је у људској историји број становника градских средина постао већи од броја становника у сеоским срединама. Подаци из 2014. године указују да 54% свјетског становништва (односно 3,9 милијарди људи) живи у градовима, док је 1950. године број становника у градовима био 30%. Тренд раста градског становништва наставиће се и очекује се да ће до 2050. године 66% свјетског становништва живјети у градовима. Истовремено, актуелне климатске промјене највјероватније доприносе порасту ионако

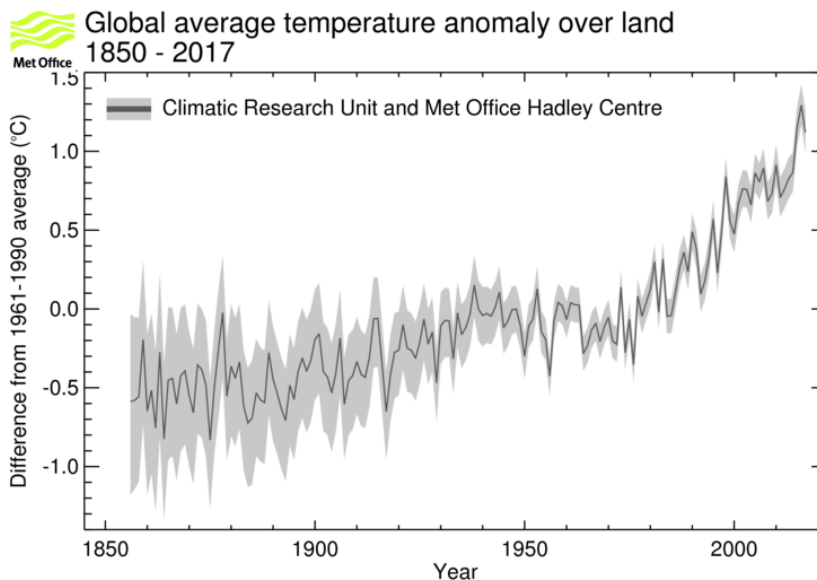
повишених термалних карактеристика у урбаним срединама (Erlwein and Pauleit 2021). На основу тога може се закључити да је становништво градских средина под већим климатским притиском и стресом него оно из сеоских средина, усљед чешће појаве топлих таласа, тропских ноћи, сушних периода, градских поплава, што све утиче на термални комфор и здравље градског становништва, затим утиче на градску инфраструктуру и услуге екосистема (Rosenzweig et al. 2011). Због тога, климатска истраживања градских средина све више добијају на значају како би дала допринос рјешавању наведених проблема и помогла у доношењу адекватних стратегија са мјерама за адаптацију усљед климатских промјена.

Просторни фокус у овој студији јесте географско подручје Западног Балкана, које је смјештено у југоисточној Европи, на површини од 208.000 км² и са популацијом од око 18 милиона становника. Географско подручје Западног Балкана чине државе Босна и Херцеговина, Република Србија, Република Црна Гора, Република Албанија и Република Сјеверна Македонија, као и територија Косова која има посебан статус на основу Резолуције Савјета безбједности Уједињених нација, под бројем 1244.

1.2. Климатске промјене – од глобалног до регионалног нивоа

На основну истраживања водећих међународних институција, као што су Национална метеоролошка служба Уједињеног Краљевства Велике Британије и Сјеверне Ирске (*Met Office*) и Међувладин панел за климатске промјене (IPCC), у посљедњих неколико деценија уочава се интензиван тренд пораста температуре ваздуха, а нарочито је то изражено од почетка осамдесетих година XX вијека. На Граф. 1.1. види се пораст глобалне континенталне температуре у односу на тридесетогодишњи референтни период (1961–1990), који износи и до 1,5 °C и појављује се у другој декади XXI вијека (Jones et al. 2012). Са друге стране, кретање годишње висине падавина на глобалном нивоу, у посљедњих нешто више од 100 година, показује веће осцилације (Граф. 1.2). Нешто више количине падавина уочавају се током средине XX вијека, након чега почиње тренд опадања, да би почетком XXI вијека тај тренд почео лагано да расте, односно долази до пораста висине падавина (IPCC 2007).

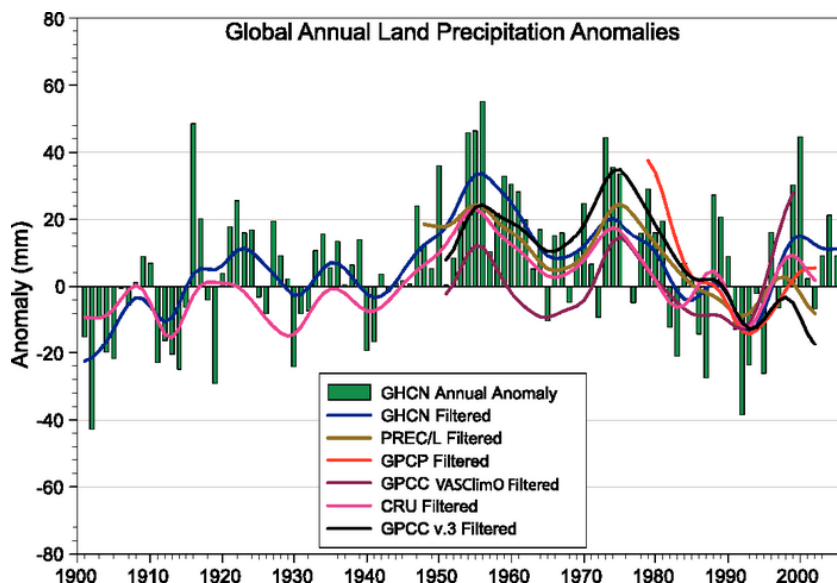
Подаци мониторинга показују да је глобална температура ваздуха током XX вијека порасла за око 0,6 °C, док је изнад Европе тај тренд још виши, односно износи 0,8 °C (IPCC 2007).



Граф. 1.1. Просјечна годишња одступања температуре ваздуха (°C) изнад копна за период 1856–2015. године (референтни период 1961–1990. година); црна линија – вриједност одступања; сиво поље – статистичка значајност од 95% (Jones et al. 2012)

Graph. 1.1. Anomalies of the annual mean air temperature (°C) over land for the period 1856–2015 (the reference period is 1961–1990); black line – anomaly value; grey area – statistical significance of 95% (Jones et al. 2012)

Просјечни пораст температуре ваздуха изнад Европе у првој декади XXI вијека (од 2002. до 2011. године) износио је 1,3 °C (Kovats et al. 2014). Такође, новија мјерења показују да је глобална средња температура ваздуха током посљедње деценије, односно од 2010. до 2019. године, била за 0,94 °C до 1,03 °C топлија од преиндустријског нивоа, што је чини најтоплијом декадом од када се врше редовна инструментална мјерења. Истовремено, температуре ваздуха изнад европског копна расле су још брже за исти период (2010–2019) и износиле од 1,7 °C до 1,9 °C (EEA 2020). На основу ових података може се закључити да је тренд раста температуре изнад Европе већи у односу на глобални ниво. Такође, подаци са инструменталних мјерења за температуру ваздуха за Европу показују тренд загријавања до 1947. године, који је затим праћен трендом хлађења до 1977. године, а у наредних тридесет година трајао је веома интензиван раст температуре ваздуха, посебно од 1994. до 2003. године (Luterbacher et al. 2004).



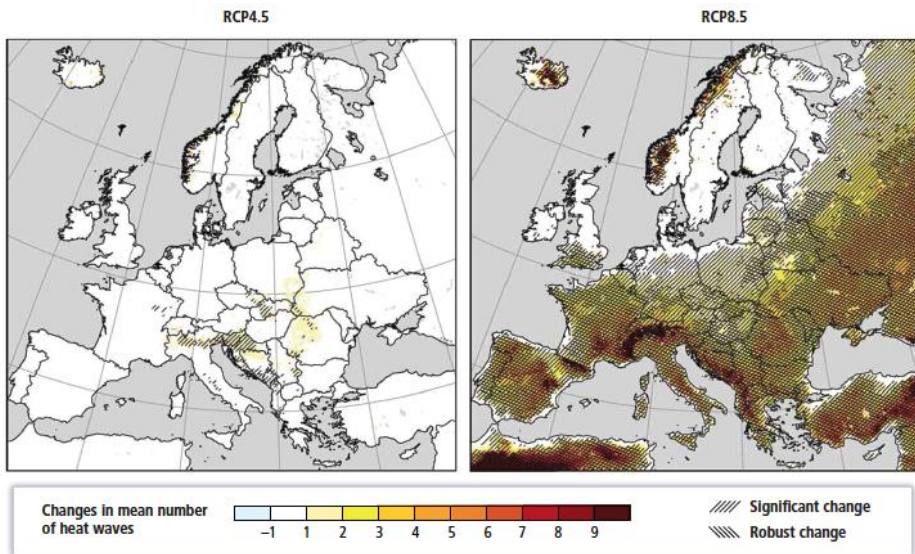
Граф. 1.2. Просјечна годишња одступања падавина (мм) на основу глобалне мреже станица за период 1900–2005. године (референтни период 1981–2000. година); зелени стубићи – годишња одступања у мм (IPCC 2007)

Graph. 1.2. Anomalies of annual mean precipitation (mm) based on the global network for the period 1900–2005 (the reference period is 1981–2000); green bars – annual anomalies in mm (IPCC 2007)

Овакви порасте средње температуре ваздуха снажно су повезани са порастом максималне и минималне температуре ваздуха (Easterling et al. 1997), јер чак и релативно мала промјена средње вриједности промјенљиве може довести до знатних промјена у учесталости екстрема (Nicholls and Alexander 2007). Важно је напоменути да су у оквиру европског континента највећи трендови раста температуре ваздуха примијећени на Пиринејском полуострву (нарочито током љетњег периода), затим широм централне и сјевероисточне Европе, а посебно у планинским регионима и над јужном Скандинавијом (ЕЕА 2020). Од средине XX вијека до данас уочава се и пораст екстремно топлих периода, као што су тропски или љетни дани, тропске ноћи, топли таласи. Тако су 2014, 2015, 2018. и 2019. година четири најтоплије године у Европи од када је започет процес инструменталног мјерења. Изнад многих дијелова Европе (као што је регион западне Европе) у јуну и јулу 2019. године јављали су се веома интензивни топли таласи, током којих су оборени многи дотадашњи национални температурни рекорди (С3S 2020). Са друге стране, када се говори о падавинама у Европи, од средине XX вијека висина падавина

константно расте на просторима сјеверне Европе (око 70 мм по деценији), док се пад биљежи у јужној Европи (Haylock et al. 2008).

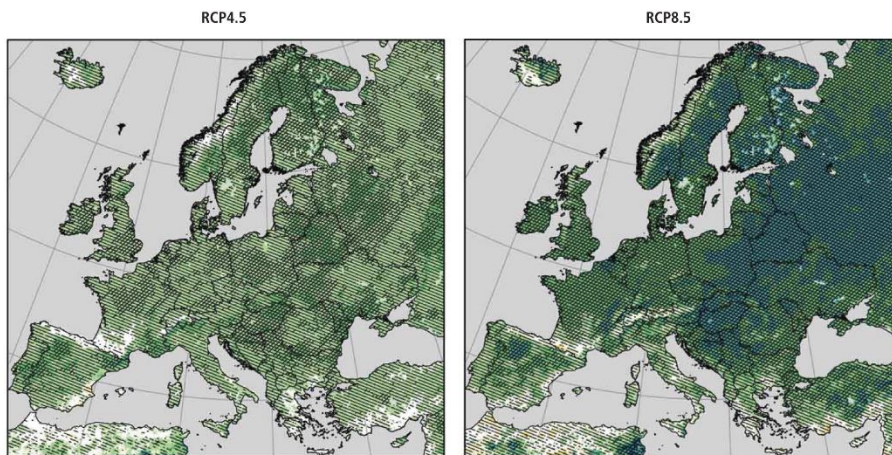
Климатски модели указују да ће се у Европи трендови температуре и падавина у XXI вијеку наставити у истом смјеру као и током друге половине XX вијека. То значи да ће температура ваздуха и даље највише расти у зимском периоду у сјеверној Европи, а током љетњег периода у јужној Европи. Са друге стране, падавине показују већу регионалну и сезонску варијабилност, с тим да ће у сјеверној Европи расти, а у јужној Европи опадати висина падавина (Kovats et al. 2014). Такође, на основу резултата Beniston et al. (2007) и Lenderink and Van Meijgaard (2008), пројектује се пораст екстремних догађаја у Европи, нарочито у виду топлих таласа, суша и интензивних падавина. Сл. 1.1. и Сл. 1.2. показују тенденцију пораста броја топлих таласа и интензивних падавина на основу модела који су базирани на репрезентативним путевима концентрације (*Representative Concentration Pathway, RCP*), односно концентрацији CO₂ током XXI вијека (Kovats et al. 2014).



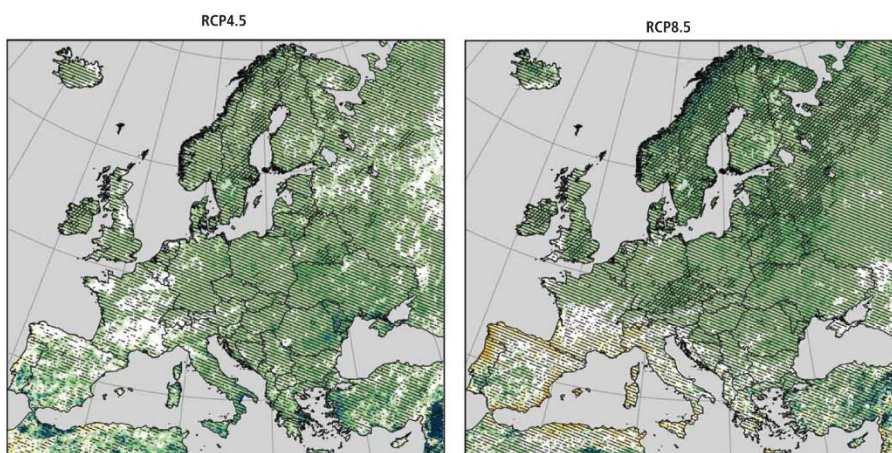
Сл. 1.1. Пројектована промјена просјечног броја топлих таласа у периоду од маја до септембра за период 2071–2100. године, а упоређено са периодом 1971–2000. године (Kovats et al. 2014)

Fig. 1.1. Projected change in the average number of heat waves in the period from May to September for the period 2071–2100, and compared to the period 1971–2000 (Kovats et al. 2014)

(a) DJF seasonal changes in heavy precipitation (%), 2071–2100 compared to 1971–2000



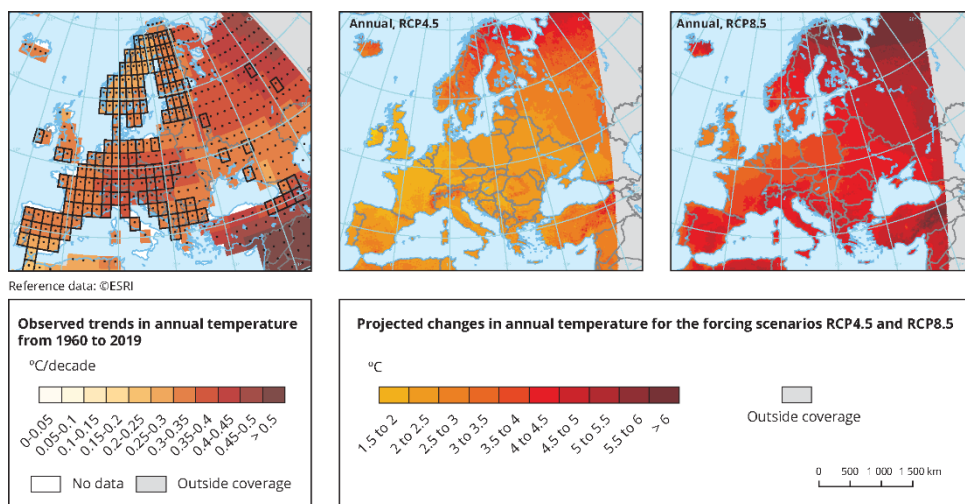
(b) JJA seasonal changes in heavy precipitation (%), 2071–2100 compared to 1971–2000



Сл. 1.2. Пројектоване сезонске промјене интензивних падавина (узети су у обзир дани са падавинама > 1 мм) за период 2071–2100. године, а упоређено са периодом 1971–2000. године (у %); а) зимски период (DJF); б) љетњи период (JJA) (Kovats et al. 2014)

Fig. 1.2. Projected seasonal changes of intensive precipitation (taken into account days with precipitation > 1 mm) for the period 2071–2100, and compared to the period 1971–2000 (in %); a) winter period (DJF); b) summer period (JJA) (Kovats et al. 2014)

Такође, пројекције EURO-CORDEX иницијативе сугеришу да ће температуре ваздуха широм европског копненог подручја наставити да се повећавају током XXI вијека бржим темпом од глобалног просјека. Предвиђа се да ће се температура ваздуха изнад копненог дијела у различитим европским регионима додатно повећати за 1,4 °C до 4,2 °C према сценарију RCP4.5, односно за 2,7 °C до 6,2 °C према сценарију RCP8.5 (до периода 2071–2100. године, у поређењу са периодом 1971–2000. године) (Сл. 1.3). Највећи ниво пораста температуре предвиђа се широм сјевероисточне Европе и Скандинавије у сезони зима и изнад простора јужне Европе у сезони љето (Jacob et al. 2013).



Сл. 1.3. Средње годишње промјене температуре ваздуха у Европи од 1960. до 2019. године (мапа лијево) и пројектоване промјене у XXI вијеку под различитим RCP сценаријима (мапе десно) (EEA 2020)

Fig. 1.3. Mean annual changes in air temperature in Europe from 1960 to 2019 (map on the left) and projected changes in the 21st century under different RCP scenarios (maps on the right) (EEA 2020)

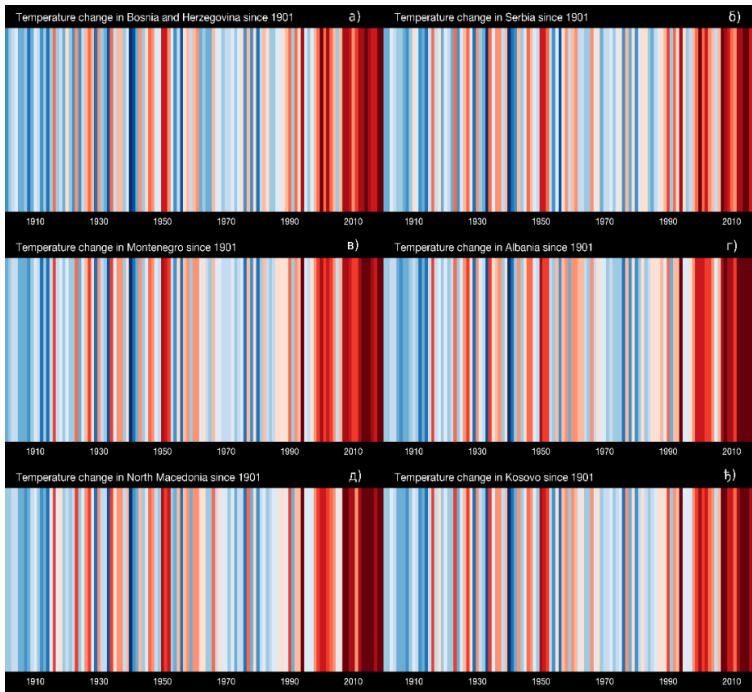
Екстремне температуре ваздуха кључни су аспект сваке климатске промјене јер су природни екосистеми и друштвени процеси најосјетљивији на њих (Easterling et al. 2000; Unkašević et al. 2005). У централној и југоисточној Европи топла љета, која су често праћена сушом, наносе знатну штету пољопривреди (Domonkos 1998). Важан задатак науке јесте разумијевање узрока који одређују промјене режима главних климатских параметара, односно екстремних температура. Наведене промјене могу се одредити кроз природне процесе или антропогеном активношћу, или оба фактора могу утицати заједно и истовремено.

Поред научних публикација које су истакле промјене температуре ваздуха изазване антропогеном активношћу, бројне студије су показале важан утицај општих механизма атмосферске циркулације на промјенљивост температуре у сјеверној, централној и источној Европи (Kozuchowski and Marciniak 1988; Sepp and Jaagus 2002; Tomozeiu et al. 2002; Jaagus 2006; Jaagus et al. 2008; van den Besselaar et al. 2010; Savić et al. 2015).

Појава ризика који се директно везују за климатске промјене повећава се у учесталости и интензитету током посљедњих неколико деценија, а очекује се да ће се тај раст наставити током XXI вијека. У Европи се очекује повећање броја екстремних падавинских догађаја у будућности, суше ће се појачати, а топли таласи ће постати све интензивнији и дужи (IPCC 2012; Alcantara-Ayala et al. 2015). Стога је анализа процјене ризика веома важна за дефинисање рањивости ризичних елемената на специфичан ризик (Parathoma-Köhle et al. 2016). Међувладин панел за климатске промјене класификовао је топле таласе као један од екстремних временских догађаја повезаних са климатским промјенама (Field et al. 2012). Учесталост, интензитет и трајање топлих таласа повећали су се на глобалном нивоу (Perkins et al. 2012), као и у југоисточној Европи (Tomczyk 2016), и наставиће да се повећавају током XXI вијека на глобалном нивоу (Clark et al. 2006). Топли таласи имају снажне негативне утицаје на урбана подручја, прије свега због интензивне храпавости вјештачке површине (густо изграђена подручја), локалне и регионалне климе, као и недостатка дрвећа и других зелених/плавих површина, што доводи до модификације температура ваздуха и стварања интензивног урбаног острва топлоте (*Urban Heat Island*, UHI) (Wilhelmi and Hayden 2010; Doborvolny and Krahula 2015; Skarbit et al. 2015, 2017; Gál et al. 2016; Lelovics et al. 2016; Hamdi et al. 2016). На основу тога, урбано острво топлоте представља разлику у температури ваздуха између градске (урбанизоване) средине и околних руралних (неурбанизованих) подручја (Dapietri et al. 2011), а интензитет урбаног острва топлоте углавном је позитиван у урбаним срединама (нарочито током ноћних периода) (Memon et al. 2009).

Простор Западног Балкана, као дио европског континента, није издвојен из процеса климатских промјена, односно интензитет процеса и посљедица климатских промјена сличан је са ситуацијама које се дешавају изнад подручја јужне и источне Европе. Посматрајући период од 1961. до 2015. године уочава се константни пораст температуре ваздуха, нарочито након 1980-их, а пораст просјечне температуре ваздуха изнад простора Западног Балкана износи 1,2 °C. Истовремено, пројекције кретања температуре ваздуха које су засноване на емисији гасова са ефектом стаклене баште (RCP4.5 и RCP8.5) указују да ће током XXI вијека пораст температуре износити од 1,7 °C до 4,0 °C.

Најинтензивнији пораст температуре ваздуха јављаће се током љетњег периода године, а вриједност иде и до 1,0 °C више, у односу на годишњи ниво. Са друге стране, нешто ниже вриједности пораста температуре очекују се у сјеверним дијеловима Босне и Херцеговине и Републике Србије, али разлике између најнижих и највиших трендова пораста неће бити статистички значајне (видјети Сл. 1.3. и Сл. 1.5). Када се говори о падавинама, генерално се уочава нешто већи раст висине падавина у сјеверним дијеловима Западног Балкана, а пад висине падавина према јужним дијеловима (Vuković and Vujadinović Mandić 2018) (видјети Сл. 1.4).



Сл. 1.4. Кретање просјечне годишње температуре ваздуха у периоду 1901–2019. године у државама Западног Балкана; а) Босна и Херцеговина, б) Република Србија, в) Република Црна Гора, г) Република Албанија, д) Република Сјеверна Македонија, њ) Косово (Hawkins 2022)

Fig. 1.4. Movement of the average annual air temperature in the period 1901–2019 in the countries of the Western Balkans; a) Bosnia and Herzegovina, b) the Republic of Serbia, c) the Republic of Montenegro, d) the Republic of Albania, e) the Republic of Northern Macedonia, f) Kosovo (Hawkins 2022)

На Сл. 1.4. представљено је кретање просјечних годишњих температура ваздуха за сваку појединачну државу Западног Балкана, за период од 1901. до 2019. године, у виду термалних линија (*warming stripes*). Резултати оваквог приказа кретања температуре ваздуха показују константан тренд раста, нарочито током посљедњих тридесетак година, а јасно је уочљиво да је у посљедњих двадесетак година, неколико година представљало најтоплије године од почетка XX вијека.

1.3. Истраживање урбане климе у градовима Западног Балкана

Квалитативни процес урбанизације у просторном, временском и одрживом смислу веома је важан за разумијевање промјенљивих и сложених интеракција између глобалних климатских промјена и раста и развоја урбаних средина. С обзиром на веома интензиван ниво урбанизације на глобалном нивоу, све већи дио свјетске популације (односно више од половине укупног броја становника) биће изложен директним утицајима климатских промјена у урбанизованим срединама. Такође, процес урбанизације модификује физичко-географске карактеристике локалне средине кроз низ измијењених природних појава које могу резултирати микро или локалним стресовима у животној средини (Revi et al. 2014). Истовремено, својства грађевинског материјала објеката утичу на стварање специфичних режима урбане микроклиме (Jackson et al. 2010). То укључује и појаву урбаних острва топлоте, или појаве микро или локалних плављења (након интензивних падавина), које климатске промјене могу погоршати. Због тога, кључно је разумјети непосредну међусобну интеракцију процеса урбанизације, тренутних локалних промјена у животној средини и убрзавања климатских промјена. Урбанизација (од микро до мезо нивоа) може интензивирати и проширити утицај урбаног острва топлоте, мијењајући микроклиматске процесе, као што је смјер и јачина вјетра са копна и мора, затим утицај катабатских вјетрова и слично (Revi et al. 2014).

Занимљиво је да се феномен урбаних острва топлоте јавља у бројним градовима свијета без обзира на климатски тип у коме се градови налазе и величину града. Он настаје као посљедица људских измјена површинских и атмосферских особина и процеса који прате урбани развој. Феномен је добио назив „острво“ јер су изотермне вриједности изнад града веће од изотермних вриједности хладније околине која представља „море“ хладнијег ваздуха. Усљед тога, острво топлоте је дефинисано на основу разлика у температури ваздуха између градске и природне или сеоске средине (Оке 1995). Вишак топлоте у градовима може да има позитивне или негативне утицаје у зависности

од макроклиматских карактеристика региона у коме се град налази. У градовима који се налазе у хладнијим климатима, или током хладнијих годишњих доба, острва топлоте могу имати позитивне утицаје као што су: јефтиније гријање станова и кућа, побољшан спољашњи термални комфор, рјеђа појава поледнице на путу или магле, бољи услови за развој биљака и животиња итд. Међутим, острва топлоте у градовима који се налазе у топлијим климатима или током топлијих сезона (љетњи период) могу имати негативне утицаје као што су: повећан дискомфор и топлотни стрес становништва у спољној средини, повећана стопа морталитета становништва, већа потрошња енергије за хлађење станова и кућа, већа потрошња воде и слично. Осим тога, урбана острва топлоте могу знатно да утичу и на вјеродостојност климатских истраживања и коришћених података. Наиме, уколико се за анализу историјских промјена температуре ваздуха користе подаци са станица које су некада биле изван града, а сада се налазе унутар града (као посљедица урбанизације), забиљежене вриједности могу бити измијењене под утицајем урбанизације. Осим тога, уколико се у анализи узима већи број градских станица него што је потребно у односу на укупну градску површину на свијету, такође се може доћи до упитних закључака (Stewart and Oke 2012).

Веза између интензитета урбанизације и процеса климатских промјена има важне импликације на еколошку одрживост. Климатске промјене могу да убрзају еколошке стресове у урбанизованим срединама, као и да интензивирају већ постојеће урбане еколошке, економске и политичке стресове (Wilbanks and Kates 2010; Leichenko 2011). Такође, током урбанизације простора долази до модификације површине земљишта, односно генерално смањује се еколошки нетакнуто земљиште и фрагментира се преостало земљиште, што смањује капацитете за станишта различитих животињских врста, а повећава се вјероватноћа даље еколошке деградације (Revi et al. 2014).

Са друге стране, процесом адаптације урбаних средина омогућава се постепена трансформација која пружа отпорност на климатске промјене и интензивира одрживи развој. Овакав процес може се реализовати кроз ефикасно административно управљање, затим усклађивањем политика и подстицаја, ојачаним капацитетима за прилагођавање локалне управе и заједнице, синергијама са приватним сектором и одговарајућим финансирањем и институционалним развојем. Могућности за то су велике у многим градовима који интензивно расту, и гдје се развијају институције и инфраструктура, мада постоје ограничени докази да се то реализује у пракси (Revi et al. 2014). Слични проблеми, када се говори о интеракцији урбанизације и климатских промјена, као и капацитета локалних заједница да реализују адаптивне процесе, јављају се и за најзначајније градове у државама Западног Балкана. На овим просторима, након почетка процеса демократизације и развоја (у

последњих тридесетак година) започео је процес интензивне урбанизације и ширења највећих градова и њихова трансформација из некадашњег социјалистичког уређења у савремени урбанистички оквир. Услед тих веома интензивних процеса, минимална пажња посвећена је очувању или унапређењу урбане животне средине или одрживог развоја. Самим тим, као посљедица, све чешће и интензивније појављују се термални ризици који су пријетња становништву и инфраструктури. Да би се мјере прилагођавања (адаптације) могле примијенити што ефикасније у будућности, неопходна су интензивна и константна истраживања климатских и других карактеристика урбаних средина на подручју Западног Балкана.

Истраживања термалних карактеристика у урбаним срединама током XXI вијека обухватају у себи два веома битна елемента: раст броја становника и климатске промјене. Услед тога, није необично да се бројни истраживачи посвећују овој тематици, од Ванкувера до Токија, Лондона до Сао Паола, Делхија до Кејптауна, Берлина до Сегедина и Новог Сада. Међутим, пошто се свјетски градови међусобно разликују, не само по броју становника него и по нивоу изграђености, проценту зелених површина, висини зграда, а разликују се и природне средине око њих, установљено је да некадашњи оквир за истраживања термалних разлика (град–село) није довољно прецизан. Наиме, установљено је да је интензитет урбаних острва топлоте или термалних осцилација практично неупоредив између градова јер се, на примјер, у једном граду метеоролошка станица налази у парку (Преторија, Јужна Африка), а у другом у градској улици са високим зградама (тзв. градски кањон у Даласу, Тексас, САД) (Stewart and Oke 2012). Сличан проблем је и са метеоролошким станицама постављеним у природној или сеоској средини јер се оне могу налазити у пољу, шуми, дворишту, па мјерења са њих нису директно упоређива.

Због тога, у последњих десетак година, уочавају се све интензивнија истраживања урбане климе за одређене градове у државама Западног Балкана, са доминантним фокусом на термалне карактеристике (као што су температура ваздуха и подлоге, или анализа индекса термалног комфора), али и са новом методологијом мониторинга и анализирања базираном на унутарградске (*intra-urban*) и међуградске (*inter-urban*) калкулације.

1.3.1. Резултати истраживања урбане климе

У наредним потпоглављима детаљније ће се представити анализе и резултати истраживања урбане климе у градовима/регионима држава које чине подручје Западног Балкана. У Таб. 1.1. приказани су публиковани радови за сваку државу, као и подјела анализиране литературе на основу главног циља

сваког рада. У овој студији представљени су радови који су публиковани у међународним или националним научним часописима, као и публикације објављене у цјелини са неколико међународних конференција које представљају допринос у смислу истраживања урбане климе. Такође, селектовани су радови који су писани на енглеском језику у циљу практичнијег претраживања радова и избјегавања пропуста у налажењу публикација уколико су радови писани на неком од националних језика (на примјер, албанском или македонском, или пак ћириличним писмом). Ради лакше анализе до сада урађеног и публикованог, све селектоване публикације су подијељене према главном циљу и резултатима, односно на радове са фокусом на:

- развој и имплементацију мониторинга у урбаним зонама и аналитику прије свега температуре ваздуха/површине и падавина,
- анализу индекса спољашњег термалног комфора,
- анализу утицаја урбане климе на морталитет и квалитет живота становништва.

У овој студији представљено је 49 публикација које директно или индиректно анализирају проблеме урбане климе, а градске средине за које су најчешће вршена истраживања су Нови Сад (Србија), Тирана (Албанија), Скопље (Сјеверна Македонија), Београд (Србија) и Бања Лука (Босна и Херцеговина).

Таб. 1.1. Продукција научних публикација које анализирају климатске одлике и њихов утицај на животну средину и становништво у градовима, односно државама Западног Балкана

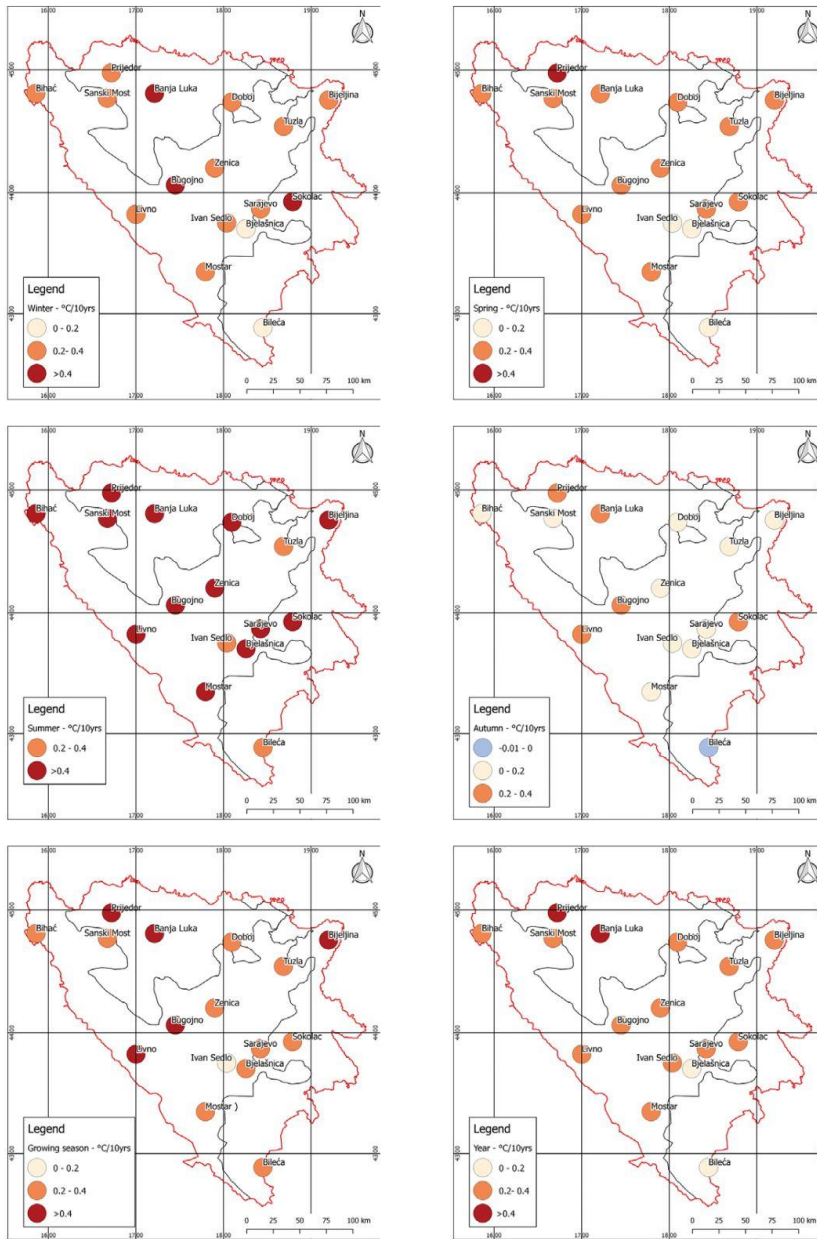
Table 1.1. Production of scientific publications that analyze climatic characteristics and their impact on the environment and population in cities and countries of the Western Balkans

Држава / територија	Град / регион	Литература		
		Мониторинг / Температура / Падавине	Спољашњи термални комфор	Урбана клима и становништво
Босна и Херцеговина	Већи градови; Херцеговачко- неретвански кантон	Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a; 2018b; 2019	Pecelj et al. 2011; Jahić and Mezetović 2014	/
Република Србија	Нови Сад; Београд	Unger et al. 2011; Savić et al. 2013, 2018a, 2020a, 2020b; Jovanović et al. 2015; Milošević	Vajšanski et al. 2015; Basarin et al. 2016; Milošević et al. 2016,	Đurđev et al. 2012; Savić et al. 2014, 2018b; Arsenović 2019;

		et al. 2015, 2018, 20226; Šećerov et al. 2015, 2019, 2021; Lelovics et al. 2016; Geletič et al. 2019; Milovanović et al. 2020; Fricke et al. 2020	2017, 2020; Pecelj et al. 2020	Arsenović et al. 2019a, 20196
Република Црна Гора	Подгорица; Даниловград; Колашин; приморски градови	Burić et al. 2014, 2015, 2019; Bajčinovci 2017; Burić and Doderović 2019, 2020	Joksimović et al. 2013	/
Република Албанија	Тирана; Скадар; Дуреш	Fintikakis et al. 2011; Dervishi et al. 2012; Porja 2013; Malltezi et al. 2015	Panariti et al. 2015	/
Република Сјеверна Македонија	Скопље	Kaplan et al. 2018	/	Kendrovski et al. 2011, 2014; Martinez et al. 2016
Косово (УН 1244)	Приштина	Dugolli 2013	/	/

1.3.2. Развој мониторинга и анализе параметара урбане климе

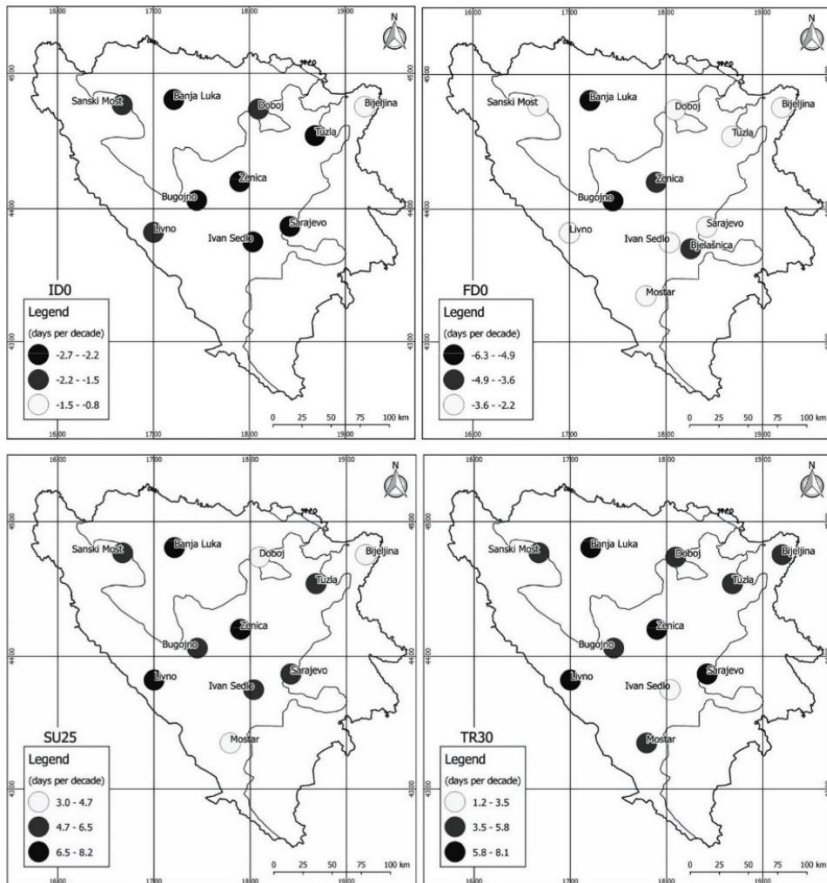
Истраживачка група са Универзитета у Бањој Луци до сада је највише допринијела у анализама трендова термалних карактеристика на територији Босне и Херцеговине. Иако су у овим истраживањима коришћени подаци са метеоролошких станица националне хидрометеоролошке мреже, а не мјерења у самим урбаним срединама, на основу представљених резултата, могу се уочити тенденције кретања температуре ваздуха и температурних екстрема и у урбаним срединама и самим тим предвидјети даљи термални притисак и ризик за становништво.



Сл. 1.5. Декадни трендови средњих сезонских и годишњих температура ваздуха за Босну и Херцеговину у периоду од 1961. до 2015. године (Trbić et al. 2017)

Fig. 1.5. Decade trends of mean seasonal and annual air temperatures for Bosnia and Herzegovina in the period from 1961 to 2015 (Trbić et al. 2017)

Према њиховим истраживањима, трендови високих температура константно расту, док трендови ниских температура опадају (Popov et al. 2018a). Оваква тенденција раста температура и индекса екстремно топлих дана има још значајнији тренд раста крајем XX и почетком XXI вијека, а интензивни тренд опадања за исти период изражен је код екстремно ниских температура ваздуха (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b, 2019) (Сл. 1.5. и Сл. 1.6).



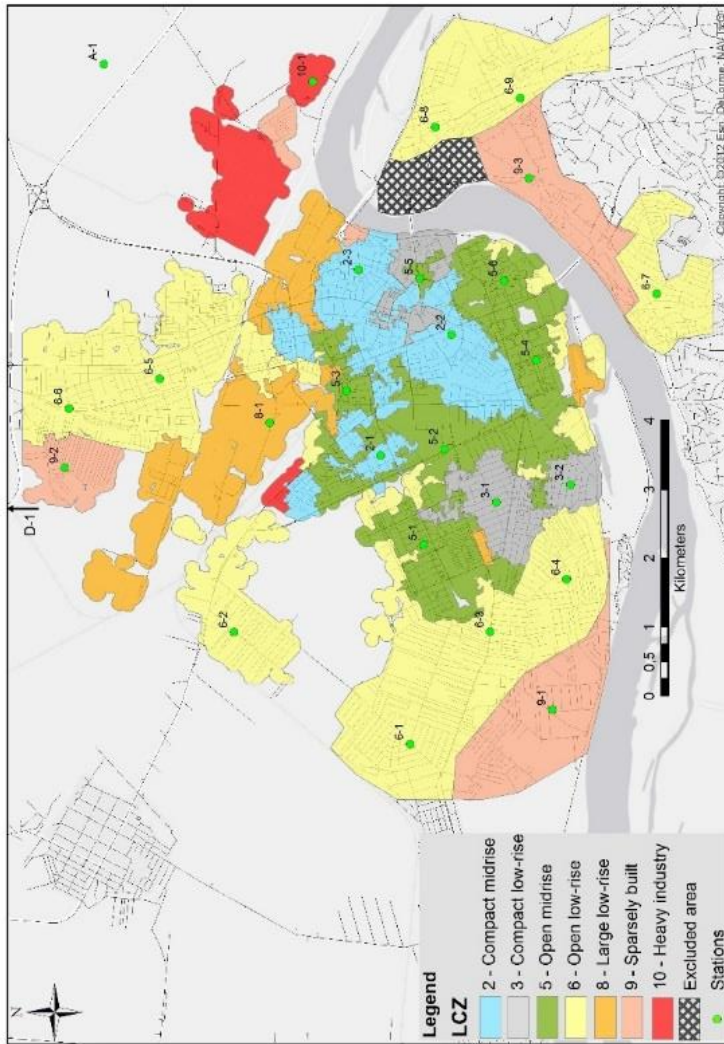
Сл. 1.6. Декадни трендови дана са екстремним температурама у Босни и Херцеговини у периоду од 1961. до 2016. године (Popov et al. 2018b)
Fig. 1.6. Decade trends of days with extreme temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period from 1961 to 2016 (Popov et al. 2018b)

На Сл. 1.5. уочава се највиши декадни тренд раста температуре ваздуха на станицама поред већих градова, и то током топлијег периода године (љето, вегетациони период). На Сл. 1.6. такође се виде генерално највиши, односно

најнижи декадни трендови, индекса екстремно топлих, односно хладних дана, и то за податке са станица поред највећих градова.

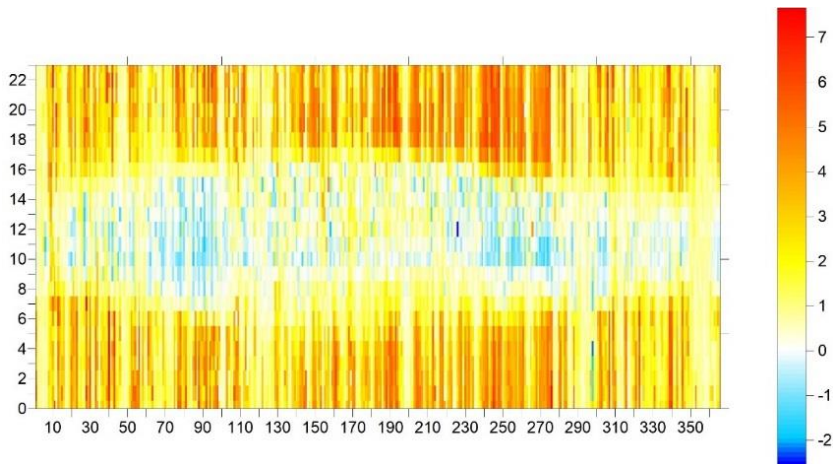
Миловановић са сарадницима (Milovanović et al. 2020) покушао је да утврди термални притисак у урбаној зони Београда користећи метеоролошке станице националне мреже и да дефинише сезонске разлике и дистрибуцију интензитета урбаног острва топлоте користећи кластерску анализу са подацима и без података из урбане зоне Београда. Међутим, највећи напредак у истраживању урбане климе извела је истраживачка група са Универзитета у Новом Саду у сарадњи са Универзитетом у Сегедину. Урбана зона Новог Сада дефинисана је према концепту локалних климатских зона (*Local Climate Zone, LCZ*) (Stewart and Oke 2012), на основу којег је дефинисано седам урбанизованих зона (*built LCZs*) и три доминантне природне зоне (*land cover LCZs*). За класификацију урбане зоне у LCZ коришћена је метода заснована на ГИС-у (Lelovics et al. 2014), у оквиру урбане зоне Новог Сада дефинисане су LCZs 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, A, D, G (Сл. 1.7). Дефинисање LCZ неопходно је да би се на најбољи начин креирала мрежа урбаних станица које би пратиле кретање метеоролошких параметара унутар урбане зоне и уочавале разлике унутар самог града. Резултати су показали да не постоје само температурне разлике између урбаних и природних средина него да су јасне разлике и унутар саме урбане зоне, изазване прије свега у различитом типу урбанизације. Управо LCZ концепт, односно свака локална климатска зона, представља другачији тип урбанизације који има сопствени термални отисак. На основу тога, од 2014. године у урбаној зони Новог Сада постављена је NSUNET (*Novi Sad Urban Network*) мрежа од 28 станица, са сензорима температуре и влажности ваздуха, која покрива сваку од LCZ, у циљу детаљног мониторинга термалних разлика између различитих урбаних зона (Сл. 1.7) (Unger et al. 2011; Savić et al. 2013; Milošević et al. 2015b; Šećerov et al. 2015, 2019, 2021).

Истраживањем унутарградске температуре ваздуха, користећи податке са NSUNET мреже, односно дефинисањем разлика између различитих типова урбанизације (различитих LCZ), добијају се резултати који показују највеће разлике током ноћи и за вријеме топлих таласа у току топлијег периода године (Сл. 1.8). За Нови Сад, разлике између најурбанизованијих дијелова града, као што су LCZ 2, 5 и 8, у односу на LCZ A (шумски простор око града) износе од 3–4 °C до 6–7 °C. Знатно веће разлике се уочавају од заласка до изласка сунца него током обданице (Граф. 1.3). Свакако, разлике се уочавају и између различитих урбанизованих LCZ, али су оне мање и та разлика зависи од степена урбанизације и удјела зелених површина (Lelovics et al. 2016; Savić et al. 2018a; Milošević et al. 2022b).



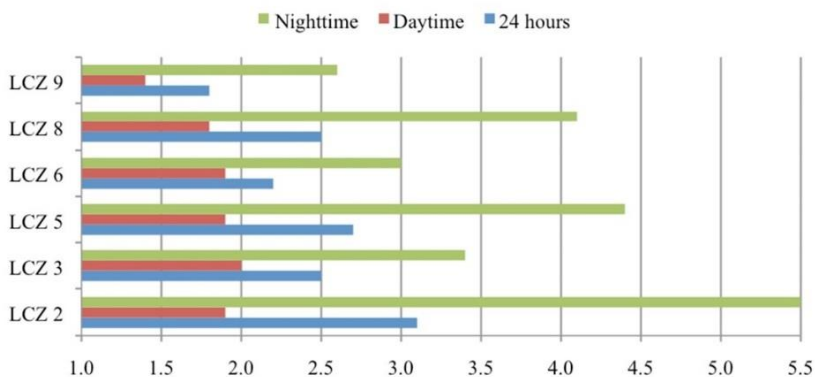
Сл. 1.7. Приказ урбанизованих типова LCZ и локација станица NSUNET мреже у Новом Саду (Србија). Ознаке станица: први број – тип LCZ; други број – број станице у датом LCZ типу (Šećerov et al. 2015)

Fig. 1.7. The obtained LCZ built classes and NSUNET station locations of the urban monitoring network in Novi Sad (Serbia). Note (Station labels): first character – LCZ type; second character – station number in the given LCZ type (Šećerov et al. 2015)



Сл. 1.8. Просјечне дневне температурне разлике ($^{\circ}\text{C}$) између LCZ 2 и LCZ A (LCZ2-A) за мјерни период 2014–2017. године; у-оса – вријеме (координисано универзално вријеме); х-оса – дани у години (Savić et al. 2018a)

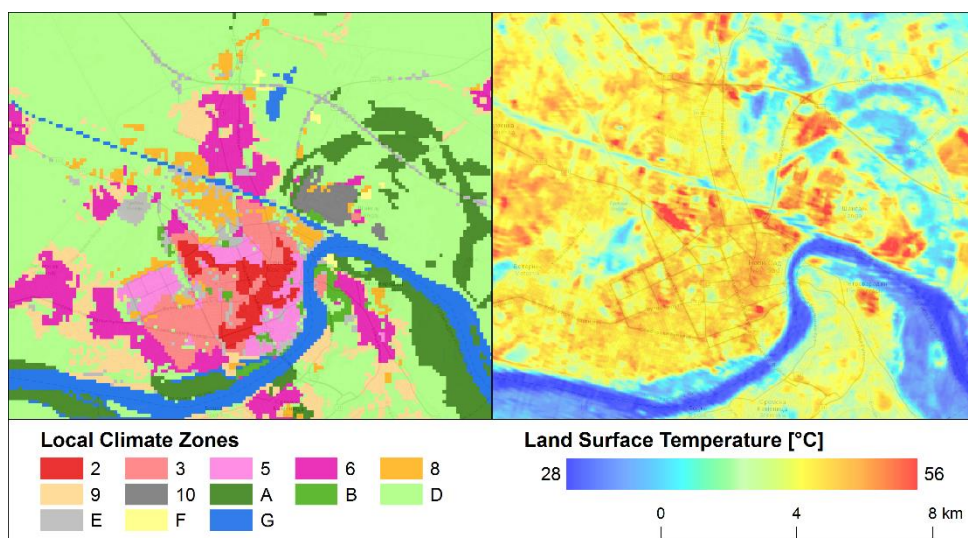
Fig. 1.8. Daily average temperature differences ($^{\circ}\text{C}$) between LCZ 2 and LCZ A (LCZ2-A) for the monitoring period 2014–2017; y-axis – time (Coordinated Universal Time); x-axis – days of the year (Savić et al. 2018a)



Граф. 1.3. Просјечне дневне температурне разлике ($^{\circ}\text{C}$) између LCZx (урбанизоване зоне) и LCZ A током топлог таласа (од 4. до 15. августа 2015. године); период: ноћ (зелена), обданица (црвена) и дан-24 часа (плава) (Savić et al. 2018a)

Graph. 1.3. Daily average temperature differences ($^{\circ}\text{C}$) between LCZx (built-up areas) and LCZ A during the heat wave period (from August 4th to 15th 2015); for the periods: nighttime (green), daytime (red) and 24-hours (blue) (Savić et al. 2018a)

На основу анализе површинских температура (*Land Surface Temperature, LST*) у урбаним срединама, уочавају се корелације између LST и зелених површина које ублажавају ефекат површинског урбаног острва топлоте, док корелација између LST и урбанизованих површина доводи до јачања термалних разлика у односу на неурбанизоване средине, што показује примјер урбане зоне Скопља (Karlan et al. 2018). У истраживањима утицаја урбанизације и LST у урбаномј зони Новог Сада ишло се и корак даље, то јест анализирани су разлике у вриједностима LST у различитим дијеловима града, односно у различитим LCZ (Jovanović et al. 2015; Savić et al. 2020a; Fricke et al. 2020) (Сл. 1.9). Резултати показују највише вриједности у најурбанизованијим дијеловима града, као што су LCZ 2, 8 и 10, а најниже у воденим и парковским површинама. Geletić et al. (2019) чак су анализирали LST разлике између LCZ природних средина (*land cover LCZs*) и на основу тога дефинисали LCZ подтипове (укупно 11).



Сл. 1.9. Просторна дистрибуција LST у Новом Саду (слика лијево) и примјер распореда LST са сателитског снимка (LANDSAT-8, scene LT8_20170710) за Нови Сад и непосредну природну околину (слика десно) (Savić et al. 2020a)

Fig. 1.9. Spatial distribution of LCZs in Novi Sad (left) and example of the LST pattern (from LANDSAT-8, scene LT8_20170710) in Novi Sad's urban area and hinterland (right) (Savić et al. 2020a)

Слично као и истраживања у Босни и Херцеговини, анализе термалних карактеристика у Црној Гори концентрисане су у неколико публикација које анализирају вишедеценијске временске серије температуре ваздуха и термалних екстрема са националне мреже станица, али са фокусом на неколико градова, као што су Подгорица, Даниловград, Колашин и приморски градови (Burić et al. 2014, 2015, 2019; Burić and Doderović 2020). Кроз ове анализе могу се спознати додатни термални стресови у овим урбаним зонама, нарочито када су у питању Подгорица, Даниловград, Бар и Будва.

Анализа појаве екстремних климатских догађаја у албанским градовима Тирани и Скадру показује да је у периоду 1982–2012. године дошло до појаве 61 топлог таласа (Porџа 2013). Урбану зону Тиране карактерише тренд раста температуре ваздуха (на основу података од 1947. до 2010. године), као и резултати моделирања који предвиђају даљи тренд раста температуре, броја топлих дана и броја дана са екстремним падавинама у наредним деценијама XXI вијека, па се јавља потреба за увођењем климатских адаптивних мјера (Malltezi et al. 2015). Због тога су важне анализе Fintikakis et al. (2011) и Dervishi et al. (2012), који детаљно представљају микроклиматске и термалне разлике у урбаној зони Тиране, током различитих периода године, у односу на површинску геометрију, тип урбанизације и доминације зелених површина. Сличну анализу урадио је Вајџиновци (2017) за Улцињ, гдје је истраживао принципе биоклиматског пасивног дизајна који су повезани са еколошки одрживим дизајном, затим са микроклиматским условима, као и термалним, просторним, визуелним и акустичним условима и квалитетом ваздуха. За урбану зону Приштине анализу је урадио Dugolli (2013) предлажући мјере адаптације површинске геометрије, односно типа урбанизације, да би се ублажио интензитет урбаног острва топлоте.

За разлику од термалних анализа, за друге метеоролошке параметре, као што су релативна влажност ваздуха и падавине, не уочавају се значајне разлике у зависности од типа урбанизације. Генерално, ниже вриједности влажности ваздуха јављају се у најурбанизованијим дијеловима града, док се према периферији она постепено повећава, што је примијећено у Новом Саду (Milošević et al. 2018). Такође, анализе разлика у падавинама су минималне и статистички незначајне, осим за неке индексе падавина, када се посматрају разлике између различитих типова урбанизације (на примјеру Новог Сада) (Savić et al. 2020б), мада се генерално уочавају разлике у релативној влажности ваздуха и падавинама између урбане средине и непосредног природног окружења (на примјеру Подгорице) (Burić and Doderović 2019).

1.3.3. Анализа спољашњег термалног комфора у градовима

Истраживање спољашњег термалног комфора у Босни и Херцеговини представљено је кроз рад Pecelj et al. (2011), који анализирају биоклиматски индекс Блажејчког и Мацаракиса (Blazejczyk and Matzarakis 2007), чије вриједности представљају топлотно оптерећење, временске подтипове и физичке компоненте метеоролошких вриједности. Циљ њихове анализе јесте приказати термалне услове за бањски туризам у урбаном и непосредном природном окружењу Добоја у зимском (јануар) и љетњем (јул) периоду. Резултати показују да у јануару доминира хладни стрес, без интензивног зрачења и са slabим термичким контрастом температуре ваздуха. У јулу мјесецу доминира биотермални тип са топлим стресом, интензивним зрачењем и знатним термичким контрастом температуре ваздуха.

Jahić and Mezetović (2014) користили су туристички климатски индекс (*Tourism Climate Index*, TCI) да би процијенили туристичке потенцијале Херцеговачко-неретванског кантона. Према резултатима њиховог истраживања, повољнији услови за развој туризма, на основу TCI вриједности, карактеристични су на простору од планинских предјела према Јадранском мору, односно од Бјелашнице према Чапљини и Неуму (Таб. 1.2). Такође, TCI за четири града у Црној Гори анализирали су Joksimović et al. (2013) и представили вриједности на мјесечном нивоу, које показују боље услове у Подгорици и Херцег Новом у односу на Жабљак и Колашин.

Таб. 1.2. Мјесечне вриједности туристичког климатског индекса за дефинисане локације и градове у Херцеговачко–неретванском кантону (Jahić and Mezetović 2014)

Table 1.2. Monthly values of tourist climate indices for defined locations and cities in Herzegovina–Neretva Canton (Jahić and Mezetović 2014)

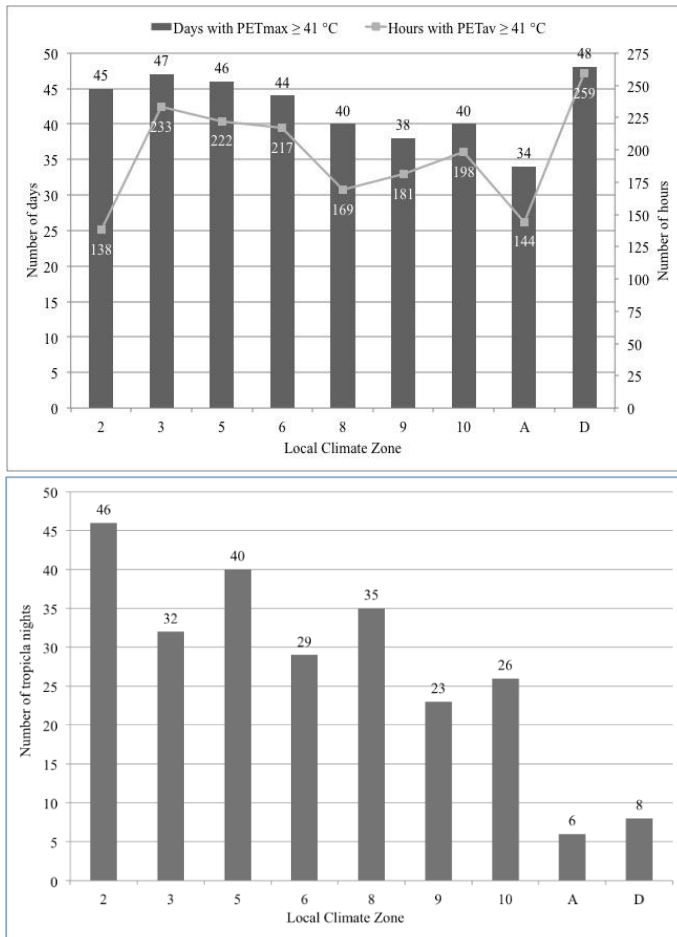
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bjelašnica	12	4	16	22	29	38	47	49	36	29	18	14
Ivan s.	24	24	31	42	54	72	78	81	55	42	24	21
Jablanica	32	31	38	45	71	77	84	79	71	52	37	31
Konjic	33	33	48	55	74	79	85	85	76	57	36	29
Prozor	39	43	47	52	71	76	84	83	79	54	41	33
Mostar	32	39	46	64	78	80	75	73	80	63	42	33
Čapljina	40	44	51	67	82	90	81	80	84	71	45	38
Neum	46	52	49	70	85	95	86	82	82	70	44	41

■ ideal weather (90-100)
 ■ excellent (80-89)
 ■ very good (70-79)
 ■ good (60-69)
■ acceptable (50-59)
■ possible (40-49)
■ unfavourable (30-39)
■ very unfavourable (20-29)
■ extremely unfavourable (10-19)
■ impossible (-30-9)

У неколико студија покушало се уз помоћ вишедеценијских података са главних метеоролошких станица дефинисати термални комфор у градским подручјима у Србији, прије свега користећи главне индексе, као што су физиолошки еквивалентна температура (*Physiologically Equivalent Temperature*, PET) или универзални термални климатски индекс (*Universal Thermal Climate Index*, UTCI) (Basarin et al. 2016; Pecelj et al. 2020). Детаљнија истраживања појаве и утицаја спољашњег термалног комфора рађена су на примјеру урбане зоне Новог Сада. Резултати дана са $PET_{max} \geq 41$ °C показују највеће вриједности за LCZ D (отворена обрадива површина), и та вриједност је већа него вриједност у најурбанизованијим дијеловима града (као што су LCZ 2, 3, 5). Истовремено, број сати са $PET_{av} \geq 41$ °C највиши је у LCZ D, а најнижу вриједност има у најурбанизованијем дијелу града, односно LCZ 2 (Граф. 1.4а). Овакви резултати имају логичко објашњење, јер током обданице високи грађевински објекти стварају сјенке на улицама током дужег периода, омогућавајући слабији интензитет загријавања у односу на отворене површине, као што су обрадиве површине или дијелови града са приземним кућама. Истраживања су показала да је утицај сјенки веома битан фактор у ублажавању спољашњег термалног комфора у најурбанизованијим дијеловима града и да у том смислу оријентација улица или распоред високог растиња заједно са објектима могу бити озбиљан модификаторски чинилац (Vajšanski et al. 2015; Milošević et al. 2017).

Са друге стране, утицај урбанизације на термалне карактеристике, па самим тим и спољашњи термални комфор, има другачији карактер у односу на период обданице. На Граф. 1.4б. види се да је број тропских ноћи (ноћи када минимална температура не пада испод 20 °C) знатно већи у најурбанизованијим дијеловима града, у односу на природну средину. Та разлика је вишеструко већа и посљедица је разлика у температурном балансу, односно због вертикалне структуре објеката интензитет радијације топлоте (одавање топлоте од површине ка атмосфери) знатно је спорији (Milošević et al. 2016, 2020).

Истраживање термалног комфора и температурних карактеристика у односу на тип урбанизације и састав материјала који представљају вјештачку површину у приобалним градовима вршили су Panariti et al. (2015) анализирајући приобално шеталиште у граду Дуреш (Албанија) и представљајући термалне разлике у односу на гранитну, бетонску и друге површине.



Граф. 1.4. а) Број дана са $PET_{max} \geq 41 \text{ } ^\circ\text{C}$ и број сати са $PET_{av} \geq 41 \text{ } ^\circ\text{C}$ у LCZs у Новом Саду (период јун–август 2015. године); б) број тропских ноћи ($T_{min} > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$) у LCZs у Новом Саду (период јун–август 2015. године) (Milošević et al. 2020)

Graph. 1.4. a) Number of days with $PET_{max} \geq 41 \text{ } ^\circ\text{C}$ and number of hours with $PET_{av} \geq 41 \text{ } ^\circ\text{C}$ in LCZs of Novi Sad (June–August 2015); b) number of tropical nights ($T_{min} > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$) in LCZs of Novi Sad (June–August 2015) (Milošević et al. 2020)

1.3.4. Утицаји термалних ризика на становништво у градовима

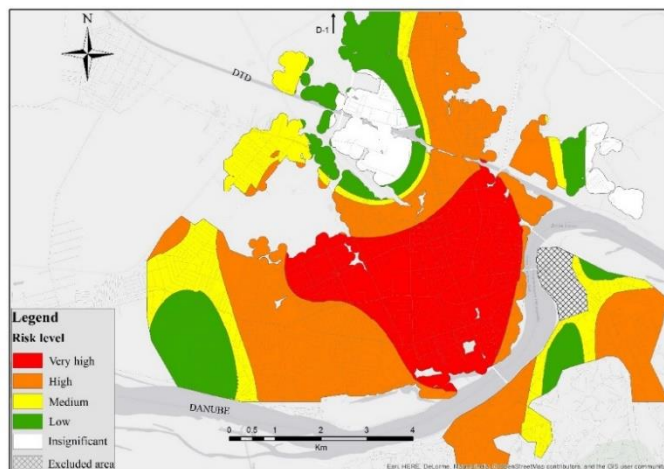
Истраживања међусобног утицаја температуре ваздуха и морталитета (смртности) становништва у урбаним срединама показују очигледну повезаност, нарочито током периода са екстремним температурним догађајима.

Резултати истраживања за Београд и Нови Сад показују да је стопа смртности већа током хладнијег периода године (нарочито за вријеме хладног таласа) у односу на топлији дио (током љета). Међутим, анализа података од краја XIX вијека па до данас показује да је та разлика у стопи смртности (стопи морталитета), изазвана прије свега температурним ризицима, између хладнијег и топлијег периода године све мања, и интензитет у зимском периоду полако опада, а у љетњем периоду тај интензитет додатних случајева смрти константно расте, анализирајући податке од краја XIX вијека па до данас (Ђурђевић *et al.* 2012; Арсенивић *et al.* 2019б). Повећана стопа морталитета, односно додатних случајева смрти, усљед интензивних топлих таласа током љета, нарочито је изражена код популације старије од 65 година (Арсенивић *et al.* 2019б). То су периоди када узастопно више дана максималне дневне температуре ваздуха прелазе 30–35 °C и праћене су истовремено тропским ноћима. Свакако, овакви периоди изазивају негативан термални комфор становништва, па је такође изражена и повећана потрошња електричне енергије за расхлађивање просторија, и резултати показују значајну повезаност повећане потрошње електричне енергије у данима са максималним температурама изнад 30 °C (Савић *et al.* 2014).

Због очигледног значаја процјене термалног ризика у урбаним срединама, Савић је са сарадницима (Савић *et al.* 2018б), користећи Директиву Европске комисије о процјени и мапирању ризика (ЕС 2010), креирао матрицу термалног ризика и извршио мапирање ризика за урбану зону Новог Сада (Сл. 1.10). Нова методологија дефинисања термалног ризика састоји се из: а) анализе дневних температурних разлика између различитих типова урбанизације (различитих LCZ) и природне средине, и б) дневног броја смртних случајева. На основу тога добијају се нивои ризика, који иду до веома високог ризика у најурбанизованијим дијеловима града током периода високих температура (примјер за јул 2015. године, Сл. 1.10), а то су дијелови града који представљају LCZ 2, 3 и 5. Са друге стране, нижи нивои ризика јављају се у LCZ 6, 9 и 8.

Истраживања Kendrovski *et al.* (2011, 2014) и Martinez *et al.* (2016) указују на тренд раста екстремних климатских догађаја (као што су топли таласи) у наредним деценијама XXI вијека, како на територији читаве Републике Сјеверне Македоније, тако и у урбаној зони Скопља. Резултати показују да ће се у урбаној зони Скопља смртност становништва у односу на период 1986–

2005. године, удвостручити у периоду 2026–2045. године, а четворостручити у периоду 2081–2100. године.



Сл. 1.10. Мапа ризика током топлог таласа за урбано подручје Новог Сада (у јулу 2015. године) (Savić et al. 20186)

Fig. 1.10. Heat wave risk mapping for the urban area of Novi Sad (in July 2015) (Savić et al. 20186)

1.4. Закључак

У овој студији представљени су трендови климатских процеса изнад Европе и Западног Балкана, па самим тим и Босне и Херцеговине, током XX вијека, усљед утицаја глобалних климатских промјена. Видљива је тенденција пораста екстремних температурних и падавинских догађаја кроз појаву интензивнијих и дужих топлих и хладних таласа, као и кроз екстремне падавине, или пак са друге стране дуготрајних суша у појединим периодима године. Овакви климатски догађаји додатно врше термални притисак у урбаним срединама, гдје живи већи дио становништва у државама Западног Балкана, а тај додатни термални стрес изазван је усљед већ модификованих климатских карактеристика у градовима због геометрије урбане површине.

Процјене за наредне деценије XXI вијека предвиђају растући тренд екстремних догађаја, са још већим интензитетом, па се самим тим поставља потреба за свеобухватнијим и детаљнијим истраживањима урбане климе и температурних карактеристика, да би се могли предвидјети даљи микроклиматски процеси

и припремити адекватне мјере ублажавања и прилагођавања привреде и становништва у градовима усљед надолазећих климатских промјена.

До сада је веома мало урађено у истраживањима урбане климе у државама Западног Балкана. Нешто интензивнија истраживања у посљедњих десетак година рађена су за поједине урбане средине у Републици Србији (на примјер, Нови Сад), али и даље изостају конкретна истраживања и мониторинг за највеће и најзначајније урбане средине. Даљи развој истраживања урбане климе на нашим просторима веома је неопходан из разлога што такви резултати помажу локалним заједницама и државним институцијама да донесу адекватне стратегије и мјере које ће помоћи друштву да се прилагоди новим климатским условима.

Литература

- Alcantara-Ayala I, Altan O, Baker D, Briceno S, Cutter S, Gupta H, Holloway A, Ismail-Zadeh A, Jimenez Diaz V, Johnston D, McBean G, Ogawa Y, Paton D, Porio E, Silbereisen R, Takeuchi K, Valsecchi G, Vogel C, Wu G, Zhai P (2015) Disaster Risk Research and Assessment to Promote Risk Reduction and Management. ICSU-ISSC, Paris, pp 47
- Arsenović D (2019) Climate and Population in Central Europe: Results for Temperature-Related Mortality in Novi Sad. In: Fisher J, Mazouch P, Hulikova Tesarkova K, Kurtinova O (eds) *New Generations in Demography: New Challenging Adventures in the Population Science*, pp 27–35. University of Economics, Faculty of Informatics and Statistics, Prague, Oeconomica Publishing House
- Arsenović D, Lehnert M, Fiedor D, Šimáček P, Středová H, Středa T, Savić S (2019a) Heatwaves and Mortality in Czech Cities: A Case Study for the Summers of 2015 and 2016. *Geographica Pannonica* 23(3):162–172. doi.10.5937/gp23-22853
- Arsenović D, Savić S, Lužanin Z, Radić I, Milošević D, Arsić M (2019b) Heat-Related Mortality as an Indicator of Population Vulnerability in a Mid-Sized Central European City (Novi Sad, Serbia, Summer 2015). *Geographica Pannonica* 23(4):204–215. doi.10.5937/gp23-22680
- Bajčinovci B (2017) Achieving Thermal Comfort and Sustainable Urban Development in Accordance with the Principles of Bioclimatic Architecture: A Case Study of Ulcinj (Montenegro). *Quaestiones Geographicae* 36(4):131–140. doi.10.1515/quageo-2017-0041
- Bajšanski I, Milošević D, Savić S (2015) Evaluation and Improvement of Outdoor Thermal Comfort in Urban Areas on Extreme Temperature Days: Applications

- of Automatic Algorithms. *Building and Environment* 94:632–643. doi.10.1016/j.buildenv.2015.10.019
- Basarin B, Lukić T, Matzarakis A (2016) Quantification and Assessment of Heat and Cold Waves in Novi Sad, Northern Serbia. *International Journal of Biometeorology* 60(1):139–150. doi.10.1007/s00484-015-1012-z
- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K (2007) Future Extreme Events in European Climate: An Exploration of Regional Climate Model Projections. *Climatic Change* 81(Suppl 1):71–95. doi.10.1007/s10584-006-9226-z
- Blazejczyk K, Matzarakis A (2007) Assessment of Bioclimatic Differentiation of Poland Based on the Human Heat Balance. *Geographia Polonica* 80(1):63–82
- Burić D, Luković J, Ducić V, Dragojlović J, Doderović M (2014). Recent Trends in Daily Temperature Extremes over Southern Montenegro (1951–2010). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14(1):67–72. doi.10.5194/nhess-14-67-2014
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Luković J, Dragojlović J (2015). Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 95(4):53–66. doi.10.2298/GSGD140626002B
- Burić D, Milenković M, Ducić V (2019) The Specificities of the Climate of Danilovgrad (Montenegro). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 99(1):19–28. doi.10.2298/GSGD1901019B
- Burić D, Doderović M (2019) Precipitation, Humidity and Cloudiness in Podgorica (Montenegro) During the Period 1951–2018. *Geographica Pannonica* 23(4):233–244. doi.10.5937/gp23-23582
- Burić D, Doderović M (2020) Projected Temperature Changes in Kolašin (Montenegro) up to 2100 According to EBU-POM and ALADIN Regional Climate Models. *Idojaras* 124(4):427–445. doi.10.28974/idojaras.2020.4.1
- van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, van der Schrier G (2010) Influence of Circulation Types on Temperature Extremes in Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 99:431–439. doi.10.1007/s00704-009-0153-6
- Vuković A, Vujadinović Mandić M (2018) Study on Climate Change in the Western Balkans Region. *Regional Cooperation Council, Sarajevo*, pp 76
- Gál T, Skarbit N, Unger J (2016) Urban Heat Island Patterns and Their Dynamics Based on an Urban Climate Measurement Network. *Hungarian Geographical Bulletin* 65(2):105–116. doi.10.1520 1/hungeobull.65.2.2
- Geletič J, Lehnert M, Savić S, Milošević D (2019) Inter-/Intra-Zonal Seasonal Variability of the Surface Urban Heat Island Based on Local Climate Zones in Three Central European Cities. *Building and Environment* 156:21–32. doi.10.1016/j.buildenv.2019.04.011
- Depietri Y, Renaud FG, Kallis G (2011) Heat Waves and Floods in Urban Areas: A Policy-Oriented Review of Ecosystem Services. *Sustainability Science* 7(1):95–107. doi.10.1007/s116 25-011-0142-4

- Dervishi S, Lacaj E, Vathi R (2012) Urban Heat Islands (UHI) Mitigation in Densely Urban City of Tirana, Albania: Materials, Energy, Comfort. *International Journal of Business and Technology* 1(1):48–57. doi.10.33107/ijbte.2012.1.1.06
- Doborvolny P, Krahula L (2015) The Spatial Variability of the Temperature and Nocturnal Urban Heat Island Intensity in the City of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports* 23(3):8–16. doi.10.1515/mgr-2015 -0013
- Domonkos P (1998) Statistical Characteristics of Extreme Temperature Anomaly Groups in Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* 59:165–179
- Dugolli M (2013) Urban Heat Island and Passive Cooling. 15th Workshop on International Stability, Technology, and Culture, June 06 – 08, 2013, Prishtina, The International Federation of Automatic Control, IFAC Proceedings Volumes, pp 181–184
- Đurđev SB, Arsenović D, Savić S (2012) Temperature-Related Mortality in Belgrade in the Period 1888–2008. *Acta Geographica Slovenica* 52(2):385–401. doi.10.3986/AGS52205
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland CK (1997) Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. *Science* 277(5324):364–367. doi.10.1126/science.277.5324.364
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO (2000) Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science* 289(5487): 2068–2074. doi.10.1126/science.289.5487.2068
- EEA (2020) Global and European Temperatures – Indicator Assessment. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-10/assessment>, Приступљено: 21. фебруар 2022
- Erlwein S, Pauleit S (2021) Trade-Offs Between Urban Green Space and Densification: Balancing Outdoor Thermal Comfort, Mobility, and Housing Demand. *Urban Planning* 6:5–19. doi.10.17645/up.v6i1.3481
- EC (2010) Commission Staff Working Paper—Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management [SEC(2010), 1626 final]. European Commission, Brussels, pp 42
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 996
- IPCC (2012) Managing the Risk of Extreme Events and Disaster to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field CB, Barros V, Stocker TF, Dahe Q, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 582
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds)] Climate

- Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1–32. Cambridge University Press
- Jaagus J (2006) Climatic Changes in Estonia During the Second Half of the 20th Century in Relationship with Changes in Large-Scale Atmospheric Circulation. *Theoretical and Applied Climatology* 83:77–88. doi.10.1007/s00704-005-0161-0
- Jaagus J, Post P, Tomingas O (2008) Changes in Storminess on the Western Coast of Estonia in Relation to Large-Scale Atmospheric Circulation. *Climate Research* 36(1):29–40. doi.10.3354/cr00725
- Jackson TL, Feddema JJ, Oleson KW, Bonan GB, Bauer JT (2010) Parameterization of Urban Characteristics for Global Climate Modeling. *Annals of the Association of American Geographers* 100(4):848–865. doi.10.1080/00045608.2010.497328
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Bøssing Christensen O, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsman A, Martin E, van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana J-F, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, Yiou P (2013) EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research. *Regional Environmental Change* 14(2):563–578. doi.10.1007/s10113-013-0499-2
- Jahić H, Mezetović A (2014) Statistical Identification and Qualitative Evaluation of Climate Tourism Potential by Using Tourism Climate Index – TCI on the Example of Herzegovina-Neretva Canton. *Acta Geographica Bosniae et Herzegovinae* 2:77–89
- Jovanović D, Govedarica M, Sabo F, Sladić D, Ristić A (2015) Spatial Analysis of High-Resolution Urban Thermal Patterns in Vojvodina, Serbia. *Geocarto International* 30(5):483–505. doi.org/10.1080/10106049.2014.985747
- Joksimović M, Gajić M, Golić R (2013) Tourism Climatic Index in the Valorisation of Climate in Tourist Centers of Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 93(1):15–34. doi.10.2298/GSGD1301015J
- Jones PD, Lister DH, Osborn TJ, Harpham C, Salmon M, Morice CP (2012) Hemispheric and Large-Scale Land Surface Air Temperature Variations: An Extensive Revision and an Update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117:D05127. doi.10.1029/2011JD017139
- Kaplan G, Avdan U, Avdan ZY (2018) Urban Heat Island Analysis Using the Landsat 8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. *Proceedings* 2(7):358. doi.10.3390/ecrs-2-05171
- Kendrovski V, Donev D, Spasenovska M, Kisman Hristovska M (2011) Climate Change and Human Health in the Republic of Macedonia: Impacts, Vulnerability and Adaptation in Heat Wave Mortality. *The European Journal of Management and Public Policy* 11(1):71–84

- Kendrovski V, Hristovska M, Menne B (2014) The Public Health Impacts of Climate Change in the Former Yugoslav Republic of Macedonia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(6):5975–5988. doi.10.3390/ijerph110605975
- Kovats RS, Valentini R, Bouwer LM, Georgopoulou E, Jacob D, Martin E, Rounsevell M, Soussana J-F (2014) Europe. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part B: Regional Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 1267–1326. Cambridge University Press
- Kozuchowski K, Marciniak K (1988) Variability of Mean Monthly Temperatures and Semi-Annual Precipitation Totals in Europe in Relation to Hemispheric Circulation Patterns. *International Journal of Climatology* 8:191–199
- Leichenko R (2011) Climate Change and Urban Resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3(3):164–168. doi.10.1016/j.cosust.2010.12.014
- Lelovics E, Unger J, Gál T, Gál CV (2014) Design of an Urban Monitoring Network Based on Local Climate Zone Mapping and Temperature Pattern Modelling. *Climate Research* 60(1):51–62. doi.10.3354/cr01220
- Lelovics E, Unger J, Savić S, Gál T, Milošević D, Gulyás Á, Marković V, Arsenović D, Gál CV (2016) Intra-Urban Temperature Observations in Two Central European Cities: A Summer Study. *Idojaras* 120(3):283–300
- Lenderink G, Van Meijgaard E (2008) Increase in Hourly Precipitation Extremes Beyond Expectations from Temperature Changes. *Nature Geoscience* 1(8):511–514. doi.10.1038/ngeo262
- Lehnert M, Kubeček J, Geletič J, Jurek M, Frajer J (2018) Identifying Hot and Cool Spots in the City Centre Based on Bicycle Measurements: The Case of Olomouc, Czech Republic. *Geographica Pannonica* 22(4):230–240. doi.10.5937/gp22-19750
- Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (2004) European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500. *Science* 303(5663):1499–1503. doi.10.1126/science.1093877
- Malltezi J, Hanxhari R, Zela G, Sulçe S (2015) Climate Change Adaptation Actions in Tirana. *Albanian Journal of Agricultural Sciences* 14(2):102
- Martinez GS, Baccini M, De Ridder K, Hooyberghs H, Lefebvre W, Kendrovski V, Scott K, Spasenovska M (2016) Projected Heat-Related Mortality Under Climate Change in the Metropolitan Area of Skopje. *BMC Public Health* 16:407. doi.10.1186/s12889-016-3077-y
- Memon RA, Leung DYC, Liu CH (2009) An Investigation of Urban Heat Island Intensity (UHII) as an Indicator of Urban Heating. *Atmospheric Research* 94:491–500. doi.10.1016/j.atmosres.2009.07.006

- Milošević D, Savić S, Stojanović V, Popov-Raljić J (2015a) Effects of Precipitation and Temperatures on Crop Yield Variability in Vojvodina (Serbia). *Italian Journal of Agrometeorology* 3(2015):35–44
- Milošević D, Savić S, Unger J, Gál T (2015b) Urban Climate Monitoring System Suitability for Intra-Urban Thermal Comfort Observations in Novi Sad (Serbia) – with 2014 Examples. ICUC9 – 9th International Conference on Urban Climate Jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, July 20 – 24, 2015, Toulouse, International Association for Urban Climate (IAUC), American Meteorological Society (AMS), Extended Abstracts, p 6
- Milošević D, Savić S, Marković V, Arsenović D, Šećerov I (2016) Outdoor Human Thermal Comfort in Local Climate Zones of Novi Sad (Serbia) During the Heat Wave Period. *Hungarian Geographical Bulletin* 65(2):129–137. doi.10.15201/hungeobull.65.2.4
- Milošević D, Bajšanski I, Savić S (2017) Influence of Changing Trees Locations on Thermal Comfort on Street Parking Lot and Footways. *Urban Forestry and Urban Greening* 23:113–124. doi.10.1016/j.ufug.2017.03.011
- Milošević D, Kresoja M, Savić S, Lužanin Z (2018) Intra-Urban Analysis of Relative Humidity and Its Cross-Correlation with Air Temperature in Central-European City. The 10th International Conference on Urban Climate (ICUC10) with the 14th Symposium on the Urban Environment (SUE), August 06 – 10, 2018, New York, NOAA CREST Institute of the City University of New York, International Association for Urban Climate (IAUC), AMS Board on the Urban Environment, Extended Abstracts, p 5
- Milošević D, Savić S, Arsenović D, Lužanin Z, Dunjić J (2020) Analysis of Human Thermal Comfort in Central European City During Summer of 2015: A Case of Novi Sad (Serbia). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 100(1):31–39. doi.10.2298/GSGD2001031M
- Milošević D, Trbić G, Savić S, Popov T, Ivanišević M, Marković M, Ostojić M, Dunjić J, Fekete R, Garić B (2022). Biometeorological Conditions During Hot Summer Days in Diverse Urban Environments of Banja Luka (Bosnia and Herzegovina). *Geographica Pannonica* 26(1):29–45. doi.10.5937/gp26-35456
- Milošević D, Savić S, Kresoja M, Lužanin Z, Šećerov I, Arsenović D, Dunjić J, Matzarakis A (2022b) Analysis of Air Temperature Dynamics in the ‘Local Climate Zones’ of Novi Sad (Serbia) Based on Long-Term Database from an Urban Meteorological Network. *International Journal of Biometeorology* 66(2):371–384. doi.10.1007/s00484-020-02058-w
- Milovanović B, Radovanović M, Schneider C (2020) Seasonal Distribution of Urban Heat Island Intensity in Belgrade (Serbia). *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 70(2):163–170. doi.10.2298/IJGI2002163M
- Nicholls N, Alexander L (2007) Has the Climate Become More Variable or Extreme? Progress 1992–2006. *Progress in Physical Geography* 31:77–87. doi.10.1177/0309133307073885

- Oke TR (1995) The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. In: Cermak JE, Davenport AG, Plate EJ, Viegas DX (eds) *Wind Climate in Cities*, NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), Volume 277, pp 81–107. Springer
- Ongoma V, Muange KP, Zablon WS (2016) Potential Effects of Urbanization on Urban Thermal Comfort, a Case Study of Nairobi City, Kenya: A Review. *Geographica Pannonica* 20(1):19–31
- Panariti AT, Maliqari A, Tashi P (2015) The Impact of Urban Texture in Outdoor Thermal Comfort. *International Journal of Science and Research* 4(12):1629–1633
- Papathoma-Köhle M, Promper C, Bojariu R, Cica R, Sik A, Perge K, László P, Balázs Czikora E, Dumitrescu A, Turcus C, Birsan MV, Velea L, Glade T (2016) A Common Methodology for Risk Assessment and Mapping for South-East Europe: An Application for Heat Wave Risk in Romania. *Natural Hazards* 82:S89–S109. doi.10.1007/s110 69-016-2291-3
- Pecelj M, Pecelj M, Cutovic M, Pavlovic M, Zivkovic D, Zivkovic L, Vujadinovic S, Pecelj J, Gajic M, Mandic D (2011) Bioclimate Weather Classification of Doboј for Helth Spa Tourism. The 10th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 20 – 22, 2011, Cambridge, WSEAS, Book of Proceedings, pp 292–296
- Pecelj M, Lukić M, Filipović D, Protić B, Bogdanović U (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Perkins SE, Alexander LV, Nairn JR (2012) Increasing Frequency, Intensity and Duration of Observed Global Heatwaves and Warm Spells. *Geophysical Research Letters* 39:L20714. doi.10.1029/2012GL053361
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018a) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/ 019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018b) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019) Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change*, pp 213–228. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_15
- Porja T (2013) Heat Waves Affecting Weather and Climate over Albania. *Journal of Earth Science and Climatic Change* 4(4):149. doi.10.4172/2157-7617.1000149
- Revi A, Satterthwaite DE, Aragón-Durand F, Corfee-Morlot J, Kiunsi RBR, Pelling M, Roberts DC, Solecki W (2014) Urban areas. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A:*

- Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 535–612. Cambridge University Press
- Risk Management Solutions (2003) Central Europe Flooding, August 2002, Event Report. Доступно на: http://www.rms.com/publications/central_europe_floods_whitepaper_final.pdf., Приступљено: 16. новембар 2020
- Rosenzweig C, Solecki WD, Hammer SA, Mehrotra S (2011) Urban Climate Change in Context. In: Rosenzweig C, Solecki WD, Hammer SA, Mehrotra S (eds) Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, pp 3–11. Cambridge University Press
- Savić S, Milošević D, Lazić L, Marković V, Arsenović D, Pavić D (2013) Classifying Urban Meteorological Stations Sites by „Local Climate Zones“: Preliminary Results for the City of Novi Sad (Serbia). *Geographica Pannonica* 17(3):60–68
- Savić S, Selakov A, Milošević D (2014) Cold and Warm Air Temperature Spells During the Winter and Summer Seasons and Their Impact on Energy Consumption in Urban Areas. *Natural Hazards* 73(2):373–387. doi.10.1007/s11069-014-1074-y
- Savić S, Milovanović B, Lužanin Z, Lazić L, Dolinaj D (2015) The Variability of Extreme Temperatures and Their Relationship with Atmospheric Circulation: The Contribution of Applying Linear and Quadratic Models. *Theoretical and Applied Climatology* 121(3–4):591–604. doi.10.1007/s00704-014-1263-3
- Savić S, Lužanin Z, Milošević D, Kresoja M (2018a) Intra-Urban Analysis of Air Temperature in Central-European City. The 10th International Conference on Urban Climate (ICUC10) with the 14th Symposium on the Urban Environment (SUE), August 06 – 10, 2018, New York, NOAA CREST Institute of the City University of New York, International Association for Urban Climate (IAUC), AMS Board on the Urban Environment, Extended Abstracts, p 6
- Savić S, Marković V, Šećerov I, Pavić D, Arsenović D, Milošević D, Dolinaj D, Nagy I, Pantelić I (2018b) Heat Wave Risk Assessment and Mapping in Urban Areas: Case Study for a Midsized Central European City, Novi Sad (Serbia). *Natural Hazards* 91(3):891–911. doi.10.1007/s11069-017-3160-4
- Savić S, Geletič J, Milošević D, Lehnert M (2020a) Analysis of Land Surface Temperatures in the „Local Climate Zones“ of Novi Sad (Serbia). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 100(1):41–50. doi.10.2298/GSGD2001041S
- Savić S, Kalfayan M, Dolinaj D (2020b) Precipitation Spatial Patterns in Cities with Different Urbanisation Types: Case Study of Novi Sad (Serbia) as a Medium-Sized City. *Geographica Pannonica* 24(2):88–99. doi.10.5937/gp24-25202
- Savić S, Trbić G, Milošević D, Dunjic J, Ivanisevic M, Markovic M (2022) Importance of Assessing Outdoor Thermal Comfort and Its Use in Urban Adaptation Strategies: A Case Study of Banja Luka (Bosnia and Herzegovina). *Theoretical and Applied Climatology*. doi.10.1007/s00704-022-04237-8
- Sepp M, Jaagus J (2002) Frequency of Circulation Patterns and Air Temperature Variations in Europe. *Boreal Environment Research* 7:273–279

- Skarbit N, Gál T, Unger J (2015) Airborne Surface Temperature Differences of the Different Local Climate Zones in the Urban Area of a Medium Sized City. 2015 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), March 30 – April 01, 2015, Lausanne, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Book of Proceedings, pp 1–4
- Skarbit N, Stewart ID, Gál T, Unger J (2017) Employing an Urban Meteorological Network to Monitor Air Temperature Conditions in the ‘Local Climate Zones’ of Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology* 37(S1):582–596. doi.10.1002/joc.5023
- Stewart ID, Oke TR (2012) Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of American Meteorological Society* 93(12):1879–1900. doi.10.1175/BAMS-D-11-00019.1
- Schär C, Jendritzky G (2004) Climate Change: Hot News from Summer 2003. *Nature* 432(7017):559–560. doi.10.1038/432559a
- Tomozeiu R, Busuioc A, Stefan S (2002) Changes in Seasonal Mean Maximum Air Temperature in Romania and Their Connection with Large-Scale Circulation. *International Journal of Climatology* 22(10):1181–1196. doi.10.1002/joc.785
- Tomczyk A (2016) Impact of Atmospheric Circulation of the Occurrence of Heat Waves in Southeastern Europe. *Idojaras* 120(4):395–414
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01
- Unger J, Savić S, Gál T (2011) Modelling of the Annual Mean Urban Heat Island Pattern for Planning of Representative Urban Climate Station Network. *Advances in Meteorology* 2011:398613. doi.10.1155/2011/398613
- United Nations (2014) *World Urbanization Prospects—The 2014 Revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, pp 493
- Unkašević M, Vujović D, Tošić I (2005) Trends in Extreme Summer Temperatures at Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology* 82:199–205. doi.10.1007/s00704-005-0131-6
- Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) (2012) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation—Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 582
- Fintikakis N, Gaitani N, Santamouris M, Assimakopoulos M, Assimakopoulos DN, Fintikaki M, Albanis G, Papadimitriou K, Chryssochoides E, Katopodi K, Doumas P (2011) Bioclimatic Design of Open Public Spaces in the Historic Centre of Tirana, Albania. *Sustainable Cities and Society* 1(1):54–62. doi.10.1016/j.scs.2010.12.001
- Fricke C, Pongrácz R, Gál T, Savić S, Unger J (2020) Using Local Climate Zones to Compare Remotely Sensed Surface Temperatures in Temperate Cities and Hot

- Desert Cities. *Moravian Geographical Reports* 28(1):48–60. doi.10.2478/mgr-2020-0004
- Hamdi R, Duchene F, Berckmans J, Delcloo A, Vanpoucke C, Termonia P (2016) Evolution of Urban Heat Wave Intensity for the Brussels Capital Region in the ARPEGE-Climat A1B Scenario. *Urban Climate* 17:176–195. doi.10.1016 /j.uclim.2016 .08.001
- Hawkins E (2022) Warming Stripes. Доступно на: <https://showyourstripes.info/>, Приступљено: 28. фебруар 2022
- Haylock MR, Hofstra N, Klein Tank AMG, Klok EJ, Jones PD, New M (2008) A European Daily High-Resolution Gridded Data Set of Surface Temperature and Precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113(D20):D20119. doi.10.1029/2008JD010201
- C3S (2020) European State of the Climate 2019, Climate Bulletin, Copernicus Climate Change Service. Доступно на: <https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019>, Приступљено: 7. септембар 2020
- Clark RT, Brown SJ, Murphy JM (2006) Modeling Northern Hemisphere Summer Heat Extreme Changes and Their Uncertainties Using a Physics Ensemble of Climate Sensitivity Experiments. *Journal of Climate* 19(17):4418–4435. doi.10.1175/JCLI 3877.1
- Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Beltrano C, Perini L (2005) Epidemiologic Study of Mortality During the Summer 2003 Heat Wave in Italy. *Environmental Research* 98:390–399. doi.10.1016/j.envres.2004.10.009
- Šećerov I, Savić S, Milošević D, Marković V, Bajšanski I (2015) Development of an Automated Urban Climate Monitoring System in Novi Sad (Serbia). *Geographica Pannonica* 19(4):174–183
- Šećerov I, Savić S, Milošević D, Arsenović D, Dolinaj D, Popov S (2019) Progressing Urban Climate Research Using a High-Density Monitoring Network System. *Environmental Monitoring and Assessment* 191:89. doi.10.1007/s10661-019-7210-0
- Šećerov I, Popov S, Sladojević S, Milin D, Lazić L, Milošević D, Arsenović D, Savić S (2021) Achieving High Reliability in Data Acquisition. *Remote Sensing* 13(3):345. doi.10.3390/rs13030345
- Wilbanks TJ, Kates RW (2010) Beyond Adapting to Climate Change: Embedding Adaptation in Responses to Multiple Threats and Stresses. *Annals of the Association of American Geographers* 100(4):719–728. doi.10.1080/00045608.2010.500200
- Wilhelmi OV, Hayden MH (2010) Connecting People and Place: A New Framework for Reducing Urban Vulnerability to Extreme Heat. *Environmental Research Letters* 5:1–7. doi.10.1088 /1748 -9326 /5/1/014021

Climate Change and Urban Climate in the Western Balkans

Stevan Savić, Goran Trbić, Dragan Milošević, Tatjana Popov

Summary

Global climate change is a process that inevitably affects the European continent, and thus the countries of the Western Balkans, i.e. Bosnia and Herzegovina, which is located in Southeast Europe. Increasingly intense and long-lasting heat waves (especially during the summer period), the occurrence of intense cold waves in winter, intense short-term precipitation periods, as well as long-term dry periods are the consequences of climate change characteristic of the Western Balkans, and thus Bosnia and Herzegovina. Such temperature and precipitation extremes have become more frequent in the last twenty–thirty years, as evidenced by the annual air temperatures in all Western Balkan countries, i.e. it is clear that most of the last few years are the warmest years since the beginning of the 20th century.

Due to such extreme weather events, it is clear that urban areas in the Western Balkans are under stronger, primarily thermal pressure, due to the already modified micro and local climate due to the characteristics of surface geometry.

As a result, even higher temperatures and a significantly higher number of tropical nights occur during the heat waves, and have a direct threat to the health of the population and the economy in urban areas.

This study analyzed 49 publications that directly or indirectly analyze, primarily thermal values and indices, in urban areas in the Western Balkans, in Banja Luka, Novi Sad, Belgrade, Tirana and Skopje. The results clearly show higher thermal pressure in urban areas, when it comes to temperatures and indices of thermal comfort, and maximum differences in relation to the natural environment occur in the most urbanized and industrial parts of the city. Also, analyzes of thermal risk on the quality and mortality of the population in urban areas show that increased mortality is in the category of residents over 65 years of age.

Keywords: Climate change, extreme weather events, urban climate, air temperature, urban heat island, thermal comfort, Western Balkans



Соларна енергетика и климатске промјене

Драгољуб Мирјанић, Томислав Павловић, Ивана Радоњић,
Галина Сажко

Сажетак: *Савремена соларна енергетика заснива се на фототермалној, фотонапонској и хибридној конверзији Сунчевог зрачења и на пасивном захвату Сунчевог зрачења. Фототермална конверзија Сунчевог зрачења одвија се на нискотемпературним, средњетемпературним и високотемпературним фотоконверзионим системима. За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се равни колектори са водом и ваздухом, док се за средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе концентратори Сунчевог зрачења. За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се концентратори са хелиостатским пољима и параболичним рефлекторима Сунчевог зрачења. За фотонапонску конверзију Сунчевог зрачења користе се соларне ћелије од различитих материјала. За снабдијевање потрошача електричном енергијом користе се самостални и фотонапонски системи везани за електродистрибутивну мрежу. За добијање већег износа електричне енергије користе се стационарне, једноосно и двоосно ротационе соларне електране.*

Цитирање: Мирјанић Д, Павловић Т, Радоњић И, Сажко Г (2023) Соларна енергетика и климатске промјене. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:41–78

Cite as: Mirjanić D, Pavlović T, Radonjić I, Sazhko G (2023) Solar Energy and Climate Change. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:41–78

За истовремену конверзију Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори Сунчевог зрачења. За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се индивидуални стамбени и други објекти који су изграђени у складу са принципима соларне архитектуре. У соларној енергетици се углавном користе материјали који нису штетни за околину, осим токсичних As и Cd, који се налазе у GaAs и CdTe соларним ћелијама. Уређаји који се користе у соларној енергетици не емитују штетне материје и немају негативан утицај на климатске промјене.

Кључне ријечи: Соларна енергетика, климатске промјене, фототермална, фотонапонска, хибридна и пасивна конверзија Сунчевог зрачења

2.1. Увод

Под соларном енергетиком се подразумемијева савремена област енергетике у којој се енергија Сунчевог зрачења помоћу одређених уређаја претвара у топлотну и електричну енергију. Бројне радове из области соларне енергетике објавили су и истраживачи из Републике Српске и региона (Павловић и Чабрић 2007; Pavlović et al. 2012a, 2012b; 2015; Pantić et al. 2016; Radonjić et al. 2018; Radonjić et al. 2017, 2021; Mirjanić et al. 2019, 2020, 2021).

За претварање Сунчевог зрачења у топлотну енергију користе се топлотни колектори без концентратора и са концентраторима Сунчевог зрачења. За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (до 100 °C) користе се равни колектори са водом и ваздухом. За средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења (100–400 °C) користе се колектори са концентраторима Сунчевог зрачења. За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (400–4.000 °C) користе се хелиостати и параболични концентратори Сунчевог зрачења.

За претварање Сунчевог зрачења у електричну енергију користе се фотонапонски системи који се састоје од соларних ћелија, акумулатора, претварача једносмјерног у наизмјенични напон итд. Данас се у свијету соларне ћелије углавном праве од монокристалног и поликристалног силицијума и нешто мање од аморфног силицијума, CdTe, GaAs и других материјала. Сваким даном се у свијету фотонапонски системи све више користе за добијање електричне енергије у приватним домаћинствима и соларним електранама. За истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори (Павловић и

сар. 2018). За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се стамбени и други објекти који су изграђени у складу са принципима соларне архитектуре.

2.2. Фототермална конверзија Сунчевог зрачења

Топлотна конверзија Сунчевог зрачења врши се на активним и пасивним фотоконверзионим системима. Активни фототермални конверзиони системи дијеле се на: нискотемпературне, средњетемпературне, високотемпературне и хибридне. Пасиван захват Сунчевог зрачења врши се на стамбеним и другим објектима који су грађени у складу са принципима соларне архитектуре.

2.2.1. Нискотемпературна конверзија Сунчевог зрачења

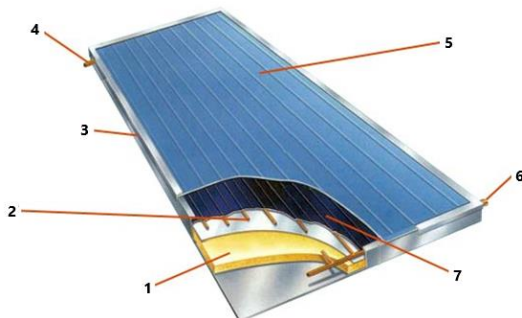
За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (температура < 100 °C) користе се равни колектори, који се у зависности од радног флуида дијеле на колекторе са водом (водени колектори) и колекторе са ваздухом (ваздушни колектори). Равни колектори Сунчевог зрачења састоје се од кутије, предњег и задњег покривача, апсорбера и термоизолације. Наведени дијелови колектора добијају се помоћу савремених технологија пресовања, ваљања и извлачења металних материјала, бојења апсорбера, добијања предњег и задњег покривача и термоизолације. Имајући у виду да су равни колектори у току свог рада изложени различитим атмосферским утицајима, сваки дио колектора треба да буде направљен од квалитетних материјала и помоћу савремених технологија. Помоћу равних колектора врши се топлотна конверзија директног и дифузног Сунчевог зрачења до 100 °C (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.1.1. Колектори са водом

Код колектора са водом (Сл. 2.1) као радни флуид користи се вода са антифризом као додатком против замрзавања. У зависности од конструкционих карактеристика равни колектори са водом могу да се подијеле на:

- колекторе без прозирних покривача и термоизолације, који су једноставни за производњу и користе се за загријавање воде у пливачким базенима,
- колекторе са једним покривачем и јефтином термоизолацијом, који се користе за загријавање воде до 60 °C,

- колекторе са двоструким покривачем и добром термоизолацијом, који се користе за загријавање воде до 100 °С.



Сл. 2.1. Попречни пресјек колектора са течношћу: 1) термоизолација, 2) цијеви за воду, 3) рам, 4) улазни отвор за воду, 5) предњи покривач, 6) излазни отвор за воду, 7) апсорбер (Павловић и сар. 2015)

Fig. 2.1. Liquid collector cross-section: 1) thermal insulation, 2) water pipes, 3) frame, 4) water inlet, 5) front cover, 6) water outlet, 7) absorber (Павловић и сар. 2015)

Кутија. Кутије равних колектора најчешће се израђују од елоксираног алуминијума, рјеђе од поцинкованог челичног лима и пластичних материјала. Кутија штити унутрашње дијелове колектора од механичких оштећења, топлотних губитака и атмосферских утицаја.

Предњи покривач. Предњи покривач налази се на предњој страни колектора, транспарентан је за Сунчево зрачење, смањује топлотне губитке колектора и штити апсорбер од атмосферских утицаја. За предњи покривач користи се стакло дебљине 3–4 мм или пластична фолија дебљине 0,1–0,2 мм. Код колектора са два стакла предње стакло је дебље од унутрашњег. Стакло је пропусно за Сунчево зрачење у области таласних дужина 0,3–3 μm . Захваљујући овоме, стакло добро пропушта Сунчево зрачење ка апсорберу и не дозвољава да топлотно зрачење са апсорбера оде ван колектора. Од пластичних материјала за предњи покривач колектора користе се тедлар фолија, фиберглас и тефлон. Недостаци пластичних фолија као предњих покривача огледају се у њиховој осјетљивости на ултраљубичасто зрачење и више температуре.

Апсорбер. Апсорбер представља најважнији дио колектора Сунчевог зрачења. На апсорберу се врши топлотна конверзија Сунчевог зрачења. Апсорбована топлота се са апсорбера до потрошача преноси помоћу радног флуида (течности или ваздуха). Апсорбери се израђују од материјала који имају добру топлотну проводљивост као што су бакар и алуминијум. У циљу што боље

апсорпције Сунчевог зрачења апсорбери треба да буду спектрално селективни, односно да имају коефицијент апсорпције Сунчевог зрачења већи од 0,9 и коефицијент емисије топлотног зрачења (емисивности) мањи од 0,2 ($\alpha > 0,9$, $\epsilon < 0,2$).

У погледу конструкције, апсорбери могу да имају различите облике:

- апсорбер који се добија увлачењем бакарне цијеве у доњи дио испресованог Al профила,
- апсорбер који се добија увлачењем бакарне цијеве у отвор који се налази у средини испресоване Al ламеле,
- апсорбер који се добија причвршћивањем бакарне цијеве за доњи дио испресованог Al профила,
- апсорбер који се добија лемљењем бакарне цијеве за погодно профилисану металну плочу,
- апсорбер који се добија пресовањем или ваљањем Al лима и уметањем бакарне цијеве у образовано удубљење,
- апсорбер формиран *roll-bond* поступком итд.

Апсорбери могу да се боје у црно премазивањем црном бојом, електрохемијским бојењем, вакуумским напаравањем итд. Апсорбери могу да буду спектрално неселективни и спектрално селективни. У спектрално селективне апсорбере спада Al/Al₂O₃-Ni апсорбер, који се добија електрохемијским бојењем анодно оксидованог алуминијума у раствору NiSO₄. Ефикасност равног колектора са спектрално селективним апсорбером је за око 30% већа од ефикасности термалног колектора са спектрално неселективним апсорбером.

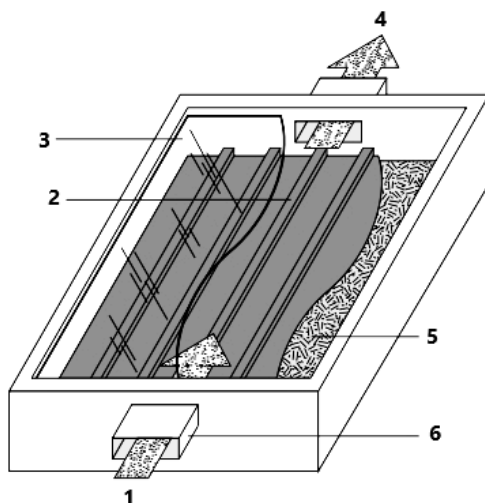
Термоизолација. Термоизолација колектора се врши помоћу предњег покривача, бочне изолације и изолације са задње стране апсорбера. Унутрашња изолација колектора треба да буде механички и хемијски стабилна на температури стагнације колектора. Унутрашња изолација колектора не смије да испарава или емитује гасове који би могли да прекрију унутрашњу страну покровног стакла и смање пролаз Сунчевог зрачења до апсорбера. Поред овога, унутрашња изолација не смије да се топи, шири или скупља у условима рада колектора. За унутрашњу изолацију често се користи стаклена вуна која је без органских везива бијела, а са органским везивима љубичаста, жута или оранж боје. Код равних колектора за термоизолацију се користе и пјене које се уливају у колектор и имају добру механичку чврстоћу. Недостаци термоизолационих пјена су у њиховом топљењу и испаравању на температурама од 160 до 220 °C.

Задњи покривач. Као задњи покривач равних колектора најчешће се користе Al или поцинковани лим (Павловић и Чабрић 2007).

2.2.1.2. Ваздушни колектор

Ваздушни колектори се разликују од колектора са течношћу по конструкцији апсорбера (Сл. 2.2). Принцип рада ових колектора састоји се у сљедећем: у простор између задње стране апсорбера и кутије колектора улази хладан ваздух, који се загријава у додиру са апсорбером. Принудна циркулација ваздуха у систему који користи ваздушне колекторе за загријавање просторија одржава се помоћу вентилатора.

Код ваздушних колектора не постоји могућност замрзавања радног флуида. Ваздушни колектори су једноставнији и јефтинији од колектора са течношћу. Користе се за загријавање просторија помоћу топлог ваздуха, у сушарама за сушење љековитог биља, дувана итд. (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



Сл. 2.2. Шематски приказ ваздушног колектора: 1) хладан ваздух, 2) апсорбер, 3) стакло, 4) топао ваздух, 5) изолација, 6) улаз за хладан ваздух (Pavlovic et al. 2008)

Fig. 2.2. Schematic representation of the air collector: 1) cold air, 2) absorber, 3) glass, 4) hot air, 5) insulation, 6) cold air inlet (Pavlovic et al. 2008)

2.2.1.3. Соларни систем са природном циркулацијом воде

Соларни систем са природном циркулацијом воде (термосифонски систем) састоји се од равног колектора и соларног бојлера изнад њега (Сл. 2.3).



Сл. 2.3. Соларни систем са природном циркулацијом воде (Solarni sistemi 2021)

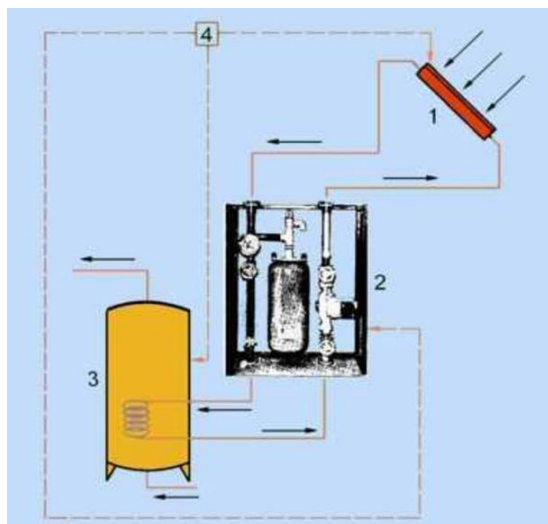
Fig. 2.3. Solar system with natural water circulation (Solarni sistemi 2021)

Код овог система топлотни измјењивач соларног бојлера директно је повезан са улазном и излазном цијеви колектора. Након пуњења водом затвореног соларног система соларни колектор – соларни бојлер, циркулација воде се одвија природним путем. Загријана вода из колектора као специфично лакша одлази у топлотни измјењивач соларног бојлера, а расхлађена вода из топлотног измјењивача соларног бојлера као специфично тежа враћа се у колектор. Природна циркулација воде у термосифонском систему одржаваће се све док постоји разлика температуре између воде у бојлеру и воде у колектору, односно све док Сунце загријава колектор (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.1.4. Соларни систем са принудном циркулацијом воде

Соларни систем са принудном циркулацијом воде састоји се од колектора, соларног модула, соларног бојлера и диференцијалног термостата (Сл. 2.4). Соларни модул се састоји од циркулационе пумпе, експанзионог суда, манометра, термометра и одговарајућих вентила. Циркулациона пумпа може да се укључује аутоматски или ручно. Користи се за одржавање принудне циркулације воде у соларном систему. Помоћу експанзионог суда одржава се одговарајући притисак воде у затвореном циркулационом кругу. У случају

да у њему опадне притисак, соларном систему се додаје вода из водоводне мреже преко одговарајућег прикључка на соларном модулу. Диференцијални термостат се користи за контролисање температуре воде у соларном бојлеру и колектору и укључивање циркулационе пумпе. Циркулациона пумпа се аутоматски укључује када разлика температуре воде у колектору и бојлеру достигне задату вриједност ΔT (обично 5–15 °C) (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.4. Соларни систем са принудном циркулацијом воде: 1) колектор, 2) соларни модул који садржи циркулациону пумпу, експанзиони суд, манометар, термометар, прикључак за довођење воде у затворени циркулациони круг соларног система, 3) соларни бојлер, 4) диференцијални термостат (Павловић 2008)

Fig. 2.4. Solar system with forced water circulation: 1) collector, 2) solar module containing circulating pump, expansion dish, manometer, thermometer, connection for bringing water into the closed circulation circuit of the solar system, 3) solar boiler, 4) differential thermostat (Павловић 2008)

2.2.2. Средњетемпературна конверзија Сунчевог зрачења

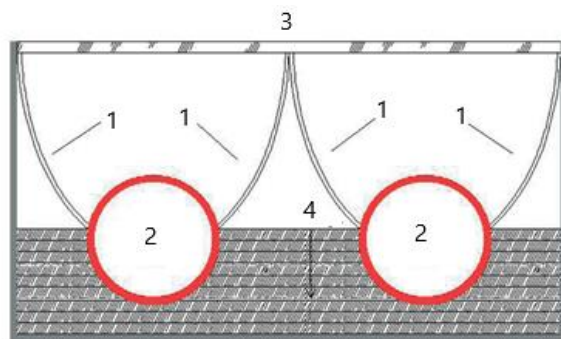
За средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења (100–400 °C) користе се вакуумски колектори са концентраторима Сунчевог зрачења (фокусирајући колектори) и соларне пећнице. У колекторе са концентраторима Сунчевог зрачења спадају: Винстонов параболични, цилиндрично-параболични, цијевно-вакуумски, спирално-фокусирајући и трапезоидно-фокусирајући колектор.

Колектори са концентраторима за загријавање радног флуида користе само директно Сунчево зрачење и усмјеравају се према Сунцу. За вријеме облачних дана ови колектори не врше фототермалну конверзију Сунчевог зрачења. Концентратори могу бити у виду равних или закривљених рефлектора и могу вршити тачкасто или линијско концентрисање Сунчевог зрачења.

Концентратори примају Сунчево зрачење великом површином и концентришу га на малу површину. Фактор концентрације (С) представља однос између површине отвора концентратора и површине апсорбера који прима концентрисано Сунчево зрачење. За равне колекторе фактор концентрације је 1. Код линеарно-фокусирајућих колектора фактор концентрације се креће до 50, а код тачкасто-фокусирајућих концентратора до 1.000. Колекторе са $C \leq 10$ потребно је повремено, а са $C > 10$ потребно је стално усмјеравати према Сунцу (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.2.1. Винстонов параболични колектор

Винстонов параболични колектор је стационарни колектор чији се апсорбер састоји од више паралелних параболичних рефлектора, у чијим се жижмама налазе апсорпционе цијеве кроз које протиче радни флуид (Сл. 2.5). Први такав колектор направио је 1974. године Роланд Винстон (енгл. *Roland Winston*) у САД, по коме је и добио име.



Сл. 2.5. Шематски приказ Винстоновог параболичног колектора: 1) параболични рефлектор, 2) апсорпциона цијев, 3) стакло, 4) термоизолација (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.5. Schematic representation of Winston's parabolic collector: 1) parabolic reflector, 2) absorption tube, 3) glass, 4) thermal insulation (Павловић и сар. 2013)

Кућиште, термоизолација и покривно стакло код Винстоновог параболичног колектора исти су као и код класичних термалних колектора. Зидови апсорбера Винстоновог колектора направљени су од термоотпорне пластике, која је са унутрашње стране обложена високорефлектујућом алуминијумском фолијом (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.2.2. Цилиндрично-параболични колектор

Цилиндрично-параболични колектор (Сл. 2.6) састоји се од цилиндрично-параболичног рефлектора у чијој се жижи налази вакуумирана стаклена цијев. У унутрашњости стаклене цијеве налази се апсорпциона цијев, кроз коју протиче радни флуид. Апсорпциона цијев је обојена спектрално селективно. Високи коефицијент апсорпције металне цијеве и њен положај у жижи параболичног рефлектора обезбјеђује ефикасну апсорпцију Сунчевог зрачења. Захваљујући ниској емисивности апсорпционе цијеве, топлотни губици ових колектора сведени су на најмању могућу мјеру.



Сл. 2.6. Цилиндрично-параболични колектор (Sopogy 2011)

Fig. 2.6. Cylindrical parabolic collector (Sopogy 2011)

Цилиндрично-параболични колектори постављају се према југу усправно или хоризонтално. Када се поставе усправно, помоћу ротационог носача прате промјену положаја Сунца у смјеру исток–запад. При хоризонталном постављању мијењају нагиб ради праћења промјене висине Сунца у току дана. Помоћу цилиндрично-параболичних колектора могу да се постигну температуре 300–400 °С (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.2.3. Цијевно-вакуумски колектор

Цијевно-вакуумски колектор (Сл. 2.7) спада у групу стационарних фокусирајућих колектора који са ефикасношћу од 40% загријавају воду од 80 до 200 °С. У главни дио цијевно-вакуумског колектора спада вакуумирана стаклена цијев дужине око 1 м, пречника око 5 цм са притиском од 0,0133 Ра, дуж чије осе је постављена метална апсорпциона цијев, кроз коју протиче радни флуид (уље). Апсорбери цијевно-вакуумских колектора могу да се подијеле на апсорбере са рефлектором и апсорбере са директним захватом Сунчевог зрачења. Код цијевно-вакуумских колектора са рефлектором у стакленој цијеви се као рефлектор користи алуминијумска фолија. Изнад рефлектора се налазе двије спектрално селективно обојене апсорпционе цијеви, кроз које протиче радни флуид (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



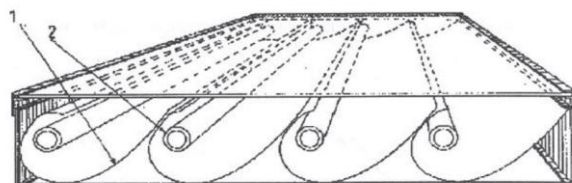
Сл. 2.7. Цијевно-вакуумски колектор (Centrometal 2022)

Fig. 2.7. Vacuum tubes collector (Centrometal 2022)

2.2.2.4. Спирално-фокусирајући колектор

Спирално-фокусирајући колектор (Сл. 2.8) састоји се од кућишта, спиралних рефлектора, апсорпционих цијеви и покривног стакла. Апсорпционе цијеви, кроз које протиче радни флуид, налазе се у линијским жижама спиралних рефлектора. Након рефлексије на спиралним рефлекторима Сунчево зрачење пада на апсорпционе цијеви, загријавајући воду у њима.

Аутори спирално-фокусирајућег колектора су на сајму соларне технике 1973. године у Аустралији добили награду за његово конструкционо рјешење (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



Сл. 2.8. Спирално-фокусирајући колектор: 1) рефлектор, 2) вакуумска цијев (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.8. Spiral focusing collector: 1) reflector, 2) vacuum tube (Павловић и сар. 2013)

2.2.2.5. Трапезоидно-фокусирајући колектор

Апсорбер трапезоидно-фокусирајућег колектора састоји се од серије дугих паралелних трапезоидних елемената, код којих су нагнуте стране трапеза рефлектори, а основа трапеза апсорбер Сунчевог зрачења (Сл. 2.9). Помоћу наведеног колектора врши се захват директног и дифузног Сунчевог зрачења (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



Сл. 2.9. Трапезоидно-фокусирајући колектор (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.9. Trapezoid focusing collector (Павловић и сар. 2013)

2.2.2.6. Соларне пећнице

За спремање јела помоћу Сунчевог зрачења користе се соларне пећнице. У пракси је присутан већи број соларних пећница различитих конструкција и намјена, и то: семицилиндрична соларна пећница, соларна пећница са огледалом, параболична пећница итд.

Семицилиндрична соларна пећница. Семицилиндрична соларна пећница (Сл. 2.10) састоји се од семицилиндричне спољашње кутије од дрвета и унутрашње кутије од алуминијума са термоизолацијом између њих. Кутија семицилиндричне соларне пећнице прекривена је двоструким стаклом са међусобним растојањем од 2,5 цм. За рефлектор је коришћено 8 огледала, од којих су 4 квадратног, а 4 троугаоног облика. Концентрациони фактор огледала је 3,5. Помоћу покретног држача соларна пећ може континуирано да се усмјерава према Сунцу. У унутрашњости пећи се налази држач, помоћу кога се посуда са храном одржава у хоризонталном положају. У овој пећи је у току лjeta у Индији постигнута температура од 350 °С, а у току зиме од 250 °С. Помоћу описане пећи 1 кг кромпира може да се скува за 50 минута (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.10. Семицилиндрична соларна пећница (Pinterest 2021)

Fig. 2.10. Semi-cylindrical type solar cooker (Pinterest 2021)

Соларне пећнице са огледалима. Соларне пећнице са огледалима (Сл. 2.11) састоје се од кутије са двоструким зидом и покретних огледала, која усмјеравају Сунчево зрачење на посуду за спремање јела, а она се налази у кутији покривеној двоструким стаклом (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.11. Соларна пећница са равним огледалима (Gosun 2021)
Fig. 2.11. Solar cooker with plane mirrors (Gosun 2021)

Параболична пећница. Параболична пећница се састоји од параболичног огледала, у чијој се жижи налази црно обојена посуда за спремање јела (Сл. 2.12). Ефикасност параболичне пећнице зависи од атмосферских услова. Са повећањем облачности и вјетра смањује се њена ефикасност. Поред овога, параболичну пећницу треба усмјеравати према Сунцу континуирано (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.12. Параболична соларна пећница са посудом за спремање јела (Eco-Business 2021)
Fig. 2.12. Parabolic solar oven with cooking utensil (Eco-Business 2021)

2.2.3. Високотемпературна конверзија Сунчевог зрачења

За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (400–4.000 °C) користе се соларни системи са концентраторима Сунчевог зрачења, који се морају подешавати према Сунцу. У погледу конструкције високотемпературни концентратори се могу подијелити на: сферне, параболичне, фокусирајуће колекторе са Френеловим сочивима и Френелов концентратор са огледалима. У погледу намјене концентратори се могу подијелити на: хелиостате, соларне пећи и соларне термоелектране. Основне карактеристике неких концентратора Сунчевог зрачења приказане су у Таб. 2.1, а рефлексивне карактеристике материјала који се користе код концентратора Сунчевог зрачења у Таб. 2.2.

Таб. 2.1. Основне карактеристике концентратора Сунчевог зрачења (Павловић и Чабрић 2007)

Table 2.1. Basic characteristics of solar radiation concentrators (Павловић и Чабрић 2007)

Тип концентратора	Приближна вриједност концентрације	Приближна максимална радна температура (°C)
Концентратор са непокретним огледалом и покретним апсорбером	50–150	300–500
Френелово сочиво	100–1.000	300–1.000
Параболични концентратор	500–3.000	500–2.000
Макро концентратор	1.000–3.000	500–2.000

Таб. 2.2. Рефлексија са материјала који се користе за концентраторе Сунчевог зрачења (Павловић и Чабрић 2007)

Table 2.2. Reflection from materials used for solar concentrators (Павловић и Чабрић 2007)

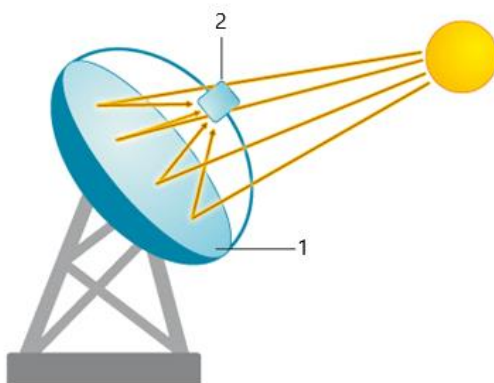
Материјал огледала	Рефлексија (%)
Сребро	94 ± 2
Злато	76 ± 3
Алуминизиран акрил	86
Анодно оксидован алуминијум	82 ± 5
Различите алуминијумске површине	82–92
Бакар	75
Стакло са слојем сребра	88

2.2.3.1. Сферни концентратор

Сферни концентратор се састоји од великог броја малих равних огледала, која су постављена на унутрашњем дијелу полусфере, чији је отвор окренут према Сунцу. Сферни концентратор може бити покретан или непокретан. Уколико је покретан, у његовој жижи се налази апсорберска посуда. Код непокретног сферног концентратора апсорберска посуда се креће пратећи помјерање његове жиже. У зависности од упадног угла Сунчевог зрачења, фактор концентрације сферног концентратора се креће од 50 до 150, а радна температура од 300 до 500 °С (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.3.2. Параболични концентратор

Параболични концентратор је нестационарни фокусирајући колектор у облику параболоида, у чијој се жижи налази апсорбер Сунчевог зрачења (Сл. 2.13).



Сл. 2.13. Параболични концентратор: 1) рефлектор, 2) апсорпциона посуда (Mohasin 2012)

Fig. 2.13. Parabolic concentrator: 1) reflector, 2) absorption dish (Mohasin 2012)

Помоћу параболичног концентратора врши се захват директног Сунчевог зрачења. Фактор концентрације расте са повећањем пречника концентратора, а тиме и температура у његовој елипсоидној жижи. Повећање димензија параболичног концентратора ограничено је издржљивошћу носеће конструкције и механичког система за његово покретање. Фактор концентрације параболичног концентратора креће се од 500 до 3.000, а радна температура од 500 до 2.000 °С (Павловић и Чабрић 2007).

2.2.3.3. Хелиостати

Под хелиостатом (Сл. 2.14) подразумева се систем већег броја огледала која рефлектују Сунчево зрачење у заједничку жижу у којој се налази апсорберска посуда. Код хелиостата се обично користе равна или благо закривљена огледала. Помоћу хелиостата је могуће у њиховој жижи постићи температуру до 3.500 °C. Код савремених хелиостата свако се огледало независно оријентише према Сунцу помоћу компјутерски вођеног носећег система.



Сл. 2.14. Хелиостатско поље са равним огледалима (Helioscsp 2015)
Fig. 2.14. Heliostatic field with flat mirrors (Helioscsp 2015)

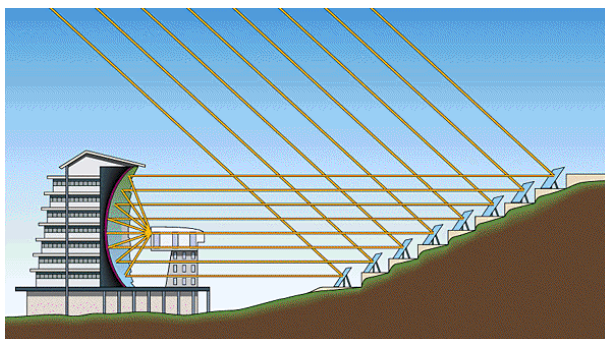
У пракси су присутна четири типа хелиостатских система, односно поља: Боингов (*Boeing*), Ханивелов (*Honeywell*), Мартин Маријета (*Martin Marietta*) и Мекдоналд-Дагласов (*McDonald-Douglas*) тип. Боингово хелиостатско поље састоји се од семицилиндричног алуминизираниог Миларовог рефлектора, који је заштићен помоћу пластичне тедлар фолије. У центру хелиостатског поља на стубу се налази покретни пријемник, на који се фокусира рефлектовано Сунчево зрачење. Ханивелово хелиостатско поље састоји се од четири механички повезана рефлектора на покретном систему са два степена слободе кретања. Мартин Маријета хелиостатско поље састоји се од девет фокусирајућих огледала, која су причвршћена за хелиостатски рам. Мекдоналд-Дагласово хелиостатско поље састоји се од октагоналних огледала, која су заштићена акрилним материјалом. Хелиостати се користе код соларних пећи и соларних термоелектрана (Павловић и Чабрић 2007).

2.2.3.4. Соларна пећ

У зависности од конструкције, разликују се три типа соларних пећи:

- соларна пећ са хелиостатским пољем равних огледала и торњем, на коме се налази апсорпциона посуда,
- соларна пећ са хелиостатским пољем равних огледала, која усмјеравају Сунчево зрачење на велико параболично огледало, у чијој се жижи налази апсорпциона посуда,
- соларна пећ код које се апсорпциона посуда налази у жижи више сферних или параболичних огледала.

Шематски приказ соларне пећи са параболичним огледалом у чијој се жижи налази апсорберска посуда дат је на Сл. 2.15. Код оваквих пећи се помоћу компјутерски вођених равних огледала Сунчево зрачење усмјерава на параболично огледало, у чијој се жижи достижу температуре до 4.000 °С (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



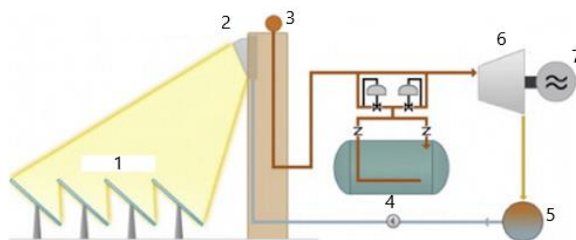
Сл. 2.15. Шематски приказ соларне пећи са параболичним огледалима (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.15. Schematic representation of a solar furnace with parabolic mirrors (Павловић и сар. 2013)

2.2.3.5. Соларне термоелектране

Соларне термоелектране са равним огледалима. Соларне термоелектране се састоје од хелиостатског поља, торња на коме се налази апсорберска посуда и система за претварање механичког рада загријане водене паре у електричну енергију (Сл. 2.16). Хелиостатско поље рефлектује Сунчево зрачење ка апсорберској посуди, у којој се вода претвара у пару. Водена пара под високим притиском експандира у парној турбини, гдје се механички рад

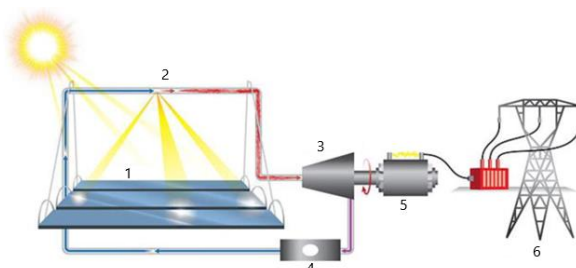
претвара у електричну енергију, која се предаје електродистрибутивној мрежи и потрошачима на коришћење.



Сл. 2.16. Шематски приказ соларне термоелектране: 1) хелиостатско поље, 2) пријемник, 3) водена пара, 4) посуда са воденом паром, 5) кондензатор водене паре, 6) турбина, 7) генератор електричне енергије (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.16. Schematic representation of a solar thermal power plant: 1) heliostatic field, 2) receiver, 3) water vapor, 4) water vapor dish, 5) water vapor condenser, 6) turbine, 7. electricity generator (Павловић и сар. 2013)

Соларне термоелектране са Френеловим огледалима. Ове термоелектране састоје се од равних или благо закривљених Френелових огледала, пријемника концентрисаног Сунчевог зрачења, цилиндрично-параболичних огледала, парне турбине и генератора електричне енергије (Сл. 2.17).



Сл. 2.17. Шематски приказ соларне термоелектране са Френеловим огледалима: 1) Френелова огледала, 2) цијеви са воденом паром, 3) парна турбина, 4) кондензатор водене паре, 5) генератор електричне енергије, 6) електродистрибутивна мрежа (Pavlović et al. 2012a)

Fig. 2.17. Schematic representation of a solar thermal power plant with Fresnel mirrors: 1) Fresnel mirrors, 2) steam pipes, 3) steam turbine, 4) water vapor condenser, 5) electricity generator, 6) electricity distribution network (Pavlović et al. 2012a)

У току дана се Френелова огледала аутоматски усмјеравају према Сунцу и рефлектују Сунчево зрачење ка цилиндрично-параболичном рефлектору, у чијој се жижи налази пријемник у виду дугих цијеви, кроз које протиче вода. Под дејством рефлектованог Сунчевог зрачења вода у пријемним цијевима испарава и под притиском прелази у парну турбину, која покреће генератор електричне енергије (Павловић и сар. 2013).

Соларне термоелектране са параболичним огледалима. Ове термоелектране се састоје од параболичних рефлектора у виду тањира, Стирлинговог мотора, који се налази у жижи тањира, и генератора електричне енергије (Сл. 2.18). У току дана соларни тањира се аутоматски усмјеравају према Сунцу и рефлектују Сунчево зрачење према Стирлинговом мотору. Помоћу параболичних тањира са фактором концентрације Сунчевог зрачења око 2.000, у њиховој жижи се постиже температура од 700 °С и притисци радног флуида (водоник или хелијум) од 200 bar (Павловић и сар. 2013). У Стирлинговом мотору загријани флуид пролази кроз клипове и омогућава ротационо кретање вратила, које покреће генератор електричне енергије, који производи електричну струју (US Department of Energy 2022).



Сл. 2.18. Соларна термоелектрана са Стирлинговим мотором (Reuters Events 2014)

Fig. 2.18. Solar thermal power plant with Stirling engine (Reuters Events 2014)

2.3. Фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења

Под фотонапонском конверзијом Сунчевог зрачења подразумева се претварање енергије Сунчевог зрачења у електричну енергију. Фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења врши се на соларним ћелијама, које се израђују од полупроводничких материјала, једноставне су грађе, немају покретне

дијелове, не загађују животну средину и имају различит вијек трајања у зависности од материјала од кога су израђене.

Развој соларних ћелија започео је 1839. године, када је Бекерел (франц. *Antoine Henri Becquerel*) примијетио да се јачина струје између двије електроде у електролиту повећава приликом освјетљавања електрода. Исти ефекат на чврстом тијелу (селену) први су примијетили Адамс (енгл. *William Grylls Adams*) и Деј (енгл. *R. E. Day*) 1877. године. Захваљујући овоме, убрзо је направљен уређај за мјерење интензитета свјетлости. Одмах затим, истраживачи су се окренули рјешавању проблема коришћења соларних ћелија као комерцијалних извора електричне енергије. Нагли развој соларних ћелија почео је 1954. године, када су Џералд Пирсон (енгл. *Gerald Pearson*), Калвин Фулер (енгл. *Calvin Fuller*) и Дерил Чепен (енгл. *Daryl Chapin*) направили прву соларну ћелију од монокристалног силицијума. Почев од лансирања првог сателита 1958. године, соларне ћелије представљају незамјенљив извор електричне енергије на сателитима, свемирским бродовима и станицама. У земаљским условима, од самог почетка развоја, соларне ћелије нашле су примјену на усамљеним објектима, свјетионицима, аеродромима, истраживачким платформама на мору, стамбеним и индустријским објектима, камповима, јахтама и на другим мјестима (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.3.1. Материјали и технологије за израду соларних ћелија

Данас се у свијету за израду соларних ћелија користе монокристални (с-Si), поликристални (р-Si) и аморфни (а-Si) силицијум, галијум-арсенид (GaAs), кадмијум-телурид (CdTe), Cu_2InSe_2 (CIS соларне ћелије), кадмијум-сулфид (CdS) и други материјали. При овоме се користи р-п спој на основу једног и више полупроводничких материјала од којих се формирају хетерогени спојеви као што је, на примјер, спој $\text{Cu}_2\text{InS}/\text{CdS}$. Поред овога, користи се и комбинација полупроводника р или п типа са металом, такозвана Шотки баријера, као што је на примјер Au/Si. У литератури се могу наћи подаци о особинама неколико десетина различитих лабораторијских соларних ћелија. Међутим, данас се комерцијалне соларне ћелије најчешће производе од монокристалног и поликристалног силицијума, галијум-арсенида, кадмијум-селенида и Cu_2InSe_2 . У посљедње вријеме се чине покушаји да се направе органске и перовските соларне ћелије.

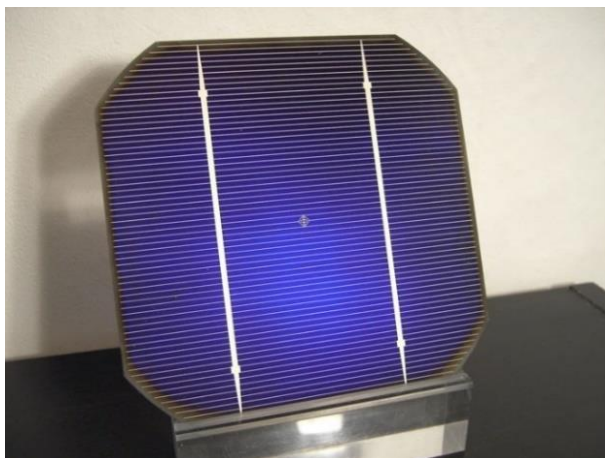
За израду соларних ћелија користе се полупроводнички монокристални, поликристални и танкослојни материјали високе чистоће, који се добијају помоћу савремених технологија.

За допирање полупроводника сап (фосфор) и р донорима користи се дифузија из гасне фазе, дифузија из чврстог стања, епитаксијални раст допирајућег слоја, јонска инплантација итд. (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013; Pavlović et al. 2015; Pavlovic 2019).

2.3.2. Врсте соларних ћелија

2.3.2.1. Соларне ћелије од монокристалног силицијума

Соларне ћелије од монокристалног силицијума (с-Si) израђују се на плочицама од монокристалног силицијума полупроводничке чистоће (Сл. 2.19). За добијање монокристала силицијума користи се метода Чохралског и метода лебдеће зоне.



Сл. 2.19. Соларна ћелија од монокристалног силицијума (Pavlovic 2019)

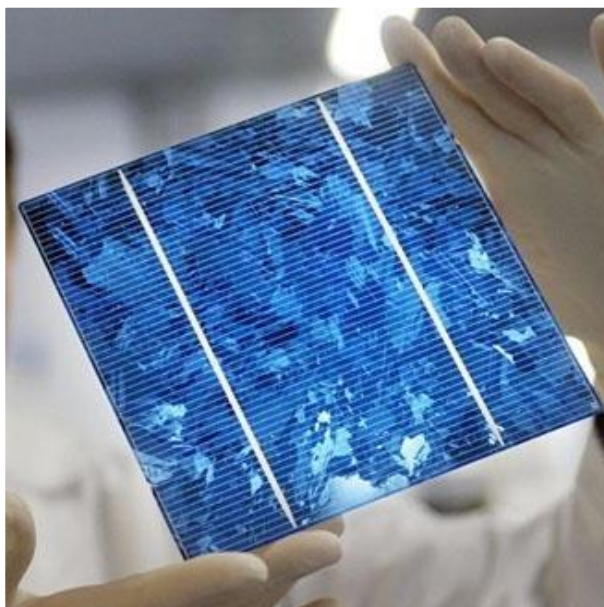
Fig. 2.19. Monocrystalline silicon solar cell (Pavlovic 2019)

Соларне ћелије од монокристалног силицијума осјетљиве су у области таласних дужина 0,4–1,1 μm . Максимум осјетљивости соларних ћелија од монокристалног силицијума налази се на таласним дужинама између 0,8–0,9 μm . Максимум осјетљивости соларних ћелија од монокристалног силицијума не поклапа се са максимумом интензитета терестријалног Сунчевог зрачења. На основу овога може да се закључи да монокристални силицијум није идеалан материјал за формирање соларних ћелија. Дебљина с-Si соларних ћелија је 300–400 μm .

У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских соларних ћелија од монокристалног силицијума износила је 26,7%, а најбољих лабораторијских соларних модула 24,4%. У 2020. години комерцијални соларни модули са с-Si соларним ћелијама имали су ефикасност око 17% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.2. Соларне ћелије од поликристалног силицијума

Соларна ћелија од поликристалног силицијума приказана је на Сл. 2.20. Соларне ћелије од поликристалног силицијума (p-Si) производе се од силицијума полупроводничке чистоће у облику траке, које је могуће добити на више различитих начина: методом раста траке са дефинисаном ивицом, методом дендритног умрежавања, методом хоризонталног, вертикалног и косог извлачења траке, растом силицијума на керамици, методом ротирајућег калупа итд. Дебљина p-Si соларних ћелија је око 1 мм. Соларне ћелије од монокристалног и поликристалног силицијума не могу дуго и правилно да раде на температури од 200 °С. Соларне ћелије од поликристалног силицијума производе се у разним облицима и димензијама.



Сл. 2.20. Соларна ћелија од поликристалног силицијума (Pavlović et al. 2015)
Fig. 2.20. Polycrystalline silicon solar cell (Pavlović et al. 2015)

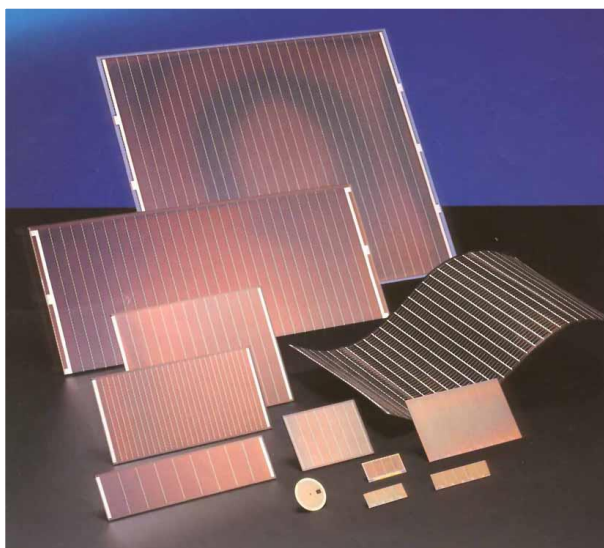
У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских соларних ћелија од поликристалног силицијума износила је 22,3%, а најбољих лабораторијских соларних модула 19,9%. У 2020. години комерцијални соларни модули са р-Si соларним ћелијама имали су ефикасност око 14% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.3. Соларне ћелије од аморфног силицијума

Аморфни силицијум (а-Si) добија се термичким разлагањем силана (SiH_4) у тињавом пражњењу. Соларне ћелије од аморфног силицијума имају дебљину око 1 μm .

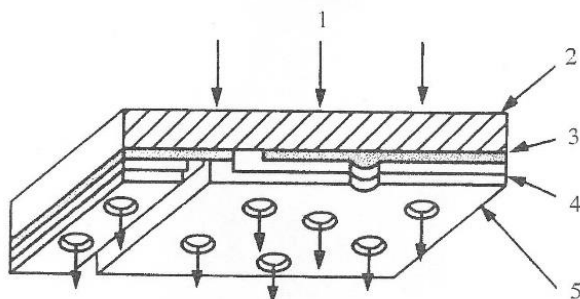
Нетранспарентне а-Si соларне ћелије на стаклу. Нетранспарентне а-Si соларне ћелије на стаклу формирају се капацитивно-радиофреквентним пражњењем силана (SiH_4) са дибораном (B_2H_6) као извором р-донора и фосфином (PH_4) као извором п-донора (Сл. 2.21).

Семитранспарентне а-Si соларне ћелије. У свијету се данас производе семитранспарентне соларне ћелије на стаклу, које пропуштају одређени проценат Сунчевог зрачења и производе електричну енергију (Сл. 2.22).



Сл. 2.21. Соларне ћелије од аморфног силицијума на стаклу и пластичној фолији (Pavlovic 2019)

Fig. 2.21. Amorphous silicon solar cells on glass and plastic foil (Pavlovic 2019)



Сл. 2.22. Семитранспарентне a-Si соларне ћелије: 1) Сунчево зрачење, 2) стакло, 3) транспарентна електрода, 4) a-Si слојеви, 5) метална електрода (Павловић и Чабрић 2007)

Fig. 2.22. Semi-transparent a-Si solar cells: 1) solar radiation, 2) glass, 3) transparent electrode, 4) a-Si layers, 5) metal electrode (Павловић и Чабрић 2007)

Соларне ћелије од аморфног силицијума на пластичној фолији. Прва a-Si соларна ћелија на пластичној фолији формирана је 1987. године. Соларне ћелије од аморфног силицијума на пластичној фолији су флексибилне, лаке и могу без оштећења да се савију у ролну најмањег пречника од 5 цм. Ефикасност комерцијалних a-Si соларних модула на стаклу и пластичној фолији је 5–8% (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013; Pavlović et al. 2015; Pavlović 2019).

2.3.2.4. GaAs соларне ћелије

GaAs соларне ћелије производе се од монокристалног и поликристалног GaAs. Монокристални GaAs се добија од поликристалног GaAs Бриџмановом методом или методом Чохралског. Кристална структура GaAs слична је кристалној структури силицијума. Поликристалне GaAs соларне ћелије формирају се од поликристалног GaAs дебљине 2 μm . Данас се комерцијалне GaAs соларне ћелије формирају на два начина – допирањем GaAs и хетероепитаксијалном депозицијом AlAs или $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ из течне или парне фазе на монокристални GaAs. GaAs танкослојне соларне ћелије су лагане, флексибилне, отпорне на ултраљубичасто зрачење, Сунчево зрачење и влагу, и термостабилне на температурама до 250 °C.

Пошто су GaAs соларне ћелије термостабилне на вишим температурама, често се користе код фотонапонских система са концентраторима Сунчевог зрачења. Галијум је риједак и лако ломљив материјал, док је As токсичан.

Због високе цијене производње, GaAs соларне ћелије су знатно скупље од соларних ћелија од монокристалног и поликристалног силицијума. У 2020. години ефикасност GaAs соларних ћелија са концентраторима Сунчевог зрачења била је 38,9% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.5. CdTe соларне ћелије

CdTe са енергетским процјепом од приближно 1,5 eV, коефицијентом апсорпције приближно 105 cm^{-1} и могућношћу да са дебљином од неколико микрометара апсорбује приближно 90% упадног Сунчевог зрачења, представља скоро идеалан материјал за израду соларних ћелија. Танкослојне CdTe соларне ћелије осјетљиве су на таласне дужине 0,3–0,95 μm . CdTe соларне ћелије су максимално осјетљиве у области таласних дужина 0,7–0,8 μm .

Кадмијум и телур су веома токсични и канцерогени елементи. CdTe кристална структура је стабилна и за неколико редова величине мање токсична од чистог кадмијума. Велика токсичност Cd и Te и њихове ограничене природне резерве доводе у питање перспективе развоја и примјену CdTe соларних ћелија.

У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских CdTe соларних ћелија била је 21%, а најбољих лабораторијских CdTe соларних модула 19%. У 2020. години комерцијални CdTe соларни модули имали су ефикасност око 16% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.6. CIGS соларне ћелије

CIGS танкослојне соларне ћелије добијају се наношењем $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ на стакло или пластичну основу. Ефикасност најбољих лабораторијских CIGS соларних ћелија у 2020. години била је 23,4%, а најбољих лабораторијских CIGS соларних модула 19,2%. У 2020. години комерцијални CIGS соларни модули имали су ефикасност око 10% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.7. CIS соларне ћелије

CIS танкослојне соларне ћелије добијају се наношењем CuInSe_2 на стакло или пластичну основу. CuInSe_2 са коефицијентом апсорпције Сунчевог зрачења $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ на таласним дужинама мањим од 1 μm , и енергетским процјепом 0,95–1,2 eV погодан је материјал за израду соларних ћелија.

CIS соларне ћелије осјетљиве су на Сунчево зрачење у области таласних дужина 0,4–1,3 μm . Максимална осјетљивост CIS соларних ћелија је на таласним дужинама 0,7–0,8 μm . У 2020. години ефикасност комерцијалних CIS соларних модула била је око 7,5–9% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.8. Органске соларне ћелије

Органске соларне ћелије састоје се од органских полупроводника р и п типа. Код оваквих органских соларних ћелија органски полимери се користе као р-полупроводници, а фулерени као п-полупроводници. Органске соларне ћелије су осјетљиве на влагу, под чијим се дејством у њима формирају мјехурићи и шупљине, термостабилне су и деградирају под дејством Сунчевог зрачења. Трајност соларних ћелија од монокристалног силицијума процјењује се на 25 година, а органских соларних ћелија на годину дана. У 2018. години тандем органске соларне ћелије имале су ефикасност 17,3%.

У циљу шире комерцијалне примјене органских соларних ћелија треба да се ријеши проблем њихове ефикасности, стабилности у експлоатационим условима и дужина трајања (Pavlović et al. 2015; Pavlovic 2019).

2.3.2.9. Перовските соларне ћелије

Перовските соларне ћелије састоје се од хибридних органско-неорганских олово или калај халидних материјала као апсорбера Сунчевог зрачења. Материјали за перовските соларне ћелије, као што су металамонијум, олово халиди и сви неоргански цезијум олово халиди су јефтини и једноставни за производњу. Перовските соларне ћелије механички су нестабилне, осјетљиве су на промјену температуре, утицај атмосферелија и ултраљубичастиог зрачења.

У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских перовските соларних ћелија износила је 21,6%, а најбољих лабораторијских перовските соларних модула 16,1% (Pavlović et al. 2021).

2.3.3. Фотонапонски соларни системи

Под фотонапонским соларним системима подразумевају се системи помоћу којих се електрична енергија добијена помоћу соларних ћелија предаје потрошачима у виду једносмјерне или наизмјеничне струје.

У погледу намјене фотонапонски системи се могу подијелити на самосталне системе и системе везане за електродистрибутивну мрежу. У самосталне фотонапонске системе, који се користе за снабдијевање потрошача једносмјерном струјом, спадају системи који се састоје од соларних ћелија (соларних модула), регулатора пуњења акумулатора и акумулатора. У самосталне фотонапонске системе, који се користе за снабдијевање потрошача наизмјеничном струјом, спадају системи који се састоје од соларних ћелија (модула), регулатора пуњења акумулатора, акумулатора и претварача једносмјерног у наизмјенични напон (инвертора). Самостални фотонапонски системи користе се на индивидуалним стамбеним објектима који су удаљени од електродистрибутивне мреже, код метеоролошких станица, свјетионика, ријечних и морских пловила, уличне сигнализације, уличних пуњача мобилних телефона итд.

Фотонапонски системи везани за електродистрибутивну мрежу састоје се од соларних ћелија, претварача једносмјерног у наизмјенични напон и двосмјерног електричног бројила. Помоћу овог бројила се региструје износ електричне енергије из фотонапонског система предат електродистрибутивној мрежи и износ електричне енергије који се узима из електродистрибутивне мреже. Фотонапонски системи везани за градску мрежу користе се за предавање електричне енергије електродистрибутивној мрежи (Pavlović et al. 2015; Павловић и сар. 2018).

2.3.4. Соларне електране

Под соларним електранама подразумевају се фотонапонски системи који се састоје од: соларних модула, претварача једносмјерног у наизмјенични напон, компјутерског система за контролу рада соларне електране, трафо-станице, метеоролошке станице и прикључака за електродистрибутивну мрежу.

У погледу конструкције разликују се три типа соларних електрана: стационарне, једноосно и двоосно ротационе соларне електране. Код стационарних соларних електрана соларни модули су стационарни и окренути према југу. Код једноосно ротационих соларних електрана соларни модули се окрећу према Сунцу око једне осе. Код двоосно ротационих соларних електрана соларни модули се подешавају према Сунцу помјерањем око двије осе. Помоћу ротационих соларних електрана добија се око 20–30% више електричне енергије у односу на стационарне соларне електране (Stevović et al. 2019).

У пракси је примијећено да се ефикасност соларних модула смањује са повећањем њихове запраљаности. Чишћење соларних модула врши се ручно

или аутоматски помоћу одговарајућих система са прскалицама (Pavlović et al. 2015; Павловић и сар. 2018).

У свијету је до сада инсталирано 515 GW р фотонапонских система у виду соларних електрана, на крововима и фасадама постојећих стамбених и других објеката. За коришћење фотонапонских система нису неопходне велике површине обрадивог земљишта. У градским и руралним срединама фотонапонски системи могу да се инсталирају на постојећим стамбеним и другим објектима. Соларни модули као фасадни елементи могу да допринесу естетском изгледу и функционалности постојећих и нових стамбених и других објеката. На наведени начин инсталирани фотонапонски соларни системи представљају диверзификоване изворе електричне енергије, који доприносе енергетској независности земље. Поред овога, фотонапонски системи могу да допринесу обезбјеђивању електричне енергије у случају војне агресије или акциденталног или намјерног рушења великих електроенергетских система у земљи.

У свијету се константно повећава број соларних електрана и интегрисаних фотонапонских система. Такав тренд примјене фотонапонских система слиједи Србија и Република Српска, у којима има довољно Сунца за исплативу производњу електричне енергије помоћу фотонапонских система. У погледу развоја фотонапонске конверзије Сунчевог зрачења перспективе Србије и Републике Српске су јако добре.

2.4. Хибридна конверзија Сунчевог зрачења

2.4.1. Хибридни колектор Сунчевог зрачења

Под хибридном конверзијом Сунчевог зрачења подразумијева се истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију у хибридном колектору. Хибридни колектор се састоји од: кутије, хибридног апсорбера, термоизолације и заштитног стакла (Сл. 2.23). Хибридни апсорбер се састоји од носеће металне конструкције са цијевима за проток воде и соларних ћелија, које се налазе на његовој предњој страни. Хибридни колектори могу да се користе код приватних кућа, стамбених зграда, туристичких објеката, болница, школа, намјенских и других објеката за загријавање санитарне воде и добијање електричне енергије. Загријана вода се термосифонским путем или помоћу циркулационе пумпе одводи до соларног бојлера. Електрична енергија се преко регулатора пуњења акумулатора одводи до акумулатора, а затим се директно или преко DC/AC инвертора предаје потрошачима.



Сл. 2.23. Хибридни колектор Сунчевог зрачења (Pavlović et al. 2021)

Fig. 2.23. Hybrid collector of solar radiation (Pavlović et al. 2021)

Хибридни колектори омогућавају боље искоришћење простора, уштеде приликом израде носеће конструкције и истовремену конверзију Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију у једном уређају (Павловић и Чабрић 2007).

2.5. Пасиван захват Сунчевог зрачења

Под директним (пасивним) захватом Сунчевог зрачења подразумејева се захват који се одвија помоћу датог објекта без додатних уређаја за захват Сунчевог зрачења и његову трансформацију у друге облике енергије. Основни елементи соларне архитектуре су: правилна оријентација објекта, надстрешница, прозори, топлотни застори, боја зидова и намјештаја, Тромбов зид, водени зид, стаклена веранда, подно складиште топлоте итд.

2.5.1. Оријентација објекта

Код директног захвата Сунчевог зрачења објекат треба оријентисати према југу, са могућим одступањем од 20° према истоку и 30° према западу. За наведена одступања објекат ће примити до 10% мање енергије од енергије коју би примио када би био оријентисан строго према југу. Приликом одступања оријентације објекта у односу на југ за 45° долази до умањења пасивног захвата Сунчевог зрачења до 20%.

2.5.2. Надстрешница

Надстрешница треба да буде таквих димензија да у току љета спријечи а у току зиме омогући продор Сунчевог зрачења у објекат за становање. За ту сврху се користе непокретне и покретне надстрешнице. Са покретним може да се постигне оптимални захват Сунчевог зрачења у току цијеле године.

2.5.3. Прозори

У соларној архитектури прозори заузимају 60–90% јужне фасаде објекта за становање. Величина прозора на објекту зависи од врсте и намјене објекта, односно просторија на којима се налазе, величине надстрешнице, масе зидова, топлотних застора итд. Ограничавајући фактор приликом димензионисања прозора представља могуће прегријавање просторија под дејством Сунчевог зрачења. Број стакала на прозорима зависи од климатских услова у којима се налази дати објекат. На примјер, у приморју су довољни једноструки прозори, у континенталним дијеловима двоструки, а у сјеверним дијеловима троструки.

2.5.4. Топлотни застори

Топлотни застори се користе за заштиту од прегријавања и за спречавање топлотних губитака из просторија. Топлотни застори су покретни и могу да се налазе са унутрашње или спољашње стране прозора. Топлотни застори за спречавање прегријавања свјетлије су боје и ефикаснији су уколико се налазе са спољашње стране прозора. Топлотни застори за спречавање топлотних губитака обично се налазе са унутрашње стране прозора.

2.5.5. Боје зидова и намјештаја

На захват Сунчевог зрачења утиче боја зидова. Зидови тамнијих боја више апсорбују Сунчево зрачење од зидова свјетлијих боја. У соларној архитектури прихватљиви су обојени зидови са коефицијентом апсорпције 0,5–0,8. Поред зидова, Сунчево зрачење пада и на намјештај у просторијама. При директном упаду Сунчевог зрачења намјештај се више загријава од зидова зато што за исту површину има мању масу, тако да доприноси повећању температуре у просторијама. У пракси се показало да је са становишта соларне архитектуре дозвољено да намјештај апсорбује 20–30% упадног Сунчевог зрачења.

2.5.6. Тромбов зид

У мјесту Одеју у Пиринејима (Француска) Феликс Тромб (франц. *Félix Trombe*) 1965. године саградио је кућу са тамним зидом на јужној страни, који је по њему добио назив Тромбов зид. Помоћу овог зида Тромб је демонстрирао могућност ефикасне пасивне топлотне конверзије Сунчевог зрачења. Зид је истовремено служио као апсорбер, као складиште топлоте и као гријно тијело за загријавање унутрашњих просторија. Тромбов зид се обично израђује од цигле или бетона дебљине 20–40 цм. На растојању 2–10 цм испред зида налази се стакло. У пракси се користе двије конструкционе варијанте Тромбовог зида – без отвора и са отворима према унутрашњим просторијама при основи и врху зида.

2.5.7. Стаклена веранда

Коришћење стаклене веранде као саставног дијела стамбеног објекта познато је од давнина. Стаклена веранда као незаобилазан дио соларне архитектуре поставља се на јужну страну стамбеног објекта. Помоћу стаклене веранде се врши захват директног и дифузног Сунчевог зрачења.

2.5.8. Подно складиште топлоте

Као подно складиште топлоте најчешће се користи ријечни шљунак, који се депонује испод пода куће. Топао ваздух се из стаклене веранде помоћу вентилатора преноси до шљунка испод пода просторије. Топао шљунак зрачењем загријава просторију, док хладан ваздух из шљунка у току ноћи одлази у стаклену веранду (Павловић и Чабрић 2007).

2.6. Утицај соларне енергетике на климатске промјене

2.6.1. Утицај фототермалне конверзије Сунчевог зрачења на климатске промјене

У нискотемпературној конверзији Сунчевог зрачења за израду равних колектора са водом и ваздухом користе се алуминијум, бакар, стакло, гума, полиуретан итд. и технологије које не загађују животну средину. У току

експлоатације равни колектори са водом и ваздухом не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

У средњетемпературној конверзији Сунчевог зрачења користи се: Винстонов параболични, цилиндрично-параболични, цијевно-вакуумски, трапезоидно-фокусирајући и спирално-фокусирајући колектор, те соларне пећнице, за чију израду се користе гвожђе, алуминијум, стакло итд. Наведени колектори Сунчевог зрачења у току експлоатације не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се сферни и параболични концентратори Сунчевог зрачења, хелиостати, соларне пећи и соларне термоелектране. Концентратори за високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења израђују се од материјала који не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

Послије употребе од 20 до 30 година системи за фототермалну конверзију Сунчевог зрачења се рециклирају технологијама које немају негативан утицај на животну средину и климатске промјене.

2.6.2. Утицај фотонапонске конверзије Сунчевог зрачења на климатске промјене

Данас се у свијету код фотонапонских система углавном користе соларне ћелије од монокристалног и поликристалног силицијума добијене технологијама које не загађују животну средину. GaAs и CdTe соларне ћелије се у мањој мјери користе због њиховог могућег токсичног дејства на животну средину. У посљедње вријеме у свијету се улажу велики напори да се пронађу ефикасне, дуготрајне и еколошки прихватљиве органске и перовските соларне ћелије.

Соларне ћелије немају покретне дијелове, бешумно производе електричну енергију и не емитују штетне материје у околину. Послије истека радног вијека од 25 до 30 година, соларне ћелије се рециклирају технологијама које немају негативан утицај на животну средину.

Код самосталних фотонапонских система најосјетљивији дио представљају акумулатори, који се послје истека радног вијека искључују из рада и рециклирају. Оловни, NiCd и слични акумулатори у себи садрже токсичне материје које у току њиховог рада и рециклирања могу да имају негативан утицај на животну средину. У посљедње вријеме се код фотонапонских система све више користе Li-јонски акумулатори, који имају дужи радни вијек и мање неповољан утицај на животну средину.

2.6.3. Утицај хибридне конверзије Сунчевог зрачења на климатске промјене

За израду хибридних колектора Сунчевог зрачења користи се: бакар, алуминијум, стакло, гума, полиуретан и соларне ћелије од различитих материјала. Наведени материјали и технологије за производњу соларних ћелија нису штетни за околину и немају негативан утицај на климатске промјене. Хибридни колектор је стационарни фотоконверзиони систем који у току експлоатације не емитује штетне материје у околину и нема негативан утицај на климатске промјене.

2.6.4. Утицај пасивног захвата Сунчевог зрачења на климатске промјене

За израду стамбених и других објеката за пасиван захват Сунчевог зрачења помоћу надстрешница, прозора, топлотних застора, боје зидова и намјештаја, Тромбовог зида, фазно промјенљивог и подног складишта топлоте и стаклене веранде користе се материјали који не загађују животну средину (камен, цигла, бетон, гвожђе, алуминијум, стакло итд.). Наведени материјали и системи немају штетно дејство на околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

2.7. Закључак

На основу изнијетог може да се закључи да се данас у свијету све више користе фотоконверзиони системи за загријавање воде и добијање електричне енергије. За загријавање воде и ваздуха до 100 °C користе се равни колектори Сунчевог зрачења. За загријавање радног флуида (уља) од 100 до 400 °C користе се средњетемпературни колектори са концентраторима Сунчевог зрачења. За загријавање апсорпционе посуде од 400 до 4.000 °C користе се високотемпературни концентратори Сунчевог зрачења. Фотоконверзиони системи израђују се од материјала који у току експлоатације и рециклаже не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

За израду соларних ћелија користе се монокристални (c-Si, GaAs), поликристални (p-Si, GaAs) и танкослојни полупроводнички материјали (CdTe, CIS, CIGS, органске, перовските). Од наведених материјала токсични су As и Cd. Соларне ћелије се производе и рециклирају помоћу савремених технологија које не загађују околину.

Фотонапонски системи састоје се од соларних ћелија, регулатора пуњења акумулатора, акумулатора, претварача једносмјерног у наизмјенични напон, контролног компјутерског система, метеоролошке станице итд. Од наведених компонената, акумулатори у себи имају хемијске елементе који би у акциденталним ситуацијама могли да имају штетно дејство на околину.

За истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори, који се израђују од материјала који се користе за израду равних колектора и соларних ћелија.

За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се класични грађевински материјали (камен, цигла, бетон, цријеп, стакло, гвожђе итд.) који не загађују животну средину.

У савременој соларној енергетици користе се материјали и системи који не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

Литература

- Gosun (2021) Box Solar Oven: Advantages and Disadvantages. Доступно на: <https://gosun.co/blogs/news/box-solar-oven-advantages-and-disadvantages>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Eco-Business (2021) First Solar Bread Oven Takes a Bow. Доступно на: <https://www.eco-business.com/news/first-solar-bread-oven-takes-bow/>, Приступљено: 15. октобар 2021
- Mirjanić DLj, Pavlović TM, Radonjić Mitić I, Piršl DS, Sazhko G, Marić Stanković A (2019) Renewable Energy Sources in Society. Proceedings of International Conference „APPROACHING 20?? YEAR“, May 16 – 18 2019, Podgorica, Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Book of Proceedings, Volume 153, pp 183–189
- Mirjanić DLj, Pavlović TM, Radonjić IS, Pantić LS, Marić AV, Sazhko GI (2020) Solar Radiation Atlas in Trebinje in the Republic of Srpska”, Proceedings of International Scientific Conference UNITECH 2020, November 20 – 21, 2020, Gabrovo, Technical University of Gabrovo, Book of Proceedings, pp I-33–I-38
- Mirjanić DLj, Pavlović TM, Radonjić IS, Pantić LS, Sazhko GI (2021) Solar Radiation Atlas in Banja Luka in the Republic of Srpska. Contemporary Materials 12(1):39–49. doi.10.7251/COMEN2101039M
- Mohasin (2012) Parabolic Dish System. Доступно на: <https://shaikmohasin.wordpress.com/2012/08/25/parabolic-dish->, Приступљено: 15. октобар 2021
- Pavlovic T (ed) (2019) The Sun and Photovoltaic Technologies. Springer, Cham, pp 416
- Павловић ТМ, Чабрић БД (2007) Физика и техника соларне енергетике. Грађевинска књига, Београд, стр 342

- Павловић Т (2008) Савремена достигнућа у савременој енергетици. Доступно на: <https://slideplayer.gr/slide/13988769/>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L (2012a) A Review of Concentrating Solarpower Plants in the World and Their Potential Use in Serbia. *Renewable and SustainableEnergy Reviews* 16(6):3891–3902. doi.10.1016/j.rser.2012.03.042
- Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L, Piršl D (2012b) Assessment and Potential Use of Concentrating Solar Power Plants in Serbia and Republic of Srpska. *Thermal Science* 16(3):931–945. doi.10.2298/TSCI111027100P
- Павловић ТМ, Милосављевић ДД, Мирјанић ДЉ (2013) Обновљиви извори енергије. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 364
- Pavlović TM, Tripanagnostopoulos Y, Mirjanić DLj, Milosavljević DD (2015) Solar Energy in Serbia, Greece and the Republic of Srpska. *Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka*, pp 694
- Павловић ТМ, Мирјанић ДЉ, Милосављевић ДД (2018) Електроенергетика у Србији и Републици Српској. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 527
- Pavlović TM, Mirjanić DLj, Radonjić IS, Divnić D, Sazhko GI (2021) Renewable Energy and Climate Change in Serbia and the Republic of Srpska. *Contemporary Materials* 12(2):151–165. doi.10.7251/COMEN2102151P
- Pantić LS, Pavlović TM, Milosavljević DD, Radonjić IS, Radović MK, Sazhko G (2016) The Assessment of Different Models to Predict Solar Module Temperature, Output Power and Efficiency for Nis, Serbia. *Energy* 109(2016):38–48. doi.10.1016/j.energy.2016.04.090
- Pinterest (2021) Using the Sun. Доступно на: <https://www.pinterest.com/pin/143341200612023954/?autologin=true>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Radonjić IS, Pavlović TM, Mirjanić DLj, Radović MK, Milosavljević DD, Pantić LS (2017) Investigation of the Impact of Atmospheric Pollutants on Solar Module Energy Efficiency. *Thermal Science* 21(5):2021–2030. doi.10.2298/TSCI160408176R
- Radonjić IS, Pavlović TM, Mirjanić DLj, Radović MK, Sazhko G (2018) Soiling Influence on the Short-Circuit Current of Solar Module Mounted at the Optimal Angle. *Proceedings of International Scientific Conference „UNITECH 2018“, November 16 – 17, 2018, Gabrovo, Technical University of Gabrovo, Book of Proceedings, Volume I*, pp I-28–I-31
- Radonjić I, Pavlović T, Mirjanić D, Pantić L (2021) Investigation of Fly Ash Soiling Effects on Solar Modules Performances. *Solar Energy* 220(2021):144–151. doi.10.1016/j.solener.2021.03.046
- Reuters Events (2014) Dish Stirling for Dubai? Доступно на: <https://www.reutersevents.com/renewables/csp-today/markets/dish-stirling-dubai>, Приступљено: 18. октобар 2021
- Solarni sistemi (2021) Secutherm – termosifonski sistem. Доступно на: http://solarni-sistemi-wagner.si/soncna_energija/solarno_ogrevanje_

- in_topla_voda/solarni_paketi/paketi_za_toplo_vodo/secutherm_termosifonski_sistem/page-all/, Приступљено: 20. децембар 2021
- Sopogy (2011) Sopogy Launches Next Generation of Concentrating Solar Thermal Collector. Доступно на: <https://www.sopogy.org/blog/tag/concentrated-solar-power/>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Stevović I, Mirjanić D, Stevović S (2019) Possibilities for Wider Investment in Solar Energy Implementation. Energy 180:495–510. doi.10.1016/j.energy.2019.04.194
- US Department of Energy (2022) Dish/Engine System Concentrating Solar-Thermal Power Basics. Доступно на: <https://www.energy.gov/eere/solar/dishengine-system-concentrating-solar-thermal-power-basics>, Приступљено: 12. април 2022
- Helioscsp (2015) Concentrated Solar Power SolarReserve Receives Edison Award for Innovation in Energy & Sustainability. Доступно на: <https://helioscsp.com/concentrated-solar-power-solarreserve-receives-edison-award-for-innovation-in-energy-sustainability/>, Приступљено: 15. октобар 2021
- Centrometal (2022) CVSKC-10 (vacuum tube solar collector). Доступно на: https://www.centrometal.hr/en/portfolio/cvskc-10-vacuum-tube-solar-collector_en/, Приступљено: 12. април 2022

Solar Energy and Climate Change

Dragoljub Mirjanić, Tomislav Pavlović, Ivana Radonjić, Galina Sazhko

Summary

Modern solar energy is based on photothermal, photovoltaic and hybrid solar radiation conversion and passive capture of solar radiation. Photothermal conversion of solar radiation takes place in low-temperature, medium-temperature, and high-temperature photoconversion systems. Flat collectors with water and air are used for low-temperature conversion of solar radiation. Solar concentrators are used for medium-temperature conversion of solar radiation. Concentrators with heliostatic fields and parabolic reflectors of solar radiation are used for high-temperature conversion of solar radiation. Solar cells made of different materials are utilized for the photovoltaic conversion of solar radiation. Stand-alone and photovoltaic systems connected to the electricity distribution network are used to supply consumers with electricity. Fixed tilt, single or dual-axis tracking solar power plants are designed with the aim to generate a larger amount of electricity. Hybrid solar collectors are used for the simultaneous conversion of solar radiation into heat and electricity. For passive capture of solar radiation, individual residential and other buildings are used, which are built in accordance with the principles of solar architecture. Solar energy uses mainly environment-friendly materials, except toxic As and Cd in GaAs and CdTe solar cells. Devices used in solar energy do not emit harmful substances and do not have an adversary impact on climate change.

Keywords: Solar energy, climate change, photothermal, photovoltaic, hybrid and passive solar radiation conversion

Милутин Миланковић – животно путовање и трагање за промјеном климе у прошлости

Милован Пецељ, Милица Пецељ, Светозар Кољевић

Сажетак: Ријетки су научници који су имали прилику да се, за живота, радују својим научним достигнућима. Генијални закон Милутина Миланковића – Канон осунчавања – чекао је готово пола вијека да његову научну вјеродостојност потврди и прихвати научна заједница. Милутин Миланковић успио је да осмисли и математичким језиком исказе општу теорију климе планета, као и посебну теорију о утицају особина Земљиног кретања на њено осунчавање и климу. Као угледан бечки инжењер који се прославио новим методама у градитељству, одбио је позив Универзитета у Бечу и Загребу и прихватио позив Београдског универзитета за десет пута мању плату, јер му у то вријеме Београдски универзитет није могао више дати. Знаменити Канон Миланковић је радио у малој канцеларији на Универзитету у Београду помоћу шибера, оловке и папира. Канон је пуким случајем остао неоштећен у рушевинама насталим приликом бомбардовања Београда 1941. године.

Тешко је наћи неку непознаницу о Миланковићевом животу и раду. У раду је описано неколико мање познатих секвенци из његовог живота, широко

Цитирање: Пецељ М, Пецељ М, Кољевић С (2023) Милутин Миланковић – животно путовање и трагање за промјеном климе у прошлости. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:79–130

Cite as: Pecelj M, Pecelj M, Koljević S (2023) Milutin Milanković – Life Journey and Search for Climate Change in the Past. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:79–130

образовање, господство, скромност и патриотизам, те ауторови сусрети са угледним професорима Хедом III и Бержером, који су дали значајан допринос да Миланковићева теорија постане планетарни закон, који ће га сврстати у ред великана какви су Тесла и Пупин.

Кључне ријечи: Милутин Миланковић, Тонка, Канон осунчавања, ледена доба, календар, Даљ, Беч, Београд, Београдски универзитет

3.1. Увод

Од научног открића па до његовог академског признања пут је дуг, неизвјестан и трновит. Ријетки су научници попут Милутина Миланковића који су имали прилику да се за живота радују својим научним достигнућима. Генијални закон Миланковића – *Канон осунчавања*, чекао је готово пола вијека да се његова епохална научна вјеродостојност потврди и прихвати од планетарне научне заједнице. Након трећег читања Миланковићеве трилогије *Кроз васиону и векове, Сећања и Кроз царство науке* коментарисали смо са пјесником Рајком Петровим Ногом да је у питању изврсна романирана трилогија која популарише науку и чита се као најпопуларнији роман, на шта је пјесник одговорио: Знам! То ми је причао и Светозар Кољевић.¹

Миланковић је одвећ храбро кренуо у неизвјесност из маленог Даља, са обала Дунава, на студије у Бечу, гдје је самопрегорним радом и уз урођену бистру памет стекао највише академско звање доктора наука. У Бечу се школовао да би служио Аустрији, али га је, као припадник српског народа, напустио и дошао у Београд на приједлог угледних професора Јована Цвијића и Михајла Петровића Аласа. Његову животну и научничку стазу обиљежило је епохално научно откриће које ће га сврстати у великане свјетске науке. Био је заокупљен великим темама, које су га, као младог човјека и трагаоца за новим, често тешко докучивим сазнањима, одвела у далеке звјездане просторе.

Одбио је позив Бечког универзитета и Загребачког свеучилишта и дошао на Београдски универзитет за десет пута мању плату, што је био резултат његовог изграђеног патриотског осјећаја према Србији. Дошао је међу свој народ, који му није могао више дати. Миланковић је живио у четири државе: Аустроугарској, Краљевини Србији, Краљевини Југославији и ФНР Југославији.

¹ Светозар Кољевић (1930–2016) – српски књижевник, историчар књижевности, преводилац, члан Српске академије наука и уметности и Академије наука и умјетности Републике Српске. Стручњак у области историје енглеске књижевности. Био је професор на Филозофском факултету у Сарајеву и Новом Саду. Предавао је и на Филозофском факултету у Источном Сарајеву и Никшићу.

Највећа научна достигнућа постигао је у Краљевини Југославији, и то у једној малој канцеларији Београдског универзитета, помоћу шибера, гумице и оловке. И када је као пензионер у ФНР Југославији требало да ужива у поштовању за своја научна достигнућа, доживио је непријатности будући да се сумњало у његову марксистичку определијељеност.. Човјек који је одрастао на традицијама косовског циклуса није био по вољи нових власти?!

3.1.1. Свједок епохе

Миланковић је свједок бурних збивања на свјетској позорници која су се динамички смјењивала до пред крај његовог живота. Доживио је њемачку континенталну хегемонију гвозденог канцелара Ота фон Бизмарка, па продор Аустроугарске на централни Балкан, затим велики процват Британске империје под вођством краљице Викторије, те руску револуцију, балканске ратове и слом турске империје. Свједок је катастрофе њемачког и аустроугарског царства 1914. године (Пецељ 2010). И, на крају, свједок је експанзије и краха нацизма 1945. године.

Милутин Миланковић је поживио 79 година, тако да његова животна искуства не заостају нимало за онима који су као Гете бурно поживјели и дужи вијек (89 година). Гете је напомињао Екерману како је велико преимућство бити свједок таквих драматичних догађаја. Могу ли се наши потомци похвалити таквим доживљајима уколико се догоде и згусну у једном људском животном вијеку. Вјероватно је због тога Достојевски тадашњу Европу на крају XIX вијека називао пропалом, а филозоф Шпенглер, такође, старој дами наслућује скоро изумирање. „Међутим, Европа није пропала, а није ни одумрла. Велики писац и интригантан филозоф само су метафорички опомињали на стање духа на Старом континенту” (Пецељ 2010). Дучић је тим поводом запазио: „Нико се тако крупно не вара као философи” (Дучић 2008).

Милутин Миланковић је тад био гимназиста у Осеку (данашњи Осијек), студент и докторанд у Бечу и живио је у срцу те Европе. Била је то културна Европа у којој су се школовали наши младићи, учили стране језике, али мислили српски и враћали се у своју земљу, да би се одужили своје народу. Тада су малом Србијом крупним корацима корачала велика имена. Један од тих младића био је и јунак ове наше научне предилекције – Милутин (Милана) Миланковић.

3.2. Миланковић у Даљу

Како Милутин Миланковић наводи, „првих тридесет година свога живота провео сам у бившој Хабзбуршкој монархији, а одрастао у старој српској породици која је овамо доселила за време Чарнојевићеве сеобе“ (Миланковић 2008б). Миланковић је пажљиво слушао о коријенима и на најбоље могући начин искористио успомене предака, како би описао живот славонских и војвођанских Срба све до њиховог ослобођења, како он вели – „које сам имао срећу да доживим“. Карловачким миром (1699) завршен је рат између Аустрије и Турске, а исељени Срби остали су у Хабзбуршкој монархији. Миланковићеви преци су се доселили у Даљ после велике сеобе Срба (1689–1690) под патријархом Арсенијем Чарнојевићем. Патријарх Чарнојевић је убрзо извршио „реорганизацију православне цркве у Угарској, Хрватској и Славонији“ као саставног дијела Пећке патријаршије (Миланковић 2008б). За вјерност аустријском цару Срби добише 1706. године привилегије, а исте године додијелише „српском архијепископу Чарнојевићу државно добро: села Даља, Борова и Белог Брда у власништво“ (Миланковић 2008б). На мјесту Даља било је старо римско насеље Теутибурго.

Родоначелник и патрон породице је Миланко, по коме су добили презиме Миланковић. Као педантни радозналац Милутин Миланковић сачинио је генеалогичку своје породице: „У Даљ је доселио прадеда мога прадеде, Миланко, вероватно почетком XVIII века.“ Уважио је сродничке односе који проистичу из сродства и сложио породични родослов, утврдивши тако родбинске односе. За родоначелника фамилије Миланка говорило се да је био познати трговац коњима и стоком. Миланко се једне зимске ноћи утопио у рукавцу Драве. Враћајући се кући јахао је преко замрзнуте ријеке – „а лед се под њим провалио“ (Миланковић 2008б).

Милутин Миланковић је Миланов син и унук Антонија, праунук Тодоров, чукунунук Марков, наврдеда му је био Нићифор, па све до родоначелника породице Миланка, чији су потомци од доласка живјели у Даљу пуна два и по вијека. Занимљиво је истаћи да је већ у трећем кољену, после родоначелника Миланка, Милутинов прадјед Тодор Миланковић био учен човјек који је завршио правне науке и био угледна личност у Славонији. И сам образован, Тодор је наставио школовати своје потомке, што је код Миланковића постало правило и са наредним генерацијама.

Миланковићи су били угледна трговачка породица која је припадала грађанском слоју. Од Милутиновог прадједа Тодора, Миланковићи су се редом портретисали, што показује њихов статусни положај у друштву. Прадједа Тодора, Милутин је представљао као отмјеног грађанина бидермајеровог

доба, што је у првој половини XIX вијека у њемачком говорном подручју представљало умјетнички правац и стил живота који је нарочито опонашао слој грађанског друштва. Од тада су Миланковићи полагали на образовање потомства и дали су више факултетски образованих потомака. Занимљиво је поменути Тодоровог сина Димитрија, кога је Милутин звао одмиља деда Мита (1817). Он је завршио Терезијанску војну школу, да би искористио прилику и прешао из Аустроугарске у Србију, гдје је одмах ступио у српску војску, у којој је стекао високи војни чин пуковника. Дјед Мита је био важан у Милутиновом одрастању. Боравак код дједа Мите у Београду био је пресудан да Милутин упозна познатог математичара и тадашњег ректора Београдског универзитета проф. др Богдана Гавриловића, који ће тада упознати и запазити млађаног матуранта, не слутећи да ће ускоро бити колеге на Београдском универзитету. Ова секвенца из живота Милутина Миланковића заслужује пажњу и о њој ће још бити ријечи.

Миланковићев отац Милан био је предузимљив човјек који се успјешно бавио трговином мјешовитом робом, али је развио пољопривредну производњу и виноградарство. Имање му је имало 58 хектара и представљало је за оно доба велики посјед. Дворишна башта им је излазила на Дунав, којим је Милутин био опчињен и са његових обала је у својим вечерњим сновиђењима посматрао звјездане стазе (Сл. 3.1, Сл. 3.2). Тако је одмалена ушао у звјездану авантуру, из које није изашао све до краја живота.



Сл. 3.1. Миланковићева родна кућа у Даљу, преуређена у културни и научни центар (Wikipedia 2010)

Fig. 3.1. Milanković's birth house in Dalj converted into a cultural and scientific center (Wikipedia 2010)



Сл. 3.2. Поглед на Дунав из дворишта Миланковићеве родне куће у Даљу
(Фото Пецељ ММ 2017)

*Fig. 3.2. View of the Danube river from the yard of Milanković's birth house in Dalj
(Photo Pecelj MM 2017)*

Милутинов отац умро је млад, када је он имао непуних осам година, тако да је веза са угледном српском породицом Муачевића из Осека (данашњи Осијек) из које му потиче мајка Јелисавета, била важна у његовом одрастању. Миланковић је имао четири брата и двије сестре: Љубишу, Владана, Војислава и Богдана, Милену, своју близнакињу, и Видосаву. Браћа Љубиша, Владан и Војислав рано су умрли од туберкулозе, а најмлађи брат Богдан и сестра Милена су га надживјели. Управљање имањем и радњом, после очеве смрти преузео је, како Миланковић каже, „породични тријумвират“, његова бака по оцу Антица, мајка Јелисавета и ујак Василије Васа (Миланковић 2008б). Нарочиту улогу у животу Милутина имао је ујак Василије Муачевић, или како га је звао, ујка Васа. Милутин је, у знак пажње према ујаку, свом сину дао име Василије.

3.3. Школа и школовање

За вријеме владавине напредњака са познатим историчарем Стојаном Новаковићем на челу (1895–1896) у Србији је уведена пракса позивања матуранта на саборовање у Београд. На академско дружење позивани су матуранти из Србије, али и српски матуранти из Аустроугарске. На сабор матураната у Београд тада је пристигао физички слабашни матурант из Даља Милутин Миланковић са свега 53 килограма и био је, како он запажа, најмршавији и најлакши од свих. Циљ је био да се матуранти саберу и да им се покажу знаменитости из историје и културе у Србији. Матуранте су упознали са знаменитим споменицима у Београду, а потом и по Србији, међу којима је Миланковић издвојио колијевку Другог српског устанка, затим Манастир Жичу, Цркву Лазарицу, Таковски грм, Љубић, Крагујевац, Чачак, Милановац... (Миланковић 20086).

За вријеме боравка у Београду Милутин је становао код дједа Мите, који је имао стан у Мишарској улици, у близини познатог професора правних наука Стојана Марковића, са којим га је везивало дугогодишње пријатељство, које је крунисано кумством. Професор Марковић је поштовао кумство и често је са дједом Митом долазио у Даљ. Иначе, ћерка професора Марковића била је удата за математичара проф. др Богдана Гавриловића, тадашњег ректора Београдског универзитета. Долазак на послужење код Стојана Марковића важан је тренутак у даљем развоју Миланковића као личности, а на крају биће вјероватно пресудно за његов долазак на Београдски универзитет. На једну од гозби код професора Марковића позван је и његов кум, дјед Мита, који је пристигао са својим унуком Милутином. Била је то добра прилика да Милутин упозна професора Гавриловића, угледног математичара на Београдском универзитету. На тој гозби позван је као гост и Љубомир Клериф, исто тако угледни професор математике на Београдском универзитету и државни савјетник, па му је, према томе, сљедовало мјесто у прочељу софре. Професор Гавриловић је Милутина представио ласкавим ријечима, врло милостиво, распитујући се о даљим намјерама младог матуранта из Даља.

Мислећи да ће као Србин из Хабзбуршке монархије који је његовао национална осјећања одушевити друштво, Миланковић је испричао једну епизоду о свом боравку у Београду, не надајући се да ће она изазвати непријатан дијалог. Заправо, Миланковић се најприје похвалио како је био на Калемегдану и тамо се са пијететом поклониио пред спомеником Ђури Јакшићу, који је тада подигнут у част великог пјесника и сликара. На то је неочекивано реаговао професор Клериф, протестујући врло непријатно: „Жалосна времена да се таквим људима подижу споменици!“ Професор Клериф је то овако образложио: „Знам тога Ђуру бекрију, пијаницу, пропалицу!“ (Миланковић 20086). Млађани

матурант Милутин Миланковић одмах му је за пуном трпезом снажно противурјечио и неочекивано показао младалачку дрскост. Понесен жаром младости, Миланковић је „очитао лекцију“ професору Клерићу, што је изазвало тајац за столом. Умијешао се и дјед Мита у његову корист, тобож правдајући га да је у питању младалачки ентузијазам. Темпераментан „испад“ младог Милутина Миланковића изазвао је симпатије и код професора Гавриловића, који ће од тада будно пратити Миланковићево научно стасавање, не надајући се у први мах да ће само послјије тринаест година позвати тог младића на Београдски универзитет. Миланковић је волио „своју науку и своју лулу, а уживао је у поезији, музици и природи“ (Миланковић 2008а). Пред таквим човјеком не смије се омаловажавати највећи лиричар српског романтизма, изузетне имагинације, бунтовник и слободарски писац, али писац дубоког бола, приповједач, патриота и један од најдаровитијих сликара свог доба.

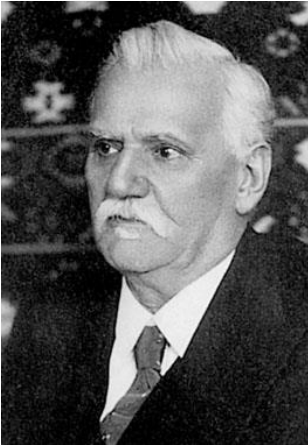
3.3.1 Академско дружење у Београду

Као физички слабашан дјечак Миланковић није ишао редовно у основну школу. Учили су га гувернанта и приватни учитељи. Приватно је полагао и завршио основну школу полагајући све испите у једном року. У Црквено-школској Осјечкој школи положио је испите из сва четири разреда. Први пут је пошао у јавну школу 1889. године у Осек (Миланковић 2008б). Ујак Ваца му је о Божићу купио књигу познатог загребачког професора Отона Кучере *Цртице о магнетизму и електрицитету* која га је неочекивано опсјенила и увела у један нови свијет који му је до тада био сасвим непознат. Био је то свијет проналазача. Мотив проналазача Миланковић је развијао упознавши се са „херојским делима пионира технике: Франклина, Галванија, Волте, Девија, Сименса, Јаблочкова“ (Миланковић 2008б). Није то више био свијет маште, него су то биле стварне чињенице које су га увеле у авантуру из које није изашао до краја живота. Био је то свијет науке. Миланковић је био изврстан теоретичар – „једини алат којим сам се служио био је ћуп моје учености, моја глава“ (Миланковић 2008б).

Миланковића је васпитавала гувернанта, па је тако научио да свира тамбуру, што је за пјесме у Славонији био престижни инструмент. Касније је са сестром учио и клавир. У одрастању Миланковића битан је и ауторитет дједа Тодора, који је био свршени правник. Он је држао до школовања потомства, тако да су Миланковићи по образовању припадали друштву интелектуалаца. Живио је у доба бидермајера, гдје се држало до стила у култури, музици, облачењу и уопште о моди. Од тада су се Миланковићи портретисали.

3.3.2. Бечки дани

Приликом избора студија, на Милутина Миланковића је нарочито утицао његов професор математике и физике у Осеку Владимир Варићак (Сл. 3.3).² Интересовање за математику, Миланковић је истицао у свакој прилици, не заборављајући да истакне име свог професора Варићака.



Сл. 3.3. Владимир Варићак (МиЅ
Matematika i škola, časopis za
nastavu matematike 2009)

*Fig. 3.3. Vladimir Varićak (MiŠ
Matematika i škola, časopis za
nastavu matematike 2009)*



Сл. 3.4. Емануел Чубер
(Универзитетска библиотека
„Светозар Марковић“ 2014)

*Fig. 3.4. Emanuel Czuber
(Универзитетска библиотека
„Светозар Марковић“ 2014)*

На препоруку свог професора Миланковић 1896. године одлази у Беч на студије грађевинске технике (Сл. 3.5). Миланковић је у мемоарима записао: „Варићак је имао на мене највећи утицај од свих мојих наставника. Он је пронашао у мени моје стварне способности и развио их са пуно љубави и труда“ (Миланковић 2008а). Он му је био разредни старјешина и он га је научио да цијени књигу и предложио му да се упише на студије у Беч, и то на Техничку велику школу.

Игром срећних околности математику му је на студијама у Бечу предавао познати професор Емануел Чубер (Сл. 3.4), који га је увео у вишу математику.

² Владимир Варићак (1865–1942) – математичар, физичар, члан Хрватске академије знаности и умјетности, Чешке академије наука, Српске академије наука. Професор на Загребачком свеучилишту. Имао је утицаја у развоју познатог математичара Ђуре Курепе као универзитетског професора.



Сл. 3.5. Милутин Миланковић као студент у Бечу (Википедија 2022)

Fig. 3.5. Milutin Milanković as a student in Vienna (Википедија 2022)

Миланковића је на студијама највише одушевљавао професор математике Емануел Чубер, који је био Чех, на чија предавања је редовно долазио, заузимао мјесто у првој клупи и био веома активан. Свог професора Чубера је чак и опонашао, што је овај запазио и ту увиђавност је веома цијенио. Професор Чубер га је учио математици. „Свака његова одмерено изговорена реченица била је мајсторско дело строге логике“ (Миланковић 2008а), без иједне сувишне ријечи, без иједне омашке. Ова чињеница се показала важном за вријеме Великог рата, када га је професор Чубер, захваљујући везама,

извукао као заробљеника из касарне логора у Нежидеру и омогућио му да рат проведе у Будимпешти, гдје је редовно посјеђивао библиотеку Академије наука и користио је за своје научно усавршавање.

У Бечу је тада боравио наш ненадмашни сликар историјске композиције Паја Јовановић и тамо је настало његово колосално платно *Eurot teutonicus – Германска помама*, које је на изложби са његовим осталим сликама изазвало снажну сензацију у Бечком умјетничком павиљону и добило наградно признање. Портрет Миланковића урадио је Паја Јовановић. Миланковић је, иначе, као студент Техничке високе школе проучавао градитељске стилове, тако да је често одлазио у бечке музеје и галерије слика. То му је помогло да унаприједи бечко градитељство патентом нових таваница (патент Миланковић–Кројц из 1908. године), у чему ће се прославити као инжењер и проналазач од ауторитета, што у тадашњем Бечу није било нимало лако. О Бечу тог доба најбоље говоре ријечи његовог најпознатијег становника Волфганга Амадеуса Моцарта изговорене 1871. године: „Проглашавам Беч величанственим градом. За људе из моје бранше, овај град је најбоље место на свету.”³ Биле су то похвале Бечу, у који се Моцарт одлучио преселити из родног Салцбурга. За вријеме владавине Марије Терезије, Беч је постао град музике, у коме су живјели и стварали, поред Моцарта, и велики мајстори Бетовен и Хајдн, а потом и два Штрауса, млађи и старији.

Марија Терезија⁴ је цијенила умјетност и нудила је држављанство архитектама, вајарима, сликарима, драмским умјетницима, писцима и на тај начин је претворила Беч у главни град умјетности у Европи. Слава Беча као стјечишта умјетника трајала је дуго и такав град никада раније није постојао. У граду раскошних двораца и велелепних грађевина смјењивали су се рококо и барок XVIII вијека са прелазом на неокласицизам у XIX вијеку, чији је крај и почетак XX вијека обиљежио романтизам (Карл Зите), сецесија (Ото Вагнер) и модернизам (Адолф Лос). Тада су, поред архитеката Зитеа, Вагнера и Лоса, у Бечу стварали познати умјетници Густав и Ернест Климт. Густав Климт (1862–1918) био је један од кооснивача сецесије, обиљежио је бечки Бургтеатар својим сликарством и био први умјетник који је у Бечу остварио сан „од сиромаша до богаташа”. У Бечу је на прекретници XIX и XX вијека одрастао, живио и стварао Сигмунд Фројд, човјек који је открио царство „несвјесно”, које се до тада није могло замислити, и ударио темеље психоанализи (Пецељ 2010). Миланковић је студирао у Бечу крајем XIX и почетком XX вијека, када

³ Занимљивости о композиторима 24. 7. 1921. Лада, модератор, легенда.

⁴ Марија Терезија (1717–1780) обиљежила је вријеме своје владавине као покровитељ умјетности. Била је ћерка Шарла VI. Послије његове смрти, са 23 године, наслиједила је цјелокупну имовину Хабзбурговаца. Владала је 40 година. Започела је административну и економску реформу по угледу на Француску и Пруску.

је Беч, послије економског успона који је доживио крајем XIX вијека, био један од најљепших градова у Европи. То је био Беч бидермајеровог доба.

3.3.3. Докторат

Послије завршених студија на Техничкој великој школи слиједио је докторат. Комисију за оцјену и одбрану Миланковићеве докторске дисертације саставио је професор Јохан Брик, тада декан Техничке велике школе. Поред Чубера, Миланковић је са поштовањем помињао и професора Јохана Брика (1842–1925), који му је предавао науку о грађењу. Од професора Брика Миланковић је стекао прва знања о армираном бетону, у чему ће се убрзо прославити са оригиналним патентима у предузећу барона Питела који је остварио велике приходе са новим таваницама. Касније ће Миланковић напустити компанију „Пител”. У комисију за одбрану доктората ушли су угледни професори: Јохан Брик (предсједник комисије), Јозеф Фингер (професор рационалне механике), па накнадно професор Лудвиг фон Тетмајер, који је био ректор, и математичар Емануел Чубер.⁵

Милутин Миланковић је докторирао 3. децембра 1904. године и тако постао први Србин доктор техничких наука. Наслов Миланковићеве докторске дисертације је *Теорија линија притиска (Beitrag zur Theorie der Druck-kurven)*. Годину у којој је докторирао Миланковић сматра пресудном за свој духовни развитак и каснији научнички позив, јер му је то било значајно сазнање за „пространством наука у њиховим лепотама. Видео сам да је статика којом сам онда био овладао узан простор за велика дела“ (Миланковић 2008б).

Миланковић се тада озбиљније почео бавити примјеном статичких метода на конструкцији модуларних армиранобетонских мостова. То је било нешто сасвим ново у грађевинарству, што ће му широко отворити простор за рад. Од 1905. године Миланковић је примљен у познату бечку грађевинску фирму барона Адолфа Питела, гдје је убрзо заузео једно од главних мјеста у конструктивном бироу. Фирма „Пител“ и данас послује. Међутим, Миланковић се није задовољавао постигнутим резултатима у техници. Проучавао је

⁵ Емануел Чубер (*Emanuel Czuber*, 1861–1925) – математичар, редовни професор на Њемачком техничком универзитету у Брну 1886. године, а 1890–1891. године ректор универзитета. Од тада је редовни професор на Техничком универзитету у Бечу. Чубер је био ректор у академској 1894–1895. години. Повукао се 1921. године. Његова ћерка Берта, рођена 1879. године, вјенчала се са млађим братом Франца Фердинанда д'Естеа, наслједника аустријског пријестола, 1909. године. Чубер је био дворски савјетник, што је била важна титула у царству.

Апелов уџбеник да би се упознао са динамиком и небеском механиком и слушао Кирхофова⁶ и Хелмхолцова⁷ предавања из физике.

3.4. Позиви из Беча и Загреба

Два занимљива позива која су Миланковићу упућена из Беча и Загреба завређују пажњу. Угледни професор и дворски савјетник Јохан Брик позвао је Миланковића да настави каријеру као професор на Техничком факултету у Бечу на Катедри за армирани бетон. Познатом по иновацијама и патентима у грађевинарству, Милутину Миланковићу се отворила изванредна академска каријера на престижном Бечком универзитету. Миланковић је професору и дворском савјетнику отворено казао: „Али, господине саветниче, ја сам Србин!” Брик је на то одговорио: „Не мари ништа!” Његов добри професор, који му је остао у драгој успомени, расуђивао је крајње поштено и казао Миланковићу: „Ви сте држављанин Монархије”, као и професори Чубер и Долежал, а приликом избора поштују се само научне квалификације (Миланковић 2008а). Миланковић се захвалио благонаклоном професору Јохану Брику, који му је био предсједник испитне комисије на одбрани доктората. У питању је био Миланковићев став о националном питању који није био у сагласности са Чуберовим и Долежаловим, без обзира на то што их је поштовао и уважавао, који су били на својим положајима германизовани толико да скоро нису говорили својим матерњим језиком. Био је јасан и прецизан и није прихватио позив. Захвалио се свом професору Брику, јер се није хтио одрећи своје нације, иако је сам познавао и све њене мане.

Са Анексионом кризом (1908) у Царевини су се компликовале националне прилике. Хајка на Србе, нарочито на политичке вође, била је све израженија и појачавана је у вријеме велеиздајничке парнице 1909. године. У хајци се истицао хрватски бан барон Павле Раух. Баш те, 1909. године професор из Загреба Винко Хлавинка (1862–1934) допутовао је у Беч и учинио Миланковићу посјету, са позивом да предаје на будућој Великој техничкој школи у Загребу, и то да бира Катедру за механику или Катедру армираног бетона. Миланковићу се није ишло у Загреб, највише због Рауховог режима. Међутим, приједлог комисије који је пренио професор Хлавинка био је у пријатељском духу, тако

⁶ Густаф Роберт Кирхоф (*Gustav Robert Kirchhoff*, 1824–1887) – био је пионир спектроскопије и њемачки физичар. Поставио је теорију електричних мрежа. Законе о топлотном зрачењу изложио је 1859. године.

⁷ Херман Лудвиг Фердинанд фон Хелмхолц (*Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz*, 1821–1894) – био је њемачки лекар и физичар. Сматра се једним од најзначајнијих научника XIX вијека.

да га Миланковић није могао одбити „напречац“. Прије него што се Хлавинки одговорило, Миланковић је упутио депешу ректору Београдског универзитета проф. др Богдану Гавриловићу и замолио га за савјет. Професор Гавриловић се није хтио одрећи услуга Миланковића, кога је запазио као даровитог матуранта, који је израстао у признатог математичара и бечког инжењера са патентима. Увјерен да се ради о научном потенцијалу, професор Гавриловић му је савјетовао: „Не обавезујте се ни на шта док од мене не добијете опширнијег обавештења“ (Миланковић 2008б).

Послије извјесног времена професор Богдан Гавриловић се јавио и саопштио Миланковићу да ће га професори Јован Цвијић и Михајло Петровић Алас предложити на Београдски универзитет. Тако је и било. Са нестрпљењем је чекао одговор. Када је добио телеграм да је примљен за ванредног професора на Београдски универзитет, са објашњењем – *numerus klauzus*, што је значило да је испуњена квота за пријем редовних професора, Миланковић је прихватио позив и био је срећан, без обзира на то што је напустио Беч, који је волио, и дошао у Београд за десет пута мању плату. Његова срећа била је неизмјерна.

3.5. Београдски дани – ратови

Миланковић се након доласка у Београд вратио у „крило свога народа“ те постао држављанин Србије и одмах је уписан у војску Краљевине Србије. Новац није био пресудан за Миланковића, јер је дошао међу свој народ, у свој Београд. То није имало цијену. Ипак, Беч није био довољан за његову амбицију, јер је тежио вишим циљевима и сматрао је да ће се осјећати срећним само тада ако постане научник од формата. Наизглед романтична црта његовог карактера показала се реалном.

Као инжењер у Бечу регистровао је шест патената и дизајнирао бројне мостове, аквадукте и електране у Аустроугарској. Упркос успјешној инжењерској каријери, Миланковић је од 1909. године на приједлог Јована Цвијића, Михајла Петровића и Богдана Богдановића дошао на Београдски универзитет. Иако је наставио да пројектује мостове и друге објекте у Србији, Миланковић се фокусирао на истраживања вјековних слагалица ледених доба, инсолације и температуре Земље.

У Београду се сасвим посветио научничком позиву. Али, након три године почео је Балкански рат, у коме је Милутин Миланковић са историчарем Станојем Станојевићем мобилисан у војску. Два угледна професора постављени су за референте за страну кореспонденцију у штабу Дунавске дивизије првог позива, са задатком да прате ратне извјештаје страних новина о кретању

непријатељске војске и о томе обавјештавају своје старјешине. Ратни вихор их је довео на поприште историјске Кумановске битке.⁸

3.6. Милутин Миланковић и Павле Вујевић

Миланковић је сматрао да математика заузима централни положај око којег је прстенаста област егзактних природних наука (рационалне механике, небеске механике, астрономије, физике и хемије), а око њих прстенаста област дескриптивних аорганичких природних наука (метеорологија, геофизика, геологија, минералологија и географија). Завирујући у област граничних наука Миланковић је почео са метеорологијом. Да би о метеорологији нешто више сазнао, обратио се свом колеги са студија у Бечу географу Павлу Вујевићу⁹. Павле Вујевић је већ тада био наставник метеорологије и климатологије на Београдском универзитету. Систематичан по природи и научно обдарен, Павле Вујевић је упознао Миланковића са дјелима водећег бечког метеоролога и његовог професора Јулијуса Хана и водећег париског професора Алфреда Ангоа, који је водио службу за Климатологију и инструменте у метеоролошкој служби Француске. Увидом у литературу Милутин Миланковић је запазио да је у метеорологији „море нумеричких података, тек мало физике која би те чињенице објаснила, а још мање математике и то само елементарне” (Миланковић 20086). Вујевић је додатно Миланковићу доставио расправе о соларној клими професора Трабета¹⁰ из Инзбрука, који се сматрао насљедником познатог професора Бечког универзитета Јулијуса Хана. Међутим, резултати

⁸ Станоје Станојевић је написао дјело *Српско–Турски рат 1912. године* и посветио га сјени српског официра Аце Здравковића, кога су обојица познавали, а који је погинуо у Кумановској бици.

⁹ Павле Вујевић (1881–1966) студије географије завршио је у Бечу, гдје је докторирао 1904. године (*Тиса – потамолошка студија*). Следило је усавршавање на Пруском метеоролошком институту у Берлину и Метеоролошкој опсерваторији у Потсдаму. На позив Цвијића долази у Београд 1907. године. Био је најприје приватни, па стални доцент и послје Првог свјетског рата редовни професор. Учествовао је у балканским ратовима и Првом свјетском рату. У чину водника прешао је Албанију до Крфа, а потом боравио у Енглеској и на крају у Француској. Бавио се темељно метеорологијом, климатологијом и хидрологијом. Са Цвијићем, Дедијером и Милојевићем учествује у оснивању Српског географског друштва 1910. године. Павле Вујевић је 1950. године изабран за дописног, а 1958. за редовног члана САНУ. Написао антологијске универзитетске уџбенике: *Метеорологија*, *Климатолошка статистика*, *Основи математичке и физичке географије*. Павле Вујевић је био пионир у истраживању микроклиматологије и биоклиматологије, која се касније развила у важну грану климатологије у Србији (на примјер, истраживања Реселј и сар. 2007; Реселј et al. 2010а, 2010б, 2010в, 2011, 2013, 2020, 2021; Миловановић и сар. 2017). Био је предсједник III међународне геофизичке године 1947. године, а затим управник Метеоролошке опсерваторије у Београду (Stanković 2001).

¹⁰ Вилхелм Траберт (*Wilhelm Trabert*, 1863–1921) – био је метеоролог на универзитетима у Инзбруку и Бечу и директор бечког Централног института за метеорологију и геодинамику.

Миланковићевих истраживања разликовали су се од Трабетових, јер он није уважавао „спровођење топлоте са Земљине површине у њено тло“, што је познато из Фуријеове теорије. Миланковић убрзо објављује два рада и најављује нове резултате који су представљали научну новост.

Павле Вујевић је скренуо пажњу Миланковићу на једну расправу Хопфнера о проблему распореда Сунчеве топлоте на Земљи, што му је било од користи. Дјело најзначајнијег ауторитета из метеорологије професора Јулијуса Хана о климатологији скренуло је Миланковићу пажњу на проблем ледених доба, што ће бити главни предмет Миланковићевих истраживања. Када је проучио сву литературу која је објављена у посљедњих 130 година, Миланковић је 1913. године објавио расправу у *Гласу Српске Краљевске Академије*, која ће бити камен темељац његових каснијих радова.

3.7. Будимпешта

Важан тренутак у животу Миланковића био је брак са Христином Топузовић Тинком (Сл. 3.6), ћерком Милоша и Милеве, из познате шабачке трговачке породице. Проводација у женидби била је Олга, супруга Милутиновог пријатеља, професора Станоја Станојевића. Вјенчали су се 1/14/ јуна 1914. године. Стари сват био је његов колега и пријатељ Павле Вујевић, а кум ратни друг, историчар Станоје Станојевић.



Сл. 3.6. Милутин и Христина Тинка Миланковић (Википедија 2022)
Fig. 3.6. Milutin and Hristina Tinka and Milutin Milanković (Википедија 2022)

По вјенчању у Вазнесенској цркви Миланковићи су планирали свадбено путовање на мјесец дана у Даљ, затим Беч и Женеву. Вјенчани кум, угледни историчар Станоје Станојевић, говорио му је да је атентат на престолонаследника Фердинанда унутрашња ствар Аустрије и да се ништа неће непромишљено урадити. Повјеровао је Станојевићу и на свадбени пут Миланковићи су пошли возом до Новог Сада, а онда лађом „Гизела“ до Вуковара и каруцама у Даљ. Милутин је Тинки говорио о француској књижевности и музици, наговјештавајући опуштено брачно путовање по Европи. Ипак, није ишло по плану. Избио је Велики рат и Миланковић је затечен у Даљу. У Карлсбаду је био затечен и српски војвода Путник.

Ситуација се искомпликовала и Миланковићи су тако пали у ропство. Као интернирац, Миланковић је на почетку рата био у Даљу, са упозорењем власти да се не миче из куће и да се не бави шпијунажом. „Преко дана седео сам на обали Дунава, размишљао и писао. Да довршим своје дело пре него се оконча рат. Јер да ће то бити ускоро, није нико од нас сумњао; недељу дана иза битке на Церу довршена је битка око Лавова и Руси га освојише“ (Миланковић 2008б). Али, последице Церске битке Миланковић је утамничен у Осек, затим у Карловац, а од октобра 1914. пребачен је у војни логор Нежидер, гдје су сакупљени сви грађани Србије који су затечени у Аустроугарској.¹¹

У Нежидеру је била касарна пука мађарских хусара, чија коњица је одјавала на ратно поприште у Галицију, тако да је касарна остала празна и претворена је у заточенички логор за Србе који су почетком рата затечени у Аустроугарској. У логору су услови били лоши. Супруга Тинка је била пожртвована и упорна у настојању да Милутина извуче из логора. Обратила се утицајном професору Чуберу, чија је ћерка Берта била удата за хабзбуршког надвојводу. Тинка је успјела да професору Емануелу Чуберу пренесе објективну слику о положају Миланковића у логору. Професор Чубер је показао уљудност и извукао је Миланковића из логора, уз асистенцију капетана Чобана. И ујак Васа трудио се да се некако ослободи Милутин, јер је имао везе код министра Стефана Тисе. Углавном, Миланковић је пребачен из логора у Будимпешту, гдје је живио све вријеме рата. Миланковић је добио приступ библиотеци Мађарске академије наука, захваљујући управнику, познатом математичару Коломану Силију. Била му је на располагању и библиотека Академије наука и Централног метеоролошког института, гдје је имао литературу од 144 разна дјела и бројне расправе које је користио у свом научном истраживању. Из Пеште се вратио у Београд 15. марта 1919. године, оном истом лађом „Гизела“ којом

¹¹ Нежидер је аустроугарски војни логор за интерниране цивиле и заробљене војнике, међу њима у највећем броју Србе и Српкиње, као и грађане и војнике Црне Горе у вријеме Великог рата. У логору је била смјештена српска интелектуална елита, по чему се он издваја од других у Првом свјетском рату.

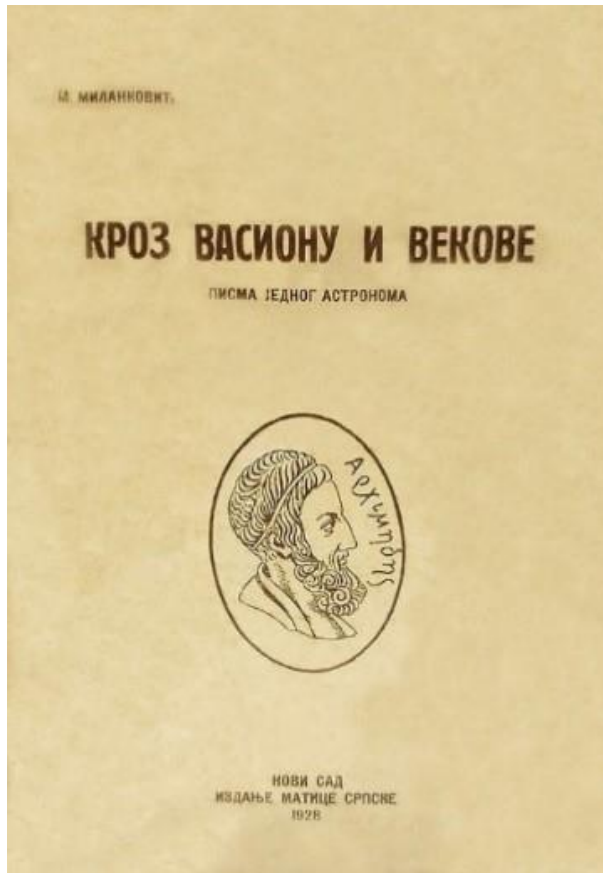
је пошао на свадбено путовање. У Београд се вратио са приновом, сином Василијем, који се 1915. године родио у Будимпешти.

3.8. Бомбардовање Београда

Миланковић је педантно водио дневник и биљежио важне детаље из живота. Тако је забиљежио да је на писању *Канона* и вођењу коректуре приликом његовог штампања утрошио 539 радних дана. *Канон* је предао у штампу штампару Русу Казамарову. Штампарија је била у једној старој кући у Космајској улици. *Канон* је био одштампан у табацима, 2. априла 1941. године. Требало је само ушити и склопити књигу, што је штампар одмах започео. Међутим, у недјељу 6. априла 1941. године Београд је бомбардован. Након шест дана бомбардовања Миланковић је дошао у Космајску улицу да види шта је са књигом и затакао је разорену кућу, којој је тешко било прићи. Срећом, под рушевинама је остао само по један одштампан примјерак табака (Миланковић 2008а). Након окупације Београда Миланковић се повукао у своју собу и три године радио је дјело *Кроз царство науке*, у коме је узбудљиво писао о личностима из свијета науке, о њиховом животу и раду, као и дOMETИМА великана и оснивача наука: Демокрита, Питагоре, Архимеда, Коперника, Фарадеја, Њутна, Дарвина и др. (Миланковић 2008в).

Књига је наставак Миланковићевог путовања започетог неколико деценија раније, на рукопису *Кроз васиону и векове*. Реченице су му сликовите, са мноштвом епитета и развијених есејистичких пасажа, али у функцији строго научних опсервација, без сувишних ријечи, крцате свјежим изворним изразима и наглашеним детаљима, које Миланковић умјешно боји у текст, тако да се књига чита са лакоћом и уживањем, као бестселер.

Књига *Кроз васиону и векове* (Сл. 3.7) одлична је научна историја астрономије представљена кроз анализу епистоларне грађе о значајним тренуцима Миланковићевих остварења. Ова путописна проза је вјештином, даровитомшћу и тумачењу научних идеја, изванредним стилским запажањима важних научних идеја, од почетка рада, па до планетарних закона, представљена у књижевној форми која се може уврстити у најбоље бестселере XX вијека.



Сл. 3.7. Насловница Миланковићеве књиге *Кроз васиону и векове* (Математички факултет Универзитета у Београду, Удружење „Милутин Миланковић“ 2014а)

Fig. 3.7. Cover of Milanković's book *Through Universe and centuries* (Математички факултет Универзитета у Београду, Удружење „Милутин Миланковић“ 2014а)

У то вријеме, Миланковића је интересовало вјероватно најважније научно питање тог доба које је изазивало велику пажњу – Ајнштајнова теорија релативитета, која је имала своје присталице и противнике који су дебатовали, а и данас дебатују, о овој теорији. Најауторитативнији присталица Ајнштајнове теорије био је Де Ситер, који је на принципу константности брзина свјетлости бранио Ајнштајнову теорију, коју је Миланковић проучио и уврстио у своја предавања. Теорија је почивала на негативном исходу Михелзоновог експеримента који је био четврт вијека једна од највећих загонетки физике. У то вријеме откривене су двојне звијезде, односно небеска тијела која су удвоје везана силом гравитације, која се крећу око свога заједничког

тежишта, по елиптичним путањама и тиме потврђују да Њутнов закон важи за сва небеска тијела у најдубљим дијеловима васионе. Двојне звијезде је открио Вилијам Хершел.¹² Једна од познатих двојних звијезда је *Beta Aurige*, најснажнији члан у сазвијежђу Кочијаша.

3.9. Миланковићев живот у сјенци Другог свјетског рата¹³

Када је Миланковић био позван да одржи предавање *О астрономским средствима за испитивање климата Земљине прошлости* у Брну и Прагу 1937. године, био је упозорен да не смије да говори на њемачком језику, па је морао да чита француски превод тог предавања (Миланковић 1997б). Како је то истраживање било круна четврт вијека рада и тридесетак ранијих публикација, достојно га је обиљежио једном вечером са колегама и пријатељима у Београду. Његов први, релативно безазлени, увид у предстојеће ужасе национализма и нацизма био је такође повезан с његовим радом. Послије 1936. године почео је да наручује књиге из области историје науке од лајпцишког издавача који је објавио његово „путовање“ *Кроз васиону и векове*, па се често чудило зашто се „о животу великих научника прошлости зна несразмерно мање но о животу владара, државника и војсковођа“ (Миланковић 1997б). То је био почетак припреме за његово сљедеће популарно издање *Кроз царство наука*, које почиње поглављем о Демокриту. Али када је поручио књигу Лујиса Левенхајма о Демокриту и његовом утицају на природне науке,¹⁴ није могао да вјерује кад му је његова издавачка књижара одговорила да није у стању да му набави тражено дјело.

Но, присјетио се шта је у тому узрок: „Левенхајм је, као што му то његово име и презиме сведоче, био Јеврејин, и због тога су продаја и куповина његових дела биле забрањене. Хитлерова мржња према Јеврејима погодила је и мене, хришћанина, и старог и недужног Демокрита. Зато ми је он постао милији“ (Миланковић 1997б). Други свјетски рат је означио смак свијета у којем је

¹² Сер Фридрих Вилхелм Хершел (*Friedrich Wilhelm Herschel*, 1738–1822) – био је њемачко-британски астроном и композитор. Одредио је апекс, тачку у галаксији ка којој се Сунце креће у сазвијежђу Лира. Открио је планету Уран. Био је краљев астроном. Изградио је својевремено највећи телескоп на свијету. Открио је зрачење које је назвао инфрацрвено зрачење.

¹³ На Филозофском факултету у Палама одржан је 2004. године научни скуп поводом 125 година од рођења Милутина Миланковића. Академик Светозар Кољевић доставио је рад *Миланковићев живот у сенци Другог светског рата*, који је интегрални дио овог саопштења. Поштовање према Милутину Миланковићу исказано је и у књизи *Климатске промјене и ефекат стаклене баште* (Пецељ 2000).

¹⁴ У питању је расправа на 48 страница *Die Wissenschaft Demokrits und ihr Einfluss auf die moderne Naturwissenschaft* (Löwenheim 1914).

Миланковић живио. У њемачком бомбардовању Београда 6. априла 1941. године, мала зграда у Космајској улици, у којој је Српска академија наука штампала Миланковићево ремек-дјело *Канон осунчавања и проблеми ледених доба* на њемачком језику, била је такође погођена: „Годинама радио сам на том делу, и када сам пет дана пре бомбардовања био у штампарији, одштампан је његов последњи осамдесетдруги табак. Све табаке дела, од сваког по 500 комада, видео сам онде, несавијене, уредно положене један на други, да би се приступило њиховом сашивању у поједине књиге. А сада, десет дана доцније, видех пред собом рушевину зграде под којом је лежало моје довршено дело, сахрањено у гробу“ (Миланковић 1997а).

Испоставило се, међутим, да је просторија у којој је *Канон* био смјештен релативно добро прошла, те да су само посљедњих осам табак били оштећени водом од силних киша. Како је слог сачуван, они су убрзо одштампани, чим се нашла каква-таква хартија, и у јесен 1941. године Миланковић је већ имао у рукама ауторске примјерке свог дјела. Неколико тих примјерака успио је да пошаље у Њемачку, гдје су они добили похвалне приказе. Али, у мају 1944. године искрсла је нова невоља: позиви са универзитета у Минхену и Бечу! Одбити их – било би непријатно и опасно, а прихватити их – још теже. Миланковић је написао два писма у којима је захвалио на указаној части и упитао да ли би посјете могле бити одгођене до новембра исте године: „Рачуно сам да ће се до тог доба догодити много што шта, и нисам се преварио“ (Миланковић 1997б).

Занимљиво је можда поменути да је приликом бомбардовања Београда у априлу 1941. године изгорио – с многим другим књигама непроцјењиве вриједности у Народној библиотеци – и један примјерак књиге коју је написао Миланковићев дјед-стриц Урош Миланковић. Иронијом, у питању је књига под насловом *Просвета човека*, у којој Урош Миланковић износи веома оптимистичан поглед на европску цивилизацију, односно њен развој у правцу просвијећеног интернационализма, који је, по његовом мишљењу, још у његово вријеме, увелико остварен! Међутим, рекло би се да су све те књиге које су изгорјеле у Народној библиотеци биле војни циљ, а не тек нека „колатерална штета“.

Али као да нема краја историјским иронијама: када су савезници успоставили војне аеродроме у јужној Италији, Миланковић се забринуо да би и Београд могао бити бомбардован. Поменуо је то Богдану Поповићу, утемељитељу изучавања свјетске књижевности на Београдском универзитету, али стари професор и зналац свјетских прилика само је одмахнуо руком и казао да је то немогуће. Он је провео Први свјетски рат у Енглеској и добро упознао Енглезе као „центлменски народ“ (Миланковић 1997б), тако да се не би могло ни

замислити да они нападну свог „до гроба верног пријатеља обореног надмоћним непријатељем и раскрвављеног стотинама рана“, уз то пријатеља који је „ускочио“ у овај рат да би „остао веран својим савезницима из Првог светског рата (Миланковић 1997б). На Ускрс 1941. године почело је тешко засипање Београда теписима бомби! А кад је Миланковић поново посетио Богдана Поповића, пошто се догодило оно што је било незамисливо, његов уморни и резигнирани пријатељ му је рекао: „Не желим да живим у овом избеумљеном свету“ (Миланковић 1997б). У међувремену и њемачки слог лајпцишког издања Миланковићевог дјела *Кроз царство науке* био је уништен приликом британских и америчких ваздушних напада на Лајпциг у децембру 1943. Убрзо послје њемачке окупације Србије Миланковић је схватио да нема ничег заједничког са свијетом у коме се обрео, па је одлучио да напише своје мемоаре и историју науке: „Распоредио сам хартије и књиге на свом радном столу, запалио лулу и с осећањем мирног уживања почео да пишем. Сви Хитлери, Стаљини и Черчили овог света престали су да постоје. Затворио сам врата пред ужасном стварношћу људске лудости и отворио их према оним просторима у којима се људска памет показивала у свом најбољем издању. ... Морао сам да се ослоним на своју библиотеку и написао сам историју науке под насловом *Кроз царство науке* у облику серије личних догађаја у животима великих научника почев од Питагоре па све до Чарлса Дарвина. ... Тако сам остао при себи и осећао да сам у елитном друштву цело време рата“ (Berger 1995).

Послије Другог свјетског рата његов син Васко, који није био љубитељ комунизма, емигрирао је у Аустралију, али отац је са супругом остао у Београду и написао три универзитетска уџбеника: *Основи небеске механике* (1947), *Историја астрономске науке* (1948) и *Астрономска теорија климатских промена* (1948). Убрзо је схватио да се његова *Астрономска теорија климатских промена* „све чешће појављује у научној литератури широм света“, те да му је његов „научни ауторитет дао, како је то рекао, „чак и овде изузетно независан положај“: „нико ме не гњави и живим у миру“, без обавеза чак и да присуствујем масовним скуповима“ (Berger 1995). Изабран је за потпредсједника Српске академије наука 1948. године, а додијељена му је Златна докторска диплома Техничке школе у Бечу 1954. године.

Колико год да је желио да поново види Беч, није могао поднијети да лично присуствује тој церемонијалној додјели, да буде „у центру те прославе и говорништва“ (Berger 1995), односно да „слуша како га други хвале“ (Миланковић 1997б). Убрзо затим стигао је и ректоров позив да се обрати бечкој Техничкој школи и Академији, те је почетком јуна 1955. године на Техничкој школи одржао предавање *О студентским данима и инжењерским годинама у Бечу*, а у Академији *О хронологији ледених доба*. У првом

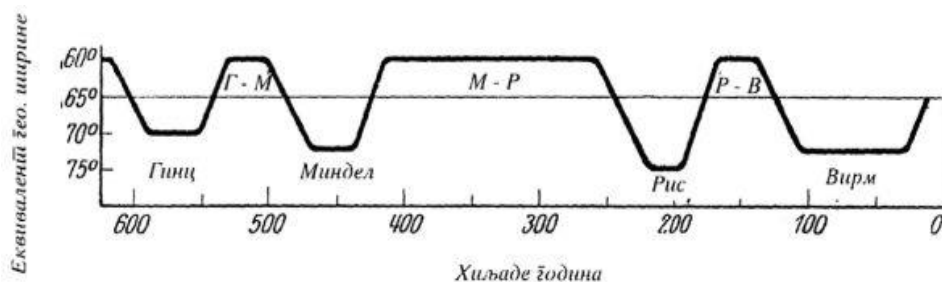
предавању захвалио је Бечкој техничкој школи на „знању и надахнућу“ које му је дала. У Академији је говорио о својој омиљеној теми излажући личне погледе и сазнања која су управо почели да привлаче све већу међународну пажњу. Поред тога, ово „сентиментално путовање“ пружило му је „замашно уживање, нарочито стога што је Беч зацелио своје ратне ране и обновио се да би опет засјао пуним сјајем“ (Berger 1995). То је, без сумње, носталгичан поглед једног старог научника великог међународног угледа, али у свјетлости историјског искуства национализама у XX вијеку и на прагу глобализације нашег мултикултуралног свијета, као и у свјетлости Миланковићевог личног патриотизма и интернационализма, може се с разлогом запитати да ли је Миланковић био рани Европљанин или један од посљедњих Мохиканаца.

3.10. Мистерија ледених доба

Милутин Миланковић се од 1911. године почео занимати за климатологију. Проучавајући детаљно научне радове савременог климатолога Јулијуса фон Хана, Миланковић је своје научно истраживање усмјерио на *мистерију леденог доба*. Геолози су доказали да су се у Европи у току најмлађе геолошке периоде квартара догодила ледена доба која су оставила дубок траг на лицу Земље. Прије ледених доба у Европи је владала топла клима. С издизањем Алпа у олигомиоцену јавља се и ледено царство. На врховима су се појавили сњежаници који су се ширили низ планине и затрпавали долине ширећи хладноћу и угрожавајући вегетацију. Човјек се повлачио у пећине остављајући трагове на цртежима пећина. Глечери су се повлачили, остављајући морене као трагове глацијације и интерглацијације.

Докази о постојању ледених доба сакупљани су деценијама у виду геолошких, палеонтолошких и хемијских трагова. Геолози су постојање ледених доба доказивали кроз различите морфолошке форме које се срећу на стијенама у виду стрија, или на основу појаве морена, затим тераса на ријечним обалама, изгубљених долина итд. Палеонтолошки докази се манифестују у промјенама географске расподјеле фосила за вријеме глацијације, затим разни организми који нису адаптирани на хладну климу и мигрирају ка тропским и екваторијалним ширинама и тако преживљавају, затим изумирање организама који су само адаптирани на топлу климу. Хемијски докази се налазе у промјенама односа изотопа у седиментним стијенама и седиментима са дна океана, као и седимената ледених језгара.

Научни став о пространству и промјенама алпске глацијације изнијели су глациолог Албрехт Пенк¹⁵ и климатолог Едуард Брикнер¹⁶ у свом дјелу *Алпи у ледено доба (Die Alpen im Eiszeitalter)* (Penck und Brückner 1909). Ово капитално дјело изашло је у три тома у периоду од 1901. до 1909. године. Пенков научни став грађен је на процјени да је од посљедњег захлађења на Земљи прошло 20.000 година, а да је укупно трајање плеистоцена износило 650.000 година. У току плеистоцена, сматра Пенк, на Алпима су се смијенила четири ледена доба: Гинц (*Günz*), Миндел (*Mindel*), Рис (*Riss*) и Вирм (*Würm*), која су одијељена трима интерглацијацијама (Граф. 3.1).



Граф. 3.1. Алпски глацијали и интерглацијали (Milankovitch 1941)
Graph. 3.1. Alpine Glacial and Interglacial periods (Milankovitch 1941)

¹⁵ Албрехт Пенк (*Fridrich Karl Albreht Penck*, 1859–1945) – њемачки глациолог, геоморфолог и геолог. Студирао је у Лајпцигу хемију, ботанику, минерологију и геологију. Био је професор Бечког универзитета (1885–1906), а од 1906. године професор Хумболтовог универзитета у Берлину. Од 1928. године предаје на Карловом универзитету у Прагу. Од 1906. године члан је Берлинско-бранденбуршке академије наука. Био је посвећен истраживањима геоморфологије и климатологије. Подигао је углед „Бечке школе“ на висок међународни ниво. Сматра се једним од највећих глациолога. Изучавао је глацијацију и геоморфологију, посебно Алпа. Учествовао је на бројним експедицијама по планинама Исланда, Марока, Канаде, Аустралије, Кине, Јапана и Босне и Херцеговине. Са Брикнером је извршио класификацију климата, а потом су у литературу увели имена старих глацијација (Гинц, Миндел, Рис и Вирм). Пенк је боравио као гостујући професор на Јејл универзитету и Универзитету Колумбија. Код Пенка су докторирали Јован Цвијић и Павле Вујевић. Пенк је био пријатељ Јована Цвијића и професор Едуарда Брикнера и Јевта Дедијера.

¹⁶ Едуард Брикнер (*Eduard Brückner*, 1862–1927), поријеклом је из њемачке породице која је живјела у Петровграду. Пенков је ученик. У Хамбуршкој поморској опсерваторији помаже климатологу Владимиру Кепену у издавању часописа *Meteorologische Zeitschrift*. Тада објављује радове о колебању климе у леденом добу, пратећи велике поплаве, повлачење ледника и колебање мора (Балтичког, Црног и Каспијског), доводећи то у везу са колебањем ледника на Алпима. То је у науци познат тридесетпетогодишњи Брикнеров циклус у режиму температура ваздуха, годишње суме падавина и притиска. Катедру на Универзитету у Бечу примио је 1906. Умро је 1925. године, само два мјесеца послје Цвијића.

На основу ријечног шљунка наталоженог за вријеме ледених доба, Пенк је оцијенио распоред и дужине тих доба. Међутим, ово се није слагало са леденим добима сјевера Европе, Енглеске и Америке. У САД су била четири глацијала: Небраска (*Nebraskan*), Канзас (*Kansas*), Илиноис (*Illinois*) и Висконсин (*Wisconsin*). У Њемачкој су детектована три ледена доба: *Elster, Saale* и *Weichsel*.

Занимљива је дебата између Албрехта Пенка, неприкосновеног ауторитета из области глациологије, и Милутина Миланковића која се догодила 1936. године, на III конгресу Међународне уније за квартарна истраживања (*International Union for Quaternary Research, INQUA*) у Бечу. Пенк је био један од оснивача, почасни члан и доживотни предсједник INQUA, а Миланковић легат Југославије који је на Конгрес дошао преко пријатељских веза као замјена једном професору који је био позван. Пенк је одржао пленарно предавање и на крају упитао да ли можда неко има питање. Миланковић се јавио за дискусију. Он је похвалио Пенково предавање, али је без устручавања казао да се његови математички прорачуни не поклапају сасвим са Пенковим леденим добима. Пенк је замјерио Миланковићу на таквом ставу и казао му да је упознат са његовим прорачунима и да их чак оспорава. Миланковић није остао дужан и одговорио је Пенку како он није крив што истраживања других колега нису тачна. Тако је почео „сукоб”, који је трајао три године, све док Пенк није Миланковићу послао разгледницу у којој га је поздравио и написао да прихвата његова истраживања.

Откривајући слику Земљине прошлости, наука је застала пред загонетком: Шта је узрок таквим климатским промјенама? Дјела професора Јулијуса фон Хана нису давала одговор на ово питање. Миланковић је са задовољством констатовао да су 1921. године, за вријеме штампања четвртог издања Хановог *Уџбеника метеорологије*, ушли у ово „велико дјело“ резултати израчунавања Земљине соларне климе.

3.10.1. Утицај астрономских фактора

Идеја о утицају астрономских фактора на климатске промјене била је прави пут којим је кренуо Миланковић. Климатске промјене у прошлости и ледена доба постали су важно научно питање које је занимало бројне научнике. Осврнимо се на неке од њих који су дали значајан допринос у афирмацији астрономских фактора. Осврнимо се и на претече Миланковићевог закона који су, свако на свој начин, допринијели развоју идеје о утицају астрономских фактора на промјене климе у прошлости.

Жан-Жак д'Орту де Меран¹⁷ дошао је до кључних открића у разним областима, па и у астрономији. Де Меран је 1719. године расправљао о промјенљивој косости свјетлости, која зими узрокује хладноћу, а љети топлоту. Он је сматрао да је ефекат Сунчевог загријавања повезан са квадратом синуса његовог узвишења. Међутим, занемарио је значај ефеката атмосфере.

Познати математичари Жозеф Лагранж¹⁸ и Пјер Лаплас¹⁹ израчунали су 1782. године да се усљед кретања облик Земљине орбите мијења. То кретање названо је промјеном ексцентричности, јер се облик орбите мијењао од скоро кружног до издуженог облика. Лаплас је поставио угаони камен математичке астрономије. Он је проширио радове својих претходника и објавио је петотомну студију *Небеска механика (Mécanique Céleste)*, која представља темељно дјело физичке механике.

Астроном, математичар и природњак Џон Хершел²⁰ први је дошао на идеју о утицају астрономских фактора на климатске промјене. Он је сматрао да је узрок климатских промјена у ексцентричности Земљине путање. Џон Хершел је изнио идеју да ексцентриčnost Земљине путање утиче на промјену климе. У то вријеме геолози још нису јасно уочили проблем ледених доба. Пошто је Хершел био неоспоран научни ауторитет, његов став се дуго задржао. Хершелов став и истраживања француског астронома и математичара Ирбена Леверијеа показали су да се ексцентриčnost Земљине орбите непрестано мијења и притом су израчунали колико та промјена износи.

Француски математичар и астроном Ирбен Леверије²¹ је рачунским путем, 1843. године, утврдио да се ексцентриčnost Земљине путање мијења у циклусима од око 100.000 година, захваљујући гравитационом привлачењу других планета.

¹⁷ Жан-Жак д'Орту де Меран (*Jean-Jacques d'Ortous de Mairan*, 1678–1771) – био је француски геофизичар, астроном и хронобиолог.

¹⁸ Жозеф-Луј Лагранж (*Joseph-Louis, comte de Lagrange*, 1736–1813) – био је италијанско-француски математичар и астроном који је дао важан допринос на свим пољима анализе и теорије бројева као и класичне и небеске механике.

¹⁹ Пјер Лаплас (*Pierre-Simon, Marquis de Laplace*, 1749–1827) – био је француски математичар и астроном који је поставио камен темељац физичке механике. Његова студија *Небеска механика* сматра се ремек-дјелом геометријске студије из механике, које је користио Исак Њутн.

²⁰ Џон Фредерик Вилијам Хершел (*John Frederick William Herschel*, 1792–1871) – био је енглески математичар, астроном, хемичар и ботаничар.

²¹ Ирбен Жан Жозеф Леверије (*Urbain Jean Joseph Le Verrier*, 1811–1877) – био је француски математичар, астроном и професор небеске механике на Факултету наука. Познат је по томе што је предвидио постојање и положај планете Нептун користећи се само математичким методом. Након смрти Арагоа изабран је за директора Париске опсерваторије, на чијем челу је остао до краја живота.

Француски математичар и астроном Жозеф Алфонс Адемар²² је 1842. године поставио хипотезу о леденим добима. Он је сматрао да су ледена доба заснована на варијацијама Земљине путање око Сунца, односно прецесији равнодневничких тачака. Због промјене упадног угла мијењала се и количина Сунчевог зрачења. Он је знао за Кеплерова открића из XVII вијека, који је доказао да орбитална путања Земље око Сунца није кружница него елипса. Адемарова идеја је употребљавала овај астрономски податак о положају Земље у односу на Сунце, али није дала потпуно правилне резултате. Адемар је 1842. године објавио књигу *Периодичне поплаве – револуције мора*, у којој је изнио прву обухватнију теорију о утицају астрономских фактора на климу Земље. Сматрао је да је прецесиони циклус узрок настанка ледених доба, која се наизмјенично јављају на сјеверној и јужној Земљиној полулопти у зависности од дужине зимских периода (Imbri i Palmer Imbri 1981). Жозеф Алфонс Адемар је идеју употпунио сценаријем о катаклизмичним поплавама изазваним колапсом јужног леда и џиновским таласима нагло загријаног мора. Теорија је кратко трајала и 1852. године њемачки географ Александар фон Хумболт показао је да је претпоставка о наизмјеничном загријавању и хлађењу полулопти погрешна. Ипак, теорија није била заборављена и била је подстрек за даља размишљања. Идеје Жозефа Алфонса Адемара прихватио је и потом развио нову астрономску теорију климе Шкотланђанин Џејмс Крол, који је сматрао да тај механизам може изазвати ледено доба и о томе је објавио научну расправу 1864. године. Чланак је изазвао велику пажњу, што га је подстакло да се овим проблемом позабави још сљедећих двадесет година.

Џејмс Крол био је пионир астрономске теорије. Бавио се узроцима ледених доба и промишљањем о природним законитостима (Nenadić i Bogićević 2010). Он је 1870-их година поставио можда најзначајнију теорију у којој је уважавао спрегу промјене ексцентричности и прецесије, затим промјену нагиба Земљине осе ротације, рефлексију са површине леда и морске струје. Крол је 1875. године објавио обимно дјело *Клима и вријеме у њиховим геолошким односима*, у којем је заокружио своје погледе на узроке ледених доба, као што је то Миланковић учинио касније у *Канону*. Прихватио је идеје Жозефа Адемара и развио нову астрономску теорију климе, те заслужује истинско поштовање. Крол је користио и астрономске прорачуне Леверијеа за протеклих 100.000 година. Дакле, Џејмс Крол је први постао свјестан важности свих астрономских циклуса и њиховог утицаја на климу на Земљи. Ипак, подаци које даје Кролова теорија нису се поклопили са временима ледених доба

²² Алфонс Жозеф Адемар (*Joseph Aphonse Adhemar*, 1797–1862) – био је француски математичар и астроном.

познатим у то вријеме (Milanković 1914). Након смрти Арагоа,²³ Крол је изабран за директора Париске опсерваторије, на чијем челу је остао до смрти.

Лудвиг Пилгрим је 1905. године међу првима тачно рачунао астрономске механизме – промјене нагиба Земљине осе ротације, ексцентрицитета и прецесије у протеклих милион година, што је Миланковићу било од користи.

Јулијус фон Хан²⁴ сматрао је да се са астрономског становишта прије може очекивати да клима буде стабилна него варијабилна.

3.10.2. Канон Миланковића

Требало је да прође још пола вијека да се појави Милутин Миланковић који се суочио са најсложенијим космичким проблемом од времена Исака Њутна и успио да осмисли и математичким језиком искаже општу теорију климе планета, као и посебну теорију о утицају особина Земљиног кретања на њено осунчавање и климу. Миланковићева теорија сматра се рјешењем тајне леденог доба.

Миланковић је проучавао радове Жозефа Адемара и Џејмса Крола, чије су пионирске теорије о астрономском поријеклу леденог доба одбацили њихови савременици. Климатолози и геолози сматрали су да ледено доба настаје чак и под утицајем океана–вулкана. Они су имали поуздане геолошке податке о простирању глацијације на Алпама, али ипак нису успјели да открију основне узроке. Миланковић је тражио рјешење овог сложеног проблема у области сферне геометрије, небеске механике и теорије физике, тако да је сматрао да се метеорологија бави прикупљањем бројних емпиријских налаза, већином нумеричких података уз коришћење физике. Миланковић је искључиво тражио рјешење у примјени напредне математике.

Први Миланковићев рад, *Прилог теорији математске климе* (1912) егзактно описује садашњу климу на Земљи. Он је утврдио како Сунчеви зраци одређују температуру на површини Земље након проласка кроз атмосферу. Рад је штампан у Београду. Годину дана касније Миланковић објављује рад под називом *О распореду Сунчеве радијације на површини Земље* (1913).

²³ Доминик Францис Жан Араго (*Dominique François Jean Arago*, 1786–1853) – био је француски астроном, физичар и политичар. Бавио се магнетизмом и поларизацијом свјетлости. Име му је уписано на Ајфеловој кули.

²⁴ Јулијус Фердинанд фон Хан (*Julius Ferdinand von Hann*, 1839–1921) – био је аустријски метеоролог. Сматра се оснивачем модерне метеорологије. Студирао је математику, хемију и физику на Универзитету у Бечу. Био је директор централног института за метеорологију у Бечу, професор метеорологије у Грацу и професор космичке физике на Универзитету у Бечу.

Миланковић је тачно израчунао интензитет осунчавања и унаприједио математичку теорију описујући климатске зоне. Он је извршио прорачун осунчавања за поједине упореднике идући од полутара до Земљиних обртних полова. Милутин Миланковић је настојао да изгради интегралну математичку теорију која ће повезати топлотне услове на планетама и њиховим кретањем око Сунца. Дакле, Миланковић је инсистирао на вјековним промјенама које су у небеској механици познате као секуларне промјене елемената планетских путања. Сматрао је да се све промјене могу обухватити математичким обрасцима и успјешно пратити у прошлост и будућност. Да би нашао везу између осунчавања Земље и температура на њој, Миланковић се ослања на физичке законе по којима Сунчеви зраци допиру до Земље. Таква теорија важила би за све планете Сунчевог система и за све те далеке свјетове. Миланковић је наставио испитивати климу далеке прошлости, када су елементи Земљине путање били другачији од данашњих, и тиме је ријешило проблем ледених доба.

У раду који је објавио 20. децембра 1913. године Миланковић је нашао „математичку везу између осунчавања планета и температура њиме изазваним“ и тај проблем је ријешило. Рад је заинтересовао нобеловца Вилхема Вина и убрзо потом објављен је у часопису *Анали физике*. Од 1912. до 1914. године Миланковић је објавио шест расправа на ту тему. У принципу, Миланковић је сматрао да су метеоролози, што се тиче климе, чисти емпиричари који не користе компликоване математичке теорије. Заправо, до тада нико није умιο да створи математичку теорију климе, будући да то изискује примјену сферне астрономије, небеске механике и теоријске физике. До 1913. године није била позната ни вриједност соларне константе, без које се нису могле дати основне црте климе наше Земље.

Миланковић је, уважавајући промјену нагиба Земљине осе ротације у односу на раван еклиптике, циклус прецесије и окретање Земљине осе, „откључао“ тајну великих промјена климе у прошлости Земље. Ова кретања утичу на температурне услове планета и данас су позната као Миланковићеви циклуси.

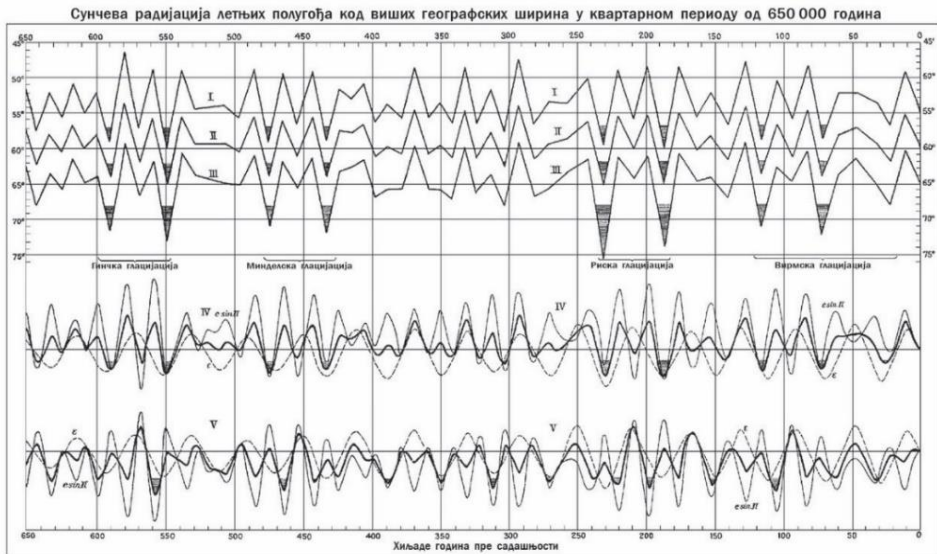
Дакле, у области палеоклиматологије – варијабилност ексцентрицитета Земље, затим нагиба њене осе ротације и прецесија, представљају три доминантна циклуса, који су данас познати као *Миланковићеви циклуси*. Миланковић је математички доказао њихов пресудан утицај на појаву и смјену ледених доба на Земљи. Секуларне промјене годишњег тока осунчавања које су посљедица промјена наведених астрономских елемената чине компликован ток осунчавања Земље, који је различит за сваку географску ширину на Земљи. Дакле, сложена комбинација 41.000-годишег циклуса нагиба осе ротације – косост (41.000), циклуса прецесије равнодневица (22.000) и циклуса

ексцентрицитета Земљине путање (105.000), утичу на интензитет термичког режима љети и зими. Ту је одговор на појаву, ширење и повлачења поларних ледника.

Миланковић је астрономску теорију климе почео постављати почетком XX вијека у малој канцеларији на Београдском универзитету. Наоружан добрим факултетским образовањем у Бечу, врло брзо је постао угледан инжењер аустроугарске престонице. Али, то није било довољно за његову амбицију, тако да је 1909. године напустио успјешну инжењерску праксу и дошао у Београд да на Универзитету предаје примијењену математику и открива неке нове свјетове.

Катедра на којој је Миланковић предавао обухватала је: сферну астрономију, небеску механику и математичку физику, таман по мјери, што је Миланковићу омогућило да се проблем дугорочних климатских промјена успјешно разријеши. Миланковић је на основу свога *Канона* постао истински великан свјетске науке који је своје дјело створио у Србији. Он је темељно проучио све претходне теорије, уочио њихове лоше и добре стране и изградио обухватну теорију климатских услова на планетама Сунчевог система, а посебно на Земљи. Тако је настала прва *Математичка климатологија*, која је повезивала осунчавање планета са промјенама климе на њима. Миланковић је на ту тему 1920. године у Паризу објавио први велики рад, који су убрзо прочитали познати њемачки климатолог Владимир Кепен и један од водећих европских геолога, астроном и геофизичар Алфред Вегенер, тада већ у брачној заједници са Кепеновом ћерком Елзом.

Сарадња са Кепеном и Вегенером увела је Миланковића у дескриптивне науке о Земљи (геологија, геофизика, метеорологија), које је он први математички повезао са егзактним наукама – небеском механиком и теоријском физиком. Владимир Кепен је сматрао да су за нагомилавање леда пресудна свјежа љета, током којих се не отопи сав снијег који напада за вријеме претходне зиме. За стварање трајног сњежног покривача типичне су географске ширине између 55. и 65. упоредника. На основу ових сазнања, Миланковић је израчунао промјене у осунчавању тих упоредника за посљедњих 600.000 година (Сл. 3.8). Своје резултате је представио у облику неправилне зупчасте линије, која је касније постала славна под називом „крива осунчавања“, у којој је Кепен распознао и дефинисао ритам ледених епоха, које су десетак година раније утврдили географи Албрехт Пенк и Едуард Брикнер. Ипак, тај ритам који је Кепен користио да би оснажио Миланковићеву теорију био је нетачан. Миланковић је сматрао да је суштина промјена у промјени геометрије орбите, која има пресудан утицај на климу.

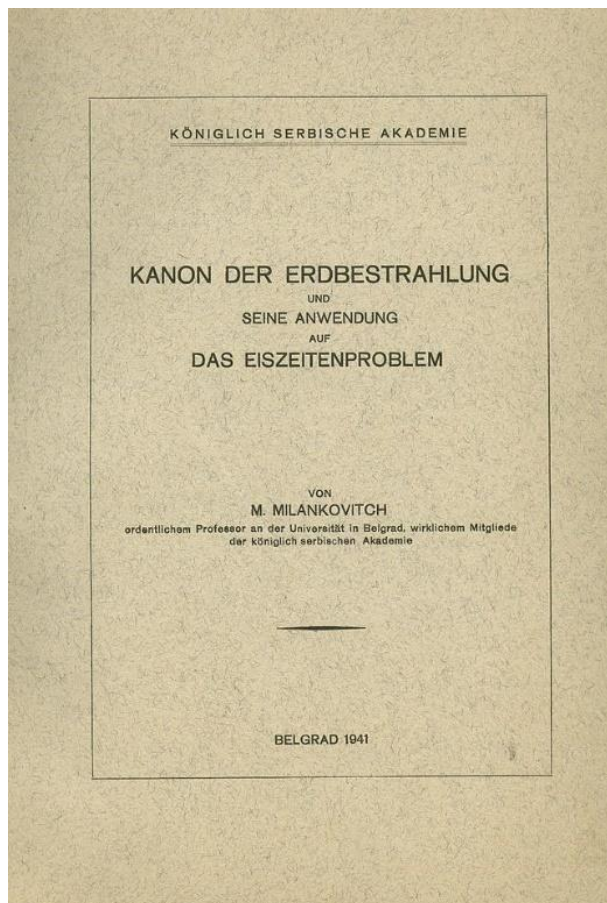


Сл. 3.8. Реконструкција Сунчевог зрачења љети на вишим географским ширинама у квартару за период од 650.000 година са означеним глацијалним периодима Гинц, Миндел, Рис и Вирм (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

Fig. 3.8. Reconstruction of solar radiation in summer at higher latitudes in the Quaternary for a period of 650,000 years with marked glacial periods Günz, Mindel, Riss, and Würm (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

Миланковић је почетком 1939. године започео рад на свом дјелу *Канон осунчавања*. У том дјелу сакупљен је његов цјелокупан дугогодишњи рад. Добијени резултати настали као плод мукотрпног, систематичног рада током тридесет мјесеци, као *Канон* предати су у штампу 2. априла 1941. године. Приликом бомбардовања Београда 6. априла 1941. године зграда штампарије срушена је до темеља. Срећа се осмјехнула Миланковићу. Том приликом су поново штампане само двије посљедње странице књиге, које су биле оштећене. *Канон* је тако спасен!

Миланковићев *Канон осунчавања Земље и његова примјена на проблем ледених доба* (*Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*) (Сл. 3.9) једно је од најзначајнијих научних дјела свјетске науке. Дјело је у издању Српске краљевске академије објављено на њемачком језику на 626 страница. Миланковић је вјеровао у приступ рада и својим математичким прорачунима, са увјерењем да ће признање ускоро стићи.



Сл. 3.9. Насловница Миланковићеве књиге *Канон осунчавања Земље и његова примјена на проблем ледених доба*, објављене 2. априла 1941. године у Београду, на њемачком језику (Математички факултет Универзитета у Београду, Удружење „Милутин Миланковић“ 20146)

Fig. 3.9. Cover of Milanković's book *Canon of Insolation and the Ice-Age Problem*, published on April 2, 1941 in Belgrade, in German (Математички факултет Универзитета у Београду, Удружење „Милутин Миланковић“ 20146)

Милутин Миланковић је знатно допринио разумијевању дугорочних климатских варијација калоријске инсолације коришћењем астрономских параметара за реконструкцију климе у прошлости. Тиме је дао врхунски допринос палеоклиматологији у схватању дугорочних климатских варијација у посљедњих милион година (Berger 2021). Према Berger (2021), Миланковићеве двије изузетне књиге, *Théorie Mathématique* из 1920. године, написана на француском, и *Kanon der Erdbestrahlung* из 1941. године, написана на њемачком

и преведена на енглески 1969. године, умногоме су допринијеле његовом међународном научном угледу.

Канон је подијељен у шест одјељака:

- 1) *Кретање планета око Сунца и узајамни поремећаји тих кретања,*
- 2) *Обртање Земље – са општим једначинама теорије обртања и њихова примјена на дневно обртање Земље, прецесију и нутацију Земљине осе,*
- 3) *Секуларна помјерања полова Земљине ротације – изнесена је Миланковићева теорија са картографским и табеларним приказима добијених резултата,*
- 4) *Осунчавање Земље и његове секуларне промјене – садржи резултате,*
- 5) *Вега између осунчавања Земље и температуре њене површине и атмосфере – принципи Миланковићеве математичке теорије климе,*
- 6) *Ледено доба, његов механизам, његово рашчлањавање и његова хронологија – резултати истраживања и библиографија.*

Канон је преведен на енглески језик 1969. године (*Canon of Insolation and the Ice-Age Problem*) (Milankovitch 1969). Други пут је објављен 1998. године под насловом *Canon of Insolation and the Ice Age Problem, With Introduction and Biographical Essay by Nikola Pantic* (Milanković 1998).

Нажалост, Миланковић није дочекао сва признања за своје епохално дјело. Коначно, пројекат под називом Клима: дугорочно истраживање, мапирање и прогнозирање (*Climate: Longrange Investigation, Mapping and Prediction, CLIMAP*) – доказује Миланковићеве циклусе осунчавања. Временску скалу климатских догађања саставили су и доказали 1972. године, за посљедњих 700.000 година, на основу дубокоморских језгара, геолози Шекелтон и Опдајк.

Четири године касније, 1976. године, Џејмс Хејс, Џон Имбри и Николас Шекелтон извели су спектралну анализу језгара и утврдили да се у протеклих 500.000 година клима мијењала у зависности од промјена ексцентрицитета, нагиба Земљине осе ротације и прецесије (Imbri i Palmer Imbri 1981). Прорачуни Милутина Миланковић из 1920. године, које су Кепен и Вегенер објавили 1924. године, били су тачни. Миланковићеви циклуси осунчавања дефинитивно су доказани 1976. године (Imbri i Palmer Imbri 1981).

Нови пројекат из 1988. године, Кооперативни пројекат мапирања холоцена (*Cooperative Holocene Mapping Project, SONMAP*), реконструисао је обрасце глобалних климатских промјена у посљедњих 18.000 година. Поново су кључну улогу имали астрономски фактори. Пројекат под називом Пројекат спектралног

мапирања (*Spectral Mapping Project*, СПЕСМАР), из 1989. године, показао је да до климатских промјена долази због промјена у Сунчевом зрачењу сваког од ова три астрономска циклуса.

3.11. Кепенова дописница као реликвија

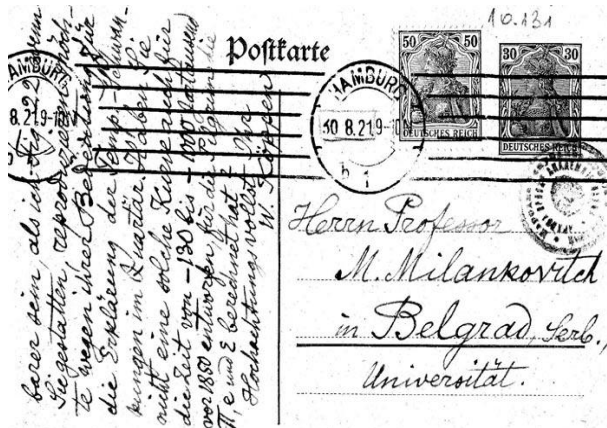
Миланковић је сматрао да су дескриптивне природне науке, геологија и географија, на основу бројних чињеница и факата обавијестиле научну јавност о просторној расподјели ледених доба, али нису биле у стању дати поуздано обавјештење о узроцима и временском току климатских промјена за вријеме квартара. Узроци тих појава били су, према мишљењу Миланковића, изван видокруга тих наука и они су искључиво космички проблем који се може ријешити само уз познавање закона којима се Земља, приликом обртања око осе и обилажења око Сунца, покорава законима планетарног система.

Први који је уочио овај проблем био је климатолог Владимир П. Кепен²⁵, који је Миланковићеву рачуницу осунчавања за посљедњих 650.000 година проучио и сматрао озбиљним научним открићем. Кепен је сугерисао Миланковићу да продужи период рачунања за ризичне упореднике од 55, 60 и 65 степени. На

²⁵ Владимир Петровић Кепен (*Wladimir Peter Köppen*, 1846–1940) – био је један од најзначајнијих географа, климатолога, метеоролога и ботаничара с краја XIX и почетка XX вијека. Најпознатији је по класификацији климата, која се широм свијета користи и данас. Његов дјед, по струци љекар, емигрирао је из Њемачке по позиву руске царице Катарине II, са задатком да побољша хигијену у руским провинцијама. Владимиров отац Петар био је истакнути руски географ, етнограф, демограф, историчар и академик Петербуршке академије наука од 1839. године и један од оснивача Руског географског друштва. Средњу школу је завршио у Симферопољу (Крим), а студије ботанике уписао је 1864. године у Санкт Петербургу. Често је са породицом путовао на релацији Крим – Санкт Петербург, гдје се бавио истраживањем и проучавањем флоре и утицаја климе на њу. Докторирао је на Универзитету у Хајделбергу 1867. године на тему утицај температуре на гајење биљака. Кепен је између 1872. и 1873. године био запослен у Руској метеоролошкој служби, да би се двије године касније вратио у Њемачку и наставио свој рад у Њемачком маринском центру за метеорологију. Био је задужен за прогнозу времена на мору и копну сјеверног дијела земље. Убрзо је отпочео експериментисање временом и метеоролошким балонима у циљу прикупљања података о стању у горњој атмосфери и истраживања је објавио 1884. године. Тај рад био је основа за климатску класификацију коју је објавио 1900. године, а коначна верзија завршена је 1936. године. Кепен је био упознат и са палеоклиматологијом, а 1924. године објавио је са својим зетом Алфредом Вегенером дјело *Клима геолошке прошлости* (*Die Klimate der Geologischen Vorzeit*), које ће Милутину Миланковићу бити основица за теорију ледених доба. Пред крај живота сарађивао је са њемачким климатологом Рудолфом Гајгером, са којим је написао петотомно дјело *Климатологија* (*Handbuch der Klimatologie*). Након његове смрти 1940. године, Гајгер је наставио рад на климатској класификацији и њеном побољшању. Владимир Кепен се залагао за употребу есперанта зарад мира у свијету.

тај начин Кепен је открио тијесну везу између секуларног тока осунчавања Земље, како га је Миланковић рачунао и кривама представио, и промјена климе на Земљи, које су доказане геолошким налазима. Кепеново мишљење било је важно, јер се радило о најутицајнијем климатологу тога времена, који је са Вегенером увидио пресудан значај астрономских фактора у појави и распореду ледених доба на Земљи.

Миланковићева преписка са Кепеном представља почетак епохалних научних подухвата. Писмена преписка између великана небеске механике Милутина Миланковића и климатолога Владимира Кепена и метеоролога и геофизичара Алфреда Вегенера побудила је интересовање научника, који су се убрзо удружили, што им је омогућило научну славу. Ова преписка је везана за њихов заједнички рад у периоду од 1919. до 1941. године, који је резултовао планетарним научним дометом. Када је Милутин Миланковић 22. септембра 1922. године добио прву дописницу од Владимира Кепена (Сл. 3.10), записао је: „Једном ће се та једноставна дописна карта, коју ја чувам као реликвију, наћи у мојој заоставштини. Карту је из Хамбурга одслао Владимир Кепен, велики немачки климатолог, а у њој је било речи о мојој тек објављеној теорији. Временом уследише једно за другим 49 писама и дописница, тако да нашу узајамну кореспонденцију чини стотину међусобних дописа” (Миланковић 2008а) (Сл. 3.11).



Сл. 3.10. Прва дописница Владимира Кепена Милутину Миланковићу (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)
Fig. 3.10. The first correspondence of Vladimir Kepen to Milutin Milanković (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

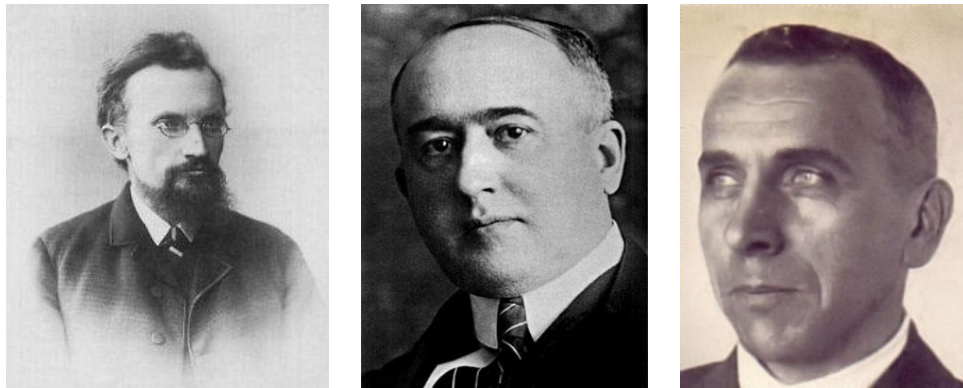
30-VIII
1922
Hamburg, Nicolstr. 7.
Sehr geehrter Herr Professor!
Erst jetzt komme ich dazu,
Ihr Buch zu studieren, das Sie so
freundlich waren, mir zu senden.
Ich bewundere ~~an~~ die Reichhaltigkeit
Wahrheit Ihrer Entwicklungen und danke
Ihnen bestens für das wertvolle Jahrbuch.
Ganz besonders interessieren mich
Ihre Berechnungen über die Säku-
lar-Änderungen der Insolation,
in denen Sie zu wesentlich anderen
Ergebnissen kommen, als Spita-
ler, weil dieser die Änderungen
der Ekliptik-Schiefe zu wenig berück-
sichtigt hat. Unbegreiflich ist mir
dabei, dass ^{die} Fig. 22, die die Insolation
des 70° N-Br. darstellt, ~~da~~ beim Sommer-
Solstitium fast identisch ist mit der
obern Hälfte von Fig. 21, die η_h für
den Parallel 48° N gibt. Für eine
Erklärung würde ich am so dank-

Сл. 3.11. Дописна карта коју је Миланковићу послао Владимир Кепен 21. септембра 1922. године из Хамбурга (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

Fig. 3.11. Correspondence card sent to Milanković by Wladimir Köppen on September 21, 1922 from Hamburg (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

Милутин Миланковић је у то вријеме интензивно радио на истраживању утицаја секуларних промјена елемената путање Земље на њено осунчавање и промјена температуре које настају на различитим географским ширинама. Објављени резултати Миланковићевих прорачуна изазвали су велику пажњу у научном свијету. То је заинтересовало чувеног климатолога и управника Поморске метеоролошке опсерваторије из Хамбурга Владимира Петровића

Кепена, који му је послао писмо и позвао га на сарадњу на њиховом дјелу *Клима Земљине прошлости*, које је почео да пише са Алфредом Вегенером²⁶ (Сл. 3.12).



Сл. 3.12. Владимир Кепен (лијево) (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.), Милутин Миланковић (у средини) (Математички институт Српске академије наука и уметности н. д.) и Алфред Вегенер (десно) (непознати аутор н. д.)

Fig. 3.12. *Wladimir Köppen (left) (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.), Milutin Milanković (in the middle) (Математички институт Српске академије наука и уметности н. д.) and Alfred Wegener (right) (Unknown photographer n. d.)*

Управо преко тог Кепеновог дјела, Миланковићеве криве су ушле у свијет науке, гдје су нашле своју примјену. Миланковић и Вегенер ће се убрзо упознати у Инзбруку 1924. године. Тако је започела сјајна сарадња и преписка, у којој су, како је то Миланковић казао, учествовали са њим „Владимир Кепен и његов зет Алфред Вегенер, две дивне научне фигуре“ (Миланковић 2008а).

Кепен је у писму Миланковићу предложио да своје дотадашње прорачуне од 130.000 година прошири на 600.000 година. Миланковић је идеју Кепена

²⁶ Алфред Вегенер (*Alfred Wegener*, 1880–1930) – био је њемачки метеоролог, бавио се астрономијом и геофизиком, а у науци је остао познат по теорији помјерања континената, која је позната као теорија Вегенера. Био је професор универзитета у Хамбургу и у Грацу. Вегенер је створио тезу по којој су континенти настали прије око 200 милиона година усљед распада једног суперконтинента Пангее. Своју теорију је јавно представио 1912. године. Савременици су оспоравали његову теорију, посебно што Вегенер није рекао шта је покренуло тај континент да се распадне. Тек средином XX вијека, када је прикупљено довољно солидних доказа, Вегенерова теорија је прихваћена. Рањен је за вријеме Првог свјетског рата, а живот је изгубио приликом једне истраживачке експедиције на Гренланду. Био је велики пријатељ и поштовалац Милутина Миланковића.

прихватио и наставио да израчунава секуларни ток осунчавања Земље на спољњој граници атмосфере за посљедњих 650.000 година за упореднике од 55, 60 и 65 степени сјеверне географске ширине, пресудне за ледена доба квартара.

Да би се резултати новог прорачуна могли цитирати у Кепеновој и Вегенеровој књизи, Миланковић их је реферисао у Српској краљевској академији 13. новембра 1922. године и потом их објавио у *Гласу Српске краљевске академије*. Миланковић је сматрао да су писма и боравци код Кепена у Грацу били од великог значаја за његов научни рад, „благодарећи двојици научника са којима ме је судбина довела у везу” (Миланковић 2008а).

Кепен је 1927. године предложио Миланковићу да му за прву свеску *Приручник из климатологије* уради поглавље о астрономској теорији и обухвати проблем ледених доба за посљедњих 600.000 година. Миланковић је прихватио позив Кепена и рукопис завршио 1930. године. Ово важно Миланковићево дјело изашло је из штампе као засебна књига на њемачком језику, под насловом *Математичка климатологија и астрономске теорије климатских промјена*, а 1939. године преведена је и на руски језик.

3.12. Потврда ледених доба

Њемачки геолог Волфганг Сергел уочио је у свом родном крају око града Вајмара трагове климатских промјена у лесу, палеолитским културама, дилувијалним наносима и помјерањима ријечног корита које су се ту одиграле за вријеме геолошке прошлости. Сергел је уочио да на тим просторима има више ледених доба него што их је претпостављала Пенкова схема у којој су назначена четири ледена доба. Свој став Сергел је изнио након анализе долине ријеке Илм, која протиче кроз његово родно мјесто и нашао доказе у терасама у сливу ријеке Сале, у коју се Илм улива. Доказао је да су све терасе настале као посљедица промјене климе, да су наноси шљунка су настали за вријеме леденог доба, а усјечи и терасе у вријеме благе климе. Сергел је утврдио чак 11 периода хладних љета и 11 периода топлих љета и резултате је објавио 1924. године, два мјесеца прије Кепен–Вегереновог дјела, у коме су први пут саопштени Миланковићеви резултати. Волфганг Сергел није знао за саопштене резултате и због тога је био изненађен када је увидио потпуно подударане са Миланковићевом кривом осунчавања објављеној у Кепен–Вегенеровом дјелу. Превлачењем двије криве, по Кепеновом тумачењу, прва два зупца криве осунчавања су ледена доба Гинца, друга два Риса и наредна три ледена доба Вирма (Миланковић 2008б). Сви упади хладноће оставили су трага на терасама ријеке Илм, док је сљедећа два Сергел означио „Пре-Рис

и Пре-Вирм”. Дакле, ријека Илм је својим терасама регистровала све значајне замахе криве осунчавања.

Волфганг Сергел се у дјелу *Рашчлањавање и апсолутна хронологија леденог доба* огласио тим поводом 1925. године. „Ретко када су”, како је Сергел рекао, „два покушаја решења једног проблема, изведена независно један од другог...”, и то потпуно различитим методама, „дала тако подударне резултате” (Миланковић 2008а). Сергел је 1938. године објавио монографију *Ледено доба*, у којој је, на основу Миланковићеве криве осунчавања, одредио када је живио хајделбершки праčovјек.

У исто доба када је Сергел започео испитивања, и Бартел Еберл је вршио истраживања у сливу Дунава код Улма, на мјесту гдје се ријеке Лех и Илер уливају у Дунав (Миланковић 2008б). Еберл је испитао трагове глацијације, морене, ријечне наносе, терасе и картографски их представио у размјери 1 : 250.000. Он је добио зупчасту криву која је показивала још више захлађења него што је констатовао Миланковић, јер је он обухватио интервал од 650.000 година и ушао у период прије прве фазе Гинцовог леденог доба, констатујући још неколико упада ледених доба. Еберл се обратио Кепену, а он Миланковићу 1926. године, коме је казао за Еберлове резултате и предложио му да обрачуна резултате за милион година и пошаље их Бартелу Еберлу. Рачун је показао још пет упада хладноће, а то је одговарало оном што је независно утврдио Еберл, који је истраживао редослијед глацијације у сјеверном предгорју Алпа. Еберл је своје резултате објавио 1930. године у књизи на 440 страна, гдје су репродуковане Миланковићеве криве осунчавања за интервал од милион година.

Миланковићева полазна претпоставка била је да клима зависи од количине Сунчевог зрачења коју примају различити дијелови Земљине лопте, а да количина зрачења зависи од растојања Земље до Сунца и положаја Земље у простору, укључујући нагиб осе ротације. Користећи математичке прорачуне њемачког астронома Лудвика Пилгрима о орбиталним параметрима које је он изнио за протеклих милион година, Миланковић је утврдио три основна елемента који се периодично мијењају кроз геолошку историју планете Земље: периодична промјена положаја Земљине осе (прецесија) од 19.000 до 23.000 година, периодична промјена нагиба еклиптике од 41.000 година и периодична промјена ексцентрицитета орбите од 100.000 година. Промјене ових елемената Миланковић доводи у везу са промјеном климе.

3.13. Кепен и Вегенер

Прву примјену Миланковићеве криве осунчавања имали су Кепен и Вегенер. Постављало се питање да ли је осунчавање на Земљи било само по себи довољно да изазове велике климатске промјене које су се десиле у вријеме квартера. Због тога је била потребна веза између осунчавања Земље и климатских промјена. Миланковић је проблем објаснио у дјелу *Математичка климатологија*, али је остао проблем висинске границе леда и осунчавања уоченог предјела. Миланковић је сматрао да је висински положај границе вјечног снијега у функцији географске ширине. Потом је Кепен на основу података о положају границе вјечног снијега израдио графички дијаграм средњег висинског положаја вјечног снијега на различитим географским ширинама Земљине површине. Ова размишљања Миланковић затвара са уважавањем рефлексије сњижних површина, које имају велику способност албеда, тако да у интерпланетарни простор враћају знатан дио топлоте. Тај мањак топлоте се рачуна и доводи у везу са „његовим примарним узроком, секуларним током осунчавања Земље“ (Миланковић 2008б).

О топлотној рефлексији снијега и леда рачуницу је изнио Жозеф Девоа, који је рачун изводио на примјеру ледника Пиринеја, Алпа и Гренланда. То је оно што је било потребно Миланковићу за рачунање, а што је била корисна допуна расправа које су садржале *Нове резултате астрономске теорије климатских промена*, објављене 1937. и 1938. године у *Гласу и Билтену Српске краљевске академије*.

3.14. Миланковић и Вегенер

Миланковић је присуствовао Вегенеровом предавању које је он изложио у Инзбруку на тему *Климате Земљине прошлости* и тада се први пут упознао са њим. Вегенер је поред Кепена био је један од првих научника који је прихватио Миланковићеву теорију осунчавања и афирмативно говорио о њој са посебним осјећајем поштовања. Миланковић је Вегенера цијенио и недвосмислено исказао велику приврженост и бескрајно поштовање према свом дугогодишњем колеги, сараднику, а касније и пријатељу. Тај сусрет са Вегенером отворио је још једно важно питање које је било непознато у науци и односило се на теорију помјерања Земљиних полова.

Наиме, Вегенер је 1910. године изашао у научни свијет са теоријом помјерања континената. Сматрао је да су у геолошкој прошлости Земље континенти образовали један праконтинент Пангеу, а затим се раздвојили заузимајући

садашњи положај, не мијењајући га према половима Земље, па самим тим не мијењајући ни распоред климатских зона. За вријеме тих процеса оса ротације Земље није битно мијењала свој положај у односу на раван еклиптике по којој се Земља креће кружећи око своје осе и око Сунца.

Миланковић је дошао на идеју да континенти „плове“ на флуидној подлози и да на положај континенталних маса, у односу на осу ротације, утичу центрифугалне силе инерције, које могу избацити Земљину осу из равнотеже и натјерати је да се креће. Вегенерова трагедија је мотивисала Миланковића да истраје у рјешавању проблема помјерања полова и у томе је успио.

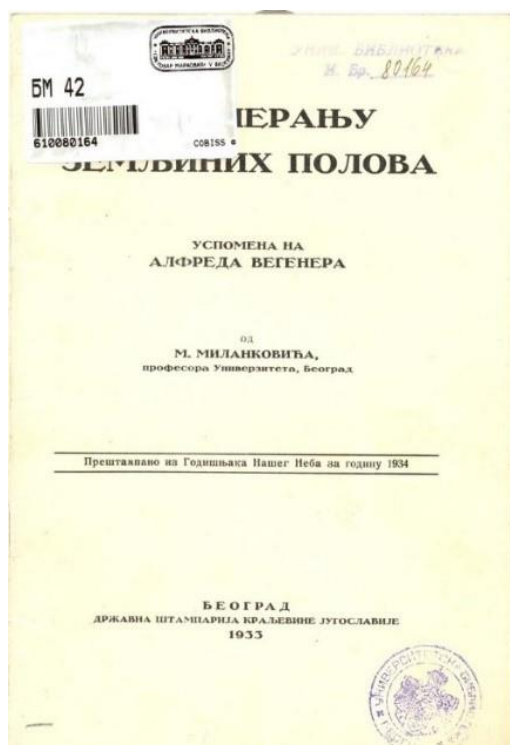
Убрзани развој науке, а тиме и глобалне тектонике, у другој половини XX вијека дао је нова сазнања и објаснио механизам кретања континената. Миланковић овај процес објашњава на свој начин. Магма која се излива из дубине Земље претвара се у стијене, које потискују старије стијене према континентима, који се лагано подвлаче под континенте потискујући их. Тако континенти заједно са дијелом горњег омотача Земље практично плове по његовом флуидном дијелу. Тиме је доказано да се полови Земље не помјерају, него да континенти, који се крећу по површини Земљине лопте, мијењају положај у односу на полове.

Године 1927. Миланковић од Кепена добија позиве за сарадњу, а убрзо затим и од Гутенберга за писање рада из одређене области у приручнику из геофизике, из области за коју је он стручњак. Након прибављања потребне литературе у Берлину, Миланковић се прихвата велике обавезе и испуњавања обећања датог обојци колега. У току 1928. године успоставља сарадњу и са геофизичаром Беном Гутенбергом²⁷, професором Универзитета у Пасадени. За Гутенбергов *Приручник геофизике* пише четири дијела: *Положај и кретање Земље у васиони*, *Ротациона кретања Земље*, *Секуларна помјерања полова* и *Астрономска средства за проучавање климе у току историје Земље*.

Дошавши у Грац 1930. године Миланковић не затиче Вегенера, који је управо тада јавио да је стигао на Гренланд. Међутим, тамо је изгубио живот под необичним околностима. Због чврстог пријатељства са покојним Алфредом Вегенером, који му је са професором Беном Гутенбергом из Пасадење сугерисао да се посвети феномену помјерања полова ротације, Миланковић је био мотивисан да докаже путању кретања полова у прошлости. То је био сложен задатак, који је он ипак успио да ријешити. Полазна тачка је била у чињеници да Земља као цјелина има у основи особине флуидних тијела, која

²⁷ Бено Гутенберг (*Beno Gutenberg*, 1889–1960) – био је њемачко-амерички геофизичар и сеизмолог који је дао неколико значајних доприноса у науци. Био је колега и ментор Чарлса Рихтера на Калифорнијском институту и његов сарадник на развоју Рихтерове скале магнитуде за мјерење јачине земљотреса.

под дејством гравитационих и центрифугалних сила има облик спљоштеног елипсоида, који је она добила у вријеме када се налазила у првобитном флуидном стању, које је задржала до данас. Подстакнут успоменом на Алфреда Вегенера, Миланковић је 31. марта 1932. године урадио и послао манускрипт рада *Секуларно померање полова*, који је урадио уз помоћ колега, професора Билимовића и Жардецког. У раду открива механизам помјерања полова и проналази једначине њихове путање, те га шаље геофизичару Бену Гутенбергу. Гутенберг је одмах дао рад у штампу, што је у научном свијету изазвало велико интересовање (Миланковић 2008а). Књигу *О померању Земљиних полова* Миланковић је објавио у Београду 1933. године и посветио је успомени на Алфреда Вегенера (Сл. 3.13). Миланковићев *Приручник* садржао је 200 страна текста (Миланковић 2008б). Он је дорадио своју теорију и 1933. године објавио је под насловом *Нумеричко израчунавање секуларних путања Земљиних полова*, на српском и њемачком језику, у *Гласу и Билтену Српске краљевске академије*.



Сл. 3.13. Насловница Миланковићеве књиге *О померању Земљиних полова* (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

Fig. 3.13. Cover of Milanković's book *Secular wanderings of the rotational poles of the Earth* (Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ н. д.)

3.15. Миланковићев допринос науци

Милутин Миланковић се у геофизици сматра за коаутора теорије тектонских плоча, и то на основу рада *Померање Земљиних обртних полова*. Треба поменути да је Миланковић аутор или коаутор осам патената, које је у периоду 1905–1933. године регистровао у различитим државама. Милутин Миланковић је дао немјерљив допринос науци:

- *Канон осунчавања Земље* важи за све планете Сунчевог система;
- теоријско објашњење дуготрајних климатских промјена на Земљи узрокованих астрономским промјенама њеног положаја у односу на Сунце, што је познато као Миланковићеви циклуси који објашњавају појаву ледених доба током геолошке прошлости Земље, као и климатске промјене на Земљи које се могу очекивати у будућности;
- поставио је темеље планетарној климатологији, израчунавањем температурних услова у горњим слојевима Земљине атмосфере, на планетама унутрашњег Сунчевог система (Меркуру, Венери и Марсу), као и на Земљином природном сателиту – Мјесецу;
- Миланковића у геофизици сматрају коаутором теорије тектонских плоча – овај научни домет је представио у публикацијама *Теорија о померању Земљиних полова* и *Померање Земљиних обртних полова*;
- Миланковић је реформатор календара – он је израдио до сада најпрецизнији календар, који је познат као Миланковићев календар (Миланковић 1923).

На свом кључном дјелу *Канон осунчавања Земље* Миланковић је радио 25 година. *Канон* се не тиче једне науке, него је у основи математичка подлога, али и рационална механика, небеска механика, термодинамика, оптика и динамичка метеорологија (Томић 1999).

3.16. Џејмс Џим Хед III и Андре Берже

У организацији Српске академије наука и уметности (САНУ), у септембру 2004. године, организован је симпозијум посвећен 125-годишњици од рођења Милутина Миланковића (*Milutin Milankovic Anniversary Symposium: Paleoclimate and the Earth's Climate System, August 30–September 2, 2004, Belgrade, Serbia and Montenegro*). Учесници су на крају имали екскурзију, током које су обилазили Фрушку гору и Нови Сад, у који нису могли прећи преко моста код Каменице јер је био срушен приликом НАТО-бомбардовања. По повратку са екскурзије имали су пријем у Белом двору код принца Александра II Карађорђевића (Сл. 3.14), гдје се приликом свечаног пријема

један од учесника симпозијума, под утиском срушеног Каменичког моста у Новом Саду преко Дунава, извинио због варварског бомбардовања Србије 1999. године и казао да иза таквог геста не стоји народ Америке. Био је то Џејмс Џим Хед III (*James Jim W. Head III*) (Сл. 3.15), угледни професор Браун универзитета у Провиденсу, у Роуд Ајленду (САД), професор геолошких наука, који се бави проучавањем процеса формирања површине литосфере на планетама.



Сл. 3.14. Бели двор у Београду. Учесници научног скупа који је САНУ организовала 2004. године у част Милутина Миланковића, били су гости принца Александра II Карађорђевића и принцезе Катарине. Стрелица здесна налијево: Андре Берже, Џим Хед III и Милован Р. Пецељ. (Фото Пецељ МР 2004)

Fig. 3.14. Beli dvor in Belgrade. Participants in the scientific symposium organized by SANU in 2004 in honor of Milutin Milanković were guests of Prince Alexander II Karađorđević and Princess Katherine. Arrow from right to the left: Andre Berge, Jim Head III and Milovan R. Pecelj (Photo Pecelj MR 2004)

Говорио је да се бави геологијом и да пише књигу о клими Марса ослањајући се на Миланковићеву теорију, према коме је изражавао велико поштовање. Године 1968. придружио се свемирском програму Аполо како би помогао да се оствари сан председника Кенедија о слању људи на Мјесец: „Наш посао

је да мислимо на наш пут до Мјесеца и назад.“ То је чувених дванест ријечи које су промијениле ток каријере професора Џима Хеда III.

Као угледни геолог анализирао је потенцијална мјеста слијетања Апола. Проучавао је Мјесечеве узорке и податке и пружао обуку астронаута Апола. Од научног интереса професора Хеда III је упоредна планетологија, као и теме планетарне еволуције и њихова примјена у проучавању историје ране Земље. Он је истраживач вулканизма, тектонизма и глацијације на активним вулканима, затим и на вулканским наслагама на морском дну.



Сл. 3.15. Џим Хед III (NASA 2008)

Fig. 3.15. Jim Head III (NASA 2008)

Један од оних научника и поштовалаца Милутина Миланковића, који има покриће из домена астрономске теорије и палеоклиматологије, јесте белгијски научник и професор универзитета Андре Берже.²⁸ Као угледан научник на пољу палеоклиматологије учествовао је седамдесетих година XX вијека у обнови и промовисању астрономске теорије палеоклиме, познате као

²⁸ Андре Берже (*André Berger*, 1942–) редовни је професор метеорологије и динамике климе (1989) на Католичком универзитету Лувен и директор Института за астрономију и геофизику „Жорж Леметр“ (*Georges Lemaître*) на Католичком универзитету Лувен (1978–2001), затим гостујући професор на Врије Универзитету у Бриселу (*Vrije Universiteit Brussel*) (1982–1993). Иностранци је члан САНУ (2006), затим Европске академије (1989), Холандске академије (1997), Краљевске академије Белгије (2002), Француске академије наука (2003), Краљевског астрономског друштва – Лондон (2003), Краљевске академије наука, књижевности и умјетности Белгије (2004) и Академије наука Краљевског друштва Канаде (2007). Члан је Европског геофизичког друштва (предсједник 2000–2002), Међународног института за науку, Америчке геофизичке уније, Европске уније геонаука, Свјетске асоцијације научника „Еторе Мајорана“ (*Ettore Majorana*), Асоцијације климатолога Европе и Друштва метеоролога Француске.

Миланковићева теорија. Његово главно истраживање односи се на моделирање климатских промјена у прошлости. Пружио је прво прецизно израчунавање дугорочне варијације Земљиних орбиталних параметара за палеоклиматске студије током посљедњих милион година. Овај прорачун је успјешно упоређен са геолошким подацима из различитих извора, а касније је проширен како би се обезбиједили прецизни параметри за климатске симулације током посљедњих пет милиона година. То сада служи као основа за већину палеоклиматских реконструкција или симулација. Берже је допринио астрономској теорији палеоклимата који објашњавају рецидив глацијално–интерглацијалних циклуса из дугорочних варијација Земљине орбите око Сунца. Проширио је ране Миланковићеве радове и по први пут израчунао дугорочне варијације дневних, мјесечних и сезонских осунчавања (Berger 1978; Berger and Loutre 1991). Показао је да, за разлику од калоричног сезонског осунчавања Миланковића, дневна инсолација варира са много већом амплитудом и да спектрална структура његових параметара осунчавања садржи много више информација. Показао је да је дневна инсолација углавном функција прецесије свуда на Земљи (за разлику од калоричне инсолације Миланковића) и да укупна количина енергије примљене током сезоне зависи само од нагиба (Berger et al. 2010).

Берже је добитник медаље Милутин Миланковић из 1993. године, коју му је додијелило Европско геофизичко друштво, у оквиру Секције за океане и атмосферу. Медаља се додјељује научницима за изузетна истраживања у области дугорочних климатских промјена и моделирања.²⁹

Редовно учествује на симпозијумима које организује САНУ у поводу јубиларних годишњица посвећених Милутину Миланковићу. Тако је учествовао и на горепоменутом симпозијуму *Палеоклима и климатски систем Земље*, посвећеном 125-годишњици од рођења Милутина Миланковића, са саопштењем о палеоклими и Земаљском климатском систему (Berger et al. 2005). Приликом боравка на једном од међународних симпозијума под називом *Промена климе Земље: Стање науке и последице*, одржаног у Београду 2017. године у организацији САНУ, обишао је родну кућу Миланковића у Даљу, гдје су направљене фотографије (Сл. 3.16).

²⁹ Медаља Милутина Миланковића (*The Milutin Milankovic Medal*) годишња је награда из области геонаука коју је 1993. године установило Европско геофизичко друштво (*European Geophysical Society, EGS*), у оквиру Секције за океане и атмосферу. Додјељује се као признање за научна и уређивачка достигнућа. Од 2003. године награду додјељује Европска унија геонаука (*European Geosciences Union, EGU*), Одјељење за климу: прошлост, садашњост и будућност. Медаља се додјељује научницима за изузетна истраживања у области дугорочних климатских промјена и моделирања.



Сл. 3.16. Андре Берже поред бисте М. Миланковића у Даљу (лијево) и Милица Пецељ и Андре Берже у спомен-соби Миланковића у Даљу (десно) (Фото Пецељ ММ 2017)

Fig. 3.16. André Berger next to the bust of Milanković in Dalj (left) and Milica Pecelj and Andre Berže in the Milanković Memorial Room in Dalj (right) (Photo Pecelj MM 2017)

3.17. Епилог

Документ који је нађен у Архиву Србије у досјеу Министарства просвете јарко говори како су се нове власти односиле према Милутину Миланковићу. Документ је заведен под бројем Г–183, М–XXX–43 (Сл. 3.17).

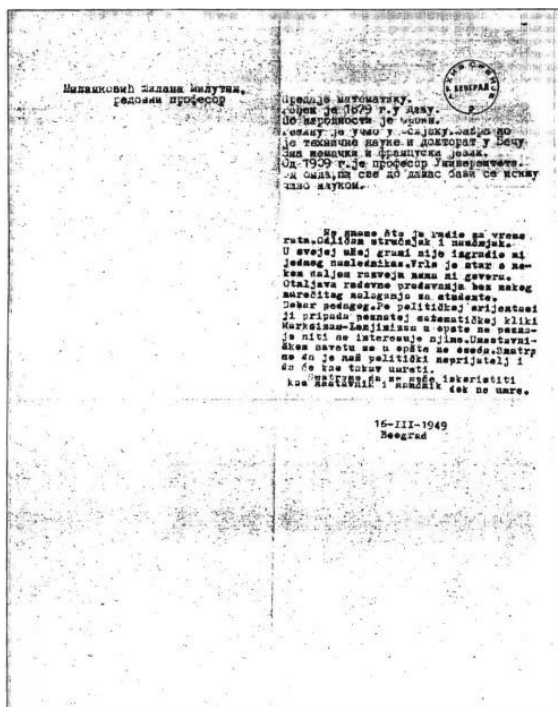
Текст документа гласи:

„Миланковић Милана Милутин – Редовни професор. Предаје математику. Рођен 1879. г. у Даљу. По народности је Србин. Реалку је учио у Осијеку. Завршио је факултет техничких наука и докторат у Бечу. Зна немачки и француски језик. Од 1909. г. је професор Универзитета. Од онда, па све до данас бави се искључиво науком. Не знамо шта је радио за време рата. Одличан је стручњак и научњак. У својој ужој грани није изградио ни једног наследника. Врло је стар. О неком даљем развоју нема ни говора. Отаљава редовно предавања без неког нарочитог залагања за студенте. Дobar педагог. По политичкој оријентацији припада познатој математичкој клици.

Марксизам—Лењинизам уопште не познаје нити се интересује њиме. У наставничком савету се у опште не осећа. Сматрамо да је наш политички непријатељ и да ће као такав умрети. Сматрамо да се може искористити као наставник и научник док не умре.

16 – III – 1949.

Београд“ (Миловановић и Поповић 1999).



Сл. 3.17. Извјештај Министарства просвете о подобности Миланковића (Миловановић и Поповић 1999)

Fig. 3.17. Report of the Ministry of Education on the suitability of Milanković (Миловановић и Поповић 1999)

Умјесто да се власти Миланковићевом епохалном дјелу поклоне, оне га проглашавају политичким непријатељем земље, у коју је дошао напустивши Беч као успјешан инжењер, пред којим је била сјајна градитељска каријера. Похитао је у Србију међу свој народ, који му није могао више дати. Правда је задовољена, јер га данас тај народ сврстава у ред планетарних великана. Миланковић је преминуо, а да није знао за истраживање тадашњих власти о његовој подобности. Један је Миланковић.

Литература

- Berger A (1978) Long-Term Variations of Daily Insolation and Quaternary Climatic Changes. *Journal of Atmospheric Science* 35(12):2362–2367
- Berger A, Loutre MF (1991) Insolation Values for the Climate of the Last 10 Million Years. *Quaternary Science Reviews* 10(4):297–317
- Berger A (ed) (1995) *Milutin Milankovic 1879–1958 (From His Autobiography with Comments by His Son, Vasko and a Preface by André Berger)*. European Geophysical Society, Katlenberg-Lindau, pp 139
- Berger A, Ercegovac M, Mesinger F (eds) (2005) *Paleoclimate and the Earth Climate System: Invited Lectures, Milutin Milankovitch Anniversary Symposium*. Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, pp 190
- Berger A, Loutre MF, Yin QZ (2010) Total Irradiation During the Interval of the Year Using Elliptical Integrals. *Quaternary Science Reviews* 29(17–18):1968–1982. doi.10.1016/j.quascirev.2010.05.007
- Berger A (2021) Milankovitch, the Father of Paleoclimate Modelling. *Climate of the Past* 17(4):1727–1733. doi.10.5194/cp-17-1727-2021
- Википедија (2022) Милутин Миланковић. Доступно на: <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/>, Приступљено: 11. јануар 2022
- Вујевић П (1928) Едуард Брикнер. *Гласник Српског географског друштва* 14:187–189
- Дучић Ј (2008) Стаза поред пута. Штампариија „Макарије”, Блиц, Београд, стр 270
- Imbri Dž, Palmer Imbri K (1981) *Ledeno doba – rešenje tajne*. Nolit, Beograd, str 217
- Löwenheim L (1914) *Die Wissenschaft Demokrits und ihr Einfluss auf die moderne Naturwissenschaft*. Leonhard Simion, Berlin, s 244
- Математички институт Српске академије наука и уметности (н. д.) Математички институт САНУ. Доступно на: http://www.mi.sanu.ac.rs/novi_sajt/rs/, Приступљено: 13. март 2022
- Математички факултет Универзитета у Београду Удружење „Milutin Milanković“ (2012) *Milutin Milanković Digitalni legat*. Доступно на: <http://legati.matf.bg.ac.rs/milankovic/papers.waf1>, Приступљено: 20. март 2021
- Математички факултет Универзитета у Београду, Удружење „Milutin Milanković“ (2014a) *Kroz vasionu i vekove*. Milutin Milanković Digitalni legat. Доступно на: http://legati.matf.bg.ac.rs/milankovic/book.waf1?c=Null&book=kroz_vasionu_i_vekove, Приступљено: 20. јун 2022
- Математички факултет Универзитета у Београду, Удружење „Milutin Milanković“ (2014b) *Kanon der Erdbestrahlung*. Milutin Milanković Digitalni legat. Доступно на: http://legati.matf.bg.ac.rs/milankovic/book.waf1?c=Null&book=kanon_der_erd_bestrahlung, Приступљено: 20. јун 2022
- Milanković M (1914) *O pitanju astronomskih teorija ledenih doba*. Tisak dioničke tiskare, Zagreb, str 150
- Миланковић М (1923) *Реформа Јулијанског календара*. Српска Краљевска академија научника и уметника, Београд, стр 52

- Milankovitch M (1941) *Kanon der erdbestrahlung und seine anwendung auf das eiszeitenproblem*. Königlich Serbische Akademie, Belgrad, s 546
- Milankovitch M (1969) *Canon of Insolation and the Ice-Age Problem* (Series Section of Mathematical and Natural Sciences, 33, Special Publications, 132). Israel Program for Scientific Translations (IPST), Jerusalem, pp 484
- Миланковић М (1997а) Кроз васиону и векове – Кроз царство наука (Изабрана дела, Књига 4). Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, стр 491
- Миланковић М (1997б) Успомене, доживљаји и сазнања (Изабрана дела, Књига 7). Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, стр 934
- Milanković M (1998) *Canon of Insolation and the Ice Age Problem, With introduction and Biographical Essay by Nikola Pantic*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, pp 634
- Миланковић М (2008а) Кроз васиону и векове. Дерета, Београд, стр 400
- Миланковић М (2008б) Сећања. Дерета, Београд, стр 525
- Миланковић М (2008в) Кроз царство науке. Београд, Дерета, стр 400
- Миловановић Б, Радовановић М, Станојевић Г, Пецељ М, Николић Ј (2017) *Клима Србије*. У: Радовановић М (уредник) *Географија Србије*, стр 94–156. Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ
- Миловановић НД, Поповић ЛЧ (1999) О једном документу из 1949. године. Симпозијум „Миланковић – јуче, данас, сутра“, поводом 120 година од рођења Миланковића и 90 година од доласка на Београдски универзитет, 25. – 26. новембар 1999, Београд, Рударско-геолошки факултет, САНУ, Зборник, стр 122–124
- Miš Matematika i škola, časopis za nastavu matematike (2009) Vladimir Varićak (1865.–1942.) Доступно на: <https://mis.element.hr/fajli/563/09-07.pdf>, Приступљено: 13. јануар 2021
- NASA (2008) *Head Uses Apollo Days as Springboard to Planetary Geology Fascination*. Доступно на: https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_colloquiumhead.html, Приступљено: 20. јун 2022
- Nenadić D, Bogičević K (2010) Džejms Krol (1821–1890), pionir astronomske teorije o uzrocima ledenih doba. *Phlogiston* 71–81
- Penck A, Brückner E (1909) *Die Alpen im Eiszeitalter*. Tauchnitz, Leipzig, s 1170
- Pecelj M, Pecelj MR, Mandić D, Pecelj J, Milinčić M, Tošić D (2010a) *Informational Technology in Bioclimate Analysis of Banja Luka for Tourism Recreation*. The 9th WSEAS International Conference on Telecommunication and Informatics, May 29 – 31, 2010, Sicily, WSEAS, Book of Preceedings, pp 35–39
- Pecelj M, Pecelj MR, Mandić D, Pecelj J, Vujadinović S, Šećerov V, Šabić D, Gajić M, Milinčić M (2010б) *Bioclimatic Assessment of Weather Condition for Recreation in Health Resorts*. The 8th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, December 28 – 30, 2010, Athens, WSEAS, Book of Preceedings, pp 211–214
- Pecelj MR, Pecelj MM, Mandić D, Pecelj J, Lukić B, Filipović D (2010в) *Informational Technology in Bioclimate Analysis of Višegrad for Health Spa Tourism*. The 7th

- WSEAS International Conference on Engineering Education, July 22 – 24, 2010, Corfu Island, WSEAS, Book of Preceedings, pp 322–332
- Pecelj M, Pecelj M, Cutovic M, Pavlovic M, Zivkovic D, Zivkovic L, Vujadinovic S, Pecelj J, Gajic M, Mandic D (2011) Bioclimate Weather Classification of Doboј for Helth Spa Tourism. The 10th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 20 – 22, 2011, Cambridge, WSEAS, Book of Proceedings, pp 292–296
- Pecelj M, Trbić G, Pecelj MR (2013) Biothermal Condition Based on the Bioclimatic Index Heat Load. The 7th WSEAS International Conference on Waste Management, Water Pollution, Indoor Climate, March 20 – 22, 2013, Limasol, WSEAS, Book of Proceedings, pp 250–254
- Pecelj M, Lukić M, Filipović D, Protić B, Bogdanović U (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. Natural Hazards and Earth System Sciences 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Pecelj M, Matzarakis A, Vujadinović M, Radovanović M, Vagić N, Đurić D, Cvetkovic M (2021) Temporal Analysis of Urban-Suburban PET, mPET and UTCI Indices in Belgrade (Serbia). Atmosphere 12(7):916. doi.10.3390/atmos12070916
- Пецељ МР (2000) Климатске промјене и ефекат стаклене баште. Републички педагошки завод, Бања Лука, стр 90
- Pecelj MR, Milinčić M, Pecelj MM (2007) Bioklimatska i ekoklimatska istraživanja— pravci razvoja. Glasnik Srpskog geografskog društva 87(2):199–210
- Пецељ МР (2010) Јевто Дедијер – живот и дело. Географски факултет Универзитет у Београду, Природно-математички факултет Универзитета у Бањој Луци, Београд–Бања Лука, стр 502
- Stanković S (2001) Written Word of Pavle M Vujević. Collection of Papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade 69:79–101
- Томић М (1999) Успомене на Миланковића. Симпозијум „Миланковић – јуче, данас, сутра“, поводом 120 година од рођења Миланковића и 90 година од доласка на Београдски универзитет, 25. – 26. новембар 1999, Београд, Рударско-геолошки факултет, САНУ, Зборник, стр 13–16
- Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ (2014) Milutin Milankovic – World Famous Scientist from Belgrade University, Virtual Exhibition. Доступно на: http://arhiva.unilib.rs/unilib/eng/about_us/exhibitions/milankovic_virtual/1914.php, Приступљено: 13. март 2021
- Универзитетска библиотека „Светозар Марковић“ (н. д.) Изложбе. Доступно на: http://arhiva.unilib.rs/unilib/o_nama/izlozbe/arhiva/index.php, Приступљено: 12. април 2021
- Wikipedia (2010) Rodna kuća Milutina Milankovića. Доступно на: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Rodna_ku%C4%87a_Milutina_Milankovi%C4%87a.jpg, Приступљено: 11. јануар 2022

Milutin Milanković – Life Journey and Search for Climate Change in the Past

Milovan Pecelj, Milica Pecelj, Svetozar Koljević

Summary

Those scientists who have had the opportunity to rejoice in their scientific achievements during their lifetime are really rare. The law of Milutin Milanković called *The canon of Insolation*, waited for almost half a century for its scientific credibility to be confirmed and accepted by the scientific community. As a polished Viennese engineer, famous with new methods in construction, he rejected the invitation of the University of Vienna and University of Zagreb to become a professor there but accepted the invitation of the University of Belgrade for ten times less salary. The famous law of Milanković's canon was made in a small office at the University of Belgrade with pen and paper. The canon was accidentally left undamaged during the bombing of Belgrade in 1941.

It is difficult to find any unknowns about his life and work. Several lesser-known sequences from his life, broad education, lordship, modesty and patriotism, and the author's meetings with eminent professors Hed III and Berger, who made a significant contribution to Milanković's theory becoming a planetary law, ranking him among the greats such as Tesla and Pupin.

Keywords: Milutin Milanković, Tonka, *The Canon of Insolation*, Ice age, Calendar, Dalj, Vienna, Belgrade University

Утицај савремених климатских промјена на биљни свијет

Татјана Попов

Сажетак: Климатски услови имају кључну улогу у одвијању основних процеса биљака (фото-синтезе, дисања, раста и развоја), њиховог сезонског циклуса, те у одређивању граница распрострањења. Клима има велики утицај како на биљне јединке, популације и врсте, тако и на њихове заједнице, екосистеме и биогеографију. Због тога посљедњих деценија расте забринутост због могућих утицаја глобалних климатских промјена на биљни свијет.

У раду се даје преглед уочених климатских промјена у свијету, првенствено промјена атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште, температуре ваздуха (глобално загријавање), режима падавина и екстремних временских и климатских догађаја. Затим се анализирају уочени утицаји савремених климатских промјена на биљни свијет, прије свега утицаји на физиологију, фенологију и распрострањење биљних врста, те на биљне заједнице и екосистеме.

Резултати многобројних истраживања у свијету доказују да су савремене климатске промјене довеле до знатних промјена области распрострањења – ареала (помјерање ка вишим географским ширинама и према вишим надморским висинама), физиологије (побољшање стопе фото-синтезе и

Цитирање: Попов Т (2023) Утицај савремених климатских промјена на биљни свијет. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:131–271

Cite as: Popov T (2023) The Impact of Recent Climate Change on Plants. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:131–271

ефикасности употребе воде, смањивање стаматалне проводљивости и повећање нето примарне производње екосистема) и сезонског циклуса биљака – фенологије (ранији почетак вегетационог периода и раније јављање фенофаза у прољеће и љето и одлагање јесењих фенофаза којима се завршава вегетациони период, те као посљедица наведених промјена продужавање вегетационог периода у многим подручјима), као и да су промијењени климатски услови већ довели до измјена биљних заједница (кроз промјене састава заједнице и измијењене интеракције између врста попут опрашивања, конкуренције, предаторства, паразитизма, преношења болести, ланаца исхране и др.) и локалног изумирања одређених биљних врста.

Кључне ријечи: Климатске промјене, гасови са ефектом стаклене баште, глобално загријавање, режим падавина, екстремни временски и климатски догађаји, биљни свијет, физиологија, фенологија, ареал, интеракције, изумирање

4.1. Увод

Климатски услови попут температуре, падавина, влажности, инсолације и вјетра имају кључну улогу у одвијању физиолошких процеса биљака и фенофаза у животном циклусу биљака, те у одређивању граница распрострањења биљних врста и њихових заједница (Попов 2020). Брзе антропогене климатске промјене утичу на биљни свијет и екосистеме у цјелини кроз промјене средњих климатских услова и промјене варијабилности климатских екстрема (Malhi et al. 2020).

Савремене антропогене климатске промјене постају доминантна пријетња за биљни свијет и екосистеме током посљедњих неколико деценија, утичући на биодиверзитет Земље промјеном распрострањења врста, промјеном њихове бројности, премјештањем биљних заједница и измјеном њиховог састава, реструктурирањем прехранбених мрежа, као и трансформацијом појединих функција екосистема (Pörtner et al. 2021).

Климатске промјене утичу на биљне врсте на различитим скалама од гена и индивидуа до популација, док на нивоу станишта и екосистема доводе до промјена интеракција међу врстама (на примјер, конкуренције, предаторства, паразитизма, опрашивања или преношења болести), састава заједница, функција екосистема и структуре екосистема (Pörtner et al. 2021).

Многе копнене и водене биљке већ су реаговале на климатске промјене помјерањем области распрострањења по надморској висини (или по дубини

у океану) и нарочито по географској ширини, пратећи помјерање изотерми усљед глобалног загријавања климатског система. Баријере које онемогућавају распрострањавање врста у нове области са повољнијим климатским условима, разлике у способности врста да прате одговарајуће климатске услове и подносе екстремне климатске догађаје (на примјер, суше, поплаве, топле таласе, мегапожаре и циклоне) и привремена заостајања у реакцији врста на промијењене климатске услове доводе до промјена у композицији заједница, знатно смањујући таксономску, функционалну и филогенетску разноликост и реорганизујући локалне заједнице, што потенцијално у будућности може довести до стварања „нове“ заједнице. Иако је тек неколико савремених изумирања врста формално и јасно приписано савременим климатским промјенама, фосилни записи говоре да брзе климатске промјене могу бити кључни покретач масовног изумирања, стога расте забринутост због адаптивног потенцијала врста на текуће и будуће промјене климе.

Иако је у прошлости губитак биодиверзитета првенствено приписиван промјенама интензитета коришћења копна и мора (34% доприноса губицима током XX вијека) и директном искоришћавању врста (23%), а тек затим промјени климе (14%) и загађењу (14%), предвиђа се да ће утицај климатских промјена надмашити друге пријетње губитку биодиверзитета током XXI вијека, како директним утицајима на биодиверзитет, тако и интензивирањем интеракција са другим покретачима (Arneeth et al. 2020). Иако су измјене пејзажа препознате као главни покретач опадања и губитка врста широм свијета, Selwood et al. (2015) открили су да су промјене климатских варијабли у просјеку имале подједнако снажне ефекте на демографске стопе биљних популација. То је значајно с обзиром на то да ће се притисци на биљни свијет усљед климатских промјена наставити појачавати у наредним деценијама са интензивирањем промјена климатских услова.

Климатске промјене такође могу потенцијално проузроковати нагле и неповратне (или тешко реверзибилне) промјене екосистема уколико дјеловање пређе преко критичних прагова: на примјер, смањење ледничког покривача и ледника доводи до смањења протицаја у водотоцима током сезоне љето са нелинеарним утицајима на биодиверзитет; загријавање и закисељавање океана доводи до деградације екосистема тропских коралних гребена и негативно утиче на друге морске организме; синергијске интеракције између крчења шума и суша подстичу пожаре што посљедично доводи до замјене шума вегетацијом типа саване или секундарним шумама заштићеним од пожара (Pörtner et al. 2021).

4.2. Савремене климатске промјене

4.2.1. Промјене атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште

Антропогено условљени пораст атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште главни је покретач савремених климатских промјена. Људске активности попут сагоријевања фосилних горива, употребе огревног дрвета, праксе спаљивања гаса, производње цемента, промјене начина коришћења земљишта и трансформације копнене биосфере емитују у атмосферу огромне количине CO_2 и других гасова са ефектом стаклене баште (Vach 1979). Емисије од сагоријевања фосилних горива, крчења шума, пољопривредних активности и производње синтетичких гасова са ефектом стаклене баште примарни су узрочници пораста концентрације гасова са ефектом стаклене баште (Meinshausen et al. 2017).

У поређењу са релативно равном линијом током посљедњих 2.000 година, концентрације гасова са ефектом стаклене баште од почетка индустријског периода, као и пројекције концентрација током сљедећих 100 до 500 година недвосмислено указују на стрми пораст (Meinshausen et al. 2020). Анализе језгра ледничког покривача показале су да су током протеклих 800.000 година атмосферске концентрације угљен-диоксида (CO_2), метана (CH_4) и азот-субоксида (N_2O) варирали у складу са глацијалним и интерглацијалним периодима вођеним Миланковићевим циклусима. С појавом човјека (*Homo sapiens*) атмосферски састав се промијенио, у почетку активностима попут крчења шума и пољопривреде, а затим индустријским активностима које су покретале фосилним горивима од почетка индустријске револуције. Повећање атмосферске концентрације CO_2 изнад преиндустријског нивоа у почетку је првенствено било узроковано емисијом угљеника у атмосферу усљед крчења шума и других активности промјене намјене земљишта. Иако су емисије из сагоријевања фосилних горива започеле прије индустријске ере, доминантан извор антропогених емисија у атмосферу постале су од отприлике 1950. године, а њихов релативни удио наставио је да расте све до данашњих дана (Friedlingstein et al. 2020).

Концентрације су нагло порасле до рекордних нивоа тако да су данашње концентрације гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери на рекордно високим нивоима у поређењу са посљедњих 800.000 година (Meinshausen et al. 2017). Те повишене концентрације гасова са ефектом стаклене баште загријавају планету и у великој мјери су одговорне за примијеђено глобално загријавање током посљедњих 150 година. Повишене концентрације гасова

са ефектом стаклене баште индукују радијационо форсирање, које би изазвало и веће савремено глобално загријавање од осмотреног да није било ефекта хлађења аеросола.

У периоду 1750–2011. године концентрације CO₂, CH₄ и N₂O повећане су за 40% (са 278 ppb на 390,5 ppb), 150% (са 722 ppb на 1.803 ppb) и 20% (са 271 ppb на 324,2 ppb), респективно (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013). За 1850. годину, која се обично користи као референтна година за преиндустријски период, Meinshausen et al. (2017) процјењују глобалне средње концентрације CO₂ на 284,3 ppb, CH₄ на 808,2 ppb, а N₂O на 273,0 ppb.

Атмосферске концентрације CO₂ су током протеклих 800.000 година осцилирале између 170 ppb и 270 ppb између глацијалних и интерглацијалних периода (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013). Од 0. до 1000. године глобална просјечна концентрација износила је око 278,6 ppb (Meinshausen et al. 2017). Минималне глобалне средње концентрације CO₂ од око 270 ppb забиљежене су око 1610. године (или према другом извору 276,27 ppb 1666. године) (Meinshausen et al. 2017). Године 1850. процијењена просјечна глобална CO₂ концентрација износила је 284,32 ppb, повећавајући се на 295,67 ppb 1900. године, 312,82 ppb 1950. године, 369,12 ppb 2000. године и на 397,55 ppb 2014. године (Meinshausen et al. 2017). Пораст површинске концентрације CO₂ глобално се благо заравнавао у 1930-има, а јаче заравнавање десило се током Другог свјетског рата и трајало до 1950-их година; повећање од 1970. године надаље има благо позитивну закривљеност (тренд убрзања), са малим одступањима око 1973. и 1981. и привременим заравнавањем концентрација CO₂ након ерупције вулкана Пинатубо 1991. године (Meinshausen et al. 2017).

Дакле, концентрација CO₂ у атмосфери повећала се од преиндустријског нивоа од око 290 ppb у 1860. години (Vach 1979) до садашње концентрације од 412,45 ppb у 2020. години (средња вриједност CO₂ достигла је 400 ppb у 2015. години) (Dlugokencky et al. 2021).

Мјерења просјечне глобалне концентрације CO₂ показују да је годишњи пораст CO₂ током 1950-их и 1960-их година износио око 0,7 ppb (Vach 1979), у периоду од 1970-их до 1990-их око 1,5 ppb, да би се знатно убрзао од почетка XXI вијека на више од 2 ppb у 2000-им и 2,5 ppb у 2010-им годинама (Dlugokencky et al. 2021). Највећи пораст концентрације CO₂ забиљежен је 2015. (2,96 ppb) и 2016. (2,83 ppb) године (у 2020. и 2019. пораст је износио 2,5 ppb) (Dlugokencky et al. 2021).

Државне политике током пандемије COVID-19 драстично су промијениле обрасце потражње за енергијом широм свијета у 2020. години. Le Quéré et al. (2020) наводе да су дневне глобалне емисије CO₂ смањене за 17% (за 11% до

25% за $\pm 1\sigma$) до почетка априла 2020. године у поређењу са средњим нивоима 2019. године, а нешто мање од половине тих промјена условиле су промјене у транспорту (не рачунајући авио-транспорт). На свом врхунцу, емисије у појединим државама смањене су у просјеку за 26%. Аутори процјењују да су годишње емисије у 2020. години смањене за 7% (3–13%).

Аналізу глобалног буџета за угљеник у периоду 1959–2019. године извршили су Friedlingstein et al. (2020). У наведеном периоду, 81% укупних емисија CO_2 проузроковано је емисијом фосилних горива, а 19% емисијом из промјена намјене земљишта. Укупне емисије су подијељене између атмосфере (45%), океана (24%) и копна (32%), готово без нераспоређеног буџетског дебаланса (0%). Све компоненте емисија, осим емисије из промјене намјене земљишта, знатно су порасле од 1959. године.

Глобалне емисије фосилног CO_2 повећавале су се сваке деценије просјечно од $3,0 \pm 0,2$ Gt C годишње у деценији 1960-их до просјечно $9,4 \pm 0,5$ Gt C годишње током периода 2010–2019. године. Стопа раста емисија смањена је између 1960-их и 1990-их, са 4,3% годишње у 1960-има (1960–1969), 3,1% годишње у 1970-има (1970–1979), 1,6% годишње у 1980-има (1980–1989), на 0,9% годишње у 1990-има (1990–1999). Након наведеног периода, стопа раста поново је почела да се повећава током 2000-их година, са просјечном стопом раста од 3,0% годишње, смањујући се на 1,2% годишње у посљедњој деценији (2010–2019). Супротно томе, емисије CO_2 из употребе земљишта, промјене намјене земљишта и шумарства остале су релативно константне на око $1,4 \pm 0,7$ Gt C годишње током посљедњих пола вијека. Бруто емисије су у просјеку 2–3 пута веће од нето емисија из сектора промјене намјене земљишта, а повећавале су се просјечно $3,5 \pm 1,2$ Gt C годишње током 1960-их година на просјечно $4,4 \pm 1,6$ Gt C годишње током периода 2010–2019. године. Унос CO_2 из производње цемента путем карбонизације повећао се са порастом залиха производа од цемента, са просјечно 20 Mt C годишње у 1960-има на просјечно 190 Mt C годишње током периода 2010–2019. године. Стопа раста смањена је са 6,7% годишње у 1960-има на 3,3% годишње у 1980-има, затим је поново порасла на 6,2% годишње у 2000-има, прије него што је поново смањена на 3,5% годишње у 2010-има. Стопа раста атмосферске концентрације CO_2 порасла је са $1,8 \pm 0,07$ Gt C годишње током 1960-их на $5,1 \pm 0,02$ Gt C годишње током периода 2010–2019. године.

Понори CO_2 и у океану и на копну порасли су отприлике у складу са порастом атмосферске концентрације, али са значајном декадном промјенљивошћу. Понирање CO_2 у океану порасло је са $1,0 \pm 0,3$ Gt C годишње 1960-их на $2,5 \pm 0,6$ Gt C годишње током периода 2010–2019. године с међугодишњим варијацијама реда величине неколико десетина Gt C годишње, које генерално показују

повећан понор океана током снажних Ел Нињо догађаја (тј. током 1997–1998. године). Процењује се да је понор CO_2 у океану током периода 1994–2007. године износио $2,1 \pm 0,5$ Gt C годишње. Понирање CO_2 на копну порасло је са $1,3 \pm 0,4$ Gt C годишње током 1960-их на $3,4 \pm 0,9$ Gt C годишње током периода 2010–2019. године, са знатним међугодишњим варијацијама у износу 2 Gt C годишње, које генерално показују смањени понор на копну током Ел Нињо догађаја, одговорних за појачану стопу раста у атмосферској концентрацији CO_2 . Укупни флуковси атмосфере и копна, израчунати као разлика између копнених понора CO_2 и емисије усљед промјене намјене земљишта, порасли су са $0,2 \pm 0,9$ Gt C годишње извора CO_2 у 1960-им годинама на $1,9 \pm 1,1$ Gt C годишње понора CO_2 током периода 2010–2019. године.

Према Friedlingstein et al. (2020), током посљедње деценије (период 2010–2019. године), 86% укупних емисија CO_2 чиниле су емисије из сагоријевања фосилних горива, а 14% емисије узроковане промјеном намјене земљишта. Укупне емисије биле су подијељене између атмосфере (46%), океана (23%) и копна (31%), са нераспоређеним буџетским дебалансом од -1%. Глобалне емисије CO_2 из сагоријевања фосилних горива порасле су по стопи од 1,2% годишње, са декадним просјеком од $9,4 \pm 0,5$ Gt C годишње. Емисије у Кини, које су порасле у просјеку за 1,2% годишње (повећање за $0,046$ Gt C годишње током десетогодишњег периода), доминирале су глобалним трендом. Емисије су порасле и у Индији за 5,1% годишње (повећање за $0,025$ Gt C годишње), док су емисије смањене у Европској унији за 1,4% годишње (смањење за $0,014$ Gt C годишње) и у САД за 0,7% годишње (смањење за $0,01$ Gt C годишње).

У протеклој деценији, емисије CO_2 из сагоријевања фосилних горива знатно су смањене и у 24 растуће економије свијета. Супротно томе, не постоји јасан тренд емисије CO_2 из промјене намјене земљишта током посљедње деценије. Просјечна стопа раста концентрације у десетогодишњем периоду износила је $5,1 \pm 0,02$ Gt C годишње ($2,4 \pm 0,01$ ppm годишње). Просјечно током наведене деценије, понори океана и копна износили су $2,5 \pm 0,6$ Gt C и $3,4 \pm 0,9$ Gt C годишње, респективно. Током периода 2010–2017. године чини се да се понор океана CO_2 интензивирао у складу са очекиваним порастом атмосферског CO_2 .

Кумулативне емисије фосилног CO_2 у периоду 1850–2019. године износиле су 445 ± 20 Gt C за емисије из сагоријевања фосилних горива и 210 ± 60 Gt C за емисије из промјене намјене земљишта, што укупно представља 650 ± 65 Gt C (Friedlingstein et al. 2020). Емисије током периода 1850–2019. године биле су расподијељене између атмосфере (265 ± 5 Gt C; 40%), океана (160 ± 20 Gt C; 25%) и копна (210 ± 55 Gt C; 32%).

Кумулативно понирање на копну углавном је било једнако кумулативним емисијама из коришћења земљишта, што глобално копно чини готово

неутралним током периода 1850–2019. године. Процјене показују кумулативни буџетски дебаланс од 20 Gt C (3%) током периода 1850–2019. године, што, ако је тачно, сугерише да су емисије превисоке за толики проценат или да су копнени или океански понори потцијењени. Главни дио неравнотеже могао би проистећи из процјене великих емисија из промјене намјене земљишта између средине 1920-их и средине 1960-их година, што не одговара расту концентрације атмосферског CO₂ забиљеженог у језгри леденог покривача. Познати губитак додатног понора од 30 до 40 Gt C усљед смањеног шумског покривача није урачунат у ову методологију и додатно би погоршао буџетску неравнотежу.

Кумулативне емисије до 2020. године повећане су на 655±65 Gt C (2.340±240 Gt C), са око 70% доприноса емисија из сагоријевања фосилних горива и око 30% доприноса емисија из промјене намјене земљишта.

Meinshausen et al. (2020) квантификовали су процјене антропогених емисија 43 гаса са ефектом стаклене баште (CO₂, CH₄, N₂O и 40 других мањих гасова) до краја XXI вијека према Пројекту међусобног поређења климатских модела – фаза 6 (*Climate Model Intercomparison Project – Phase 6*, CMIP6) за различите сценарије заједничког друштвено-економског пута (*Shared Socioeconomic Pathways, SSPs*), од којих сваки представља различите будуће социо-економске пројекције и политичка окружења.¹ Према овим сценаријима, концентрације CO₂ до 2100. године износиће од 393 ppm за сценарио најниже емисије (SSP1–1.9) до 1.135 ppm за сценарио највиших емисија (SSP5–8.5). У 2150. години концентрација CO₂ према сценарију са најнижом емисијом износиће око 350 ppm и остаће приближно на том нивоу до 2500. године, док сценарио највиших емисија предвиђа концентрацију CO₂ од 1.737 ppm, која достиже концентрације веће од 2.000 ppm до 2250. године. Аутори процјењују да ће се удио CO₂ у укупном доприносу радијационог форсирања сва 43 анализирана гаса са ефектом стаклене баште повећати са садашњих 66% на приближно 68–85% до тренутка максималног форсирања у XXI вијеку.

Иако би нула емисија CO₂ довела до опадајућих концентрација, постаје јасно да би само путања емисије у будућности која ефикасно смањује нивое концентрације CO₂ у атмосфери испод садашњих нивоа пружио шансу да се загријавање ограничи на мање од 1,5 °C.

¹ Нови сценарији обухватају још шири спектар концентрација CO₂ од сценарија репрезентативног пута концентрације (*Representative Concentration Pathway – RCP*) (van Vuuren et al. 2011) – најпесимистичнији сценарио (SSP5–8.5) даје веће концентрације од претходног сценарија RCP8.5, према којем ће се атмосферска концентрација CO₂ до 2100. године кретати између 795 ppm и 1.145 ppm (Friedlingstein et al. 2014), а најоптимистичнији сценарио SSP1–1.9 резултира концентрацијом CO₂ од 350 ppm до 2150. године.

Метан (CH_4) један је од најважнијих гасова у траговима у атмосфери који има знатну улогу у „ефекту стаклене баште“ (Heilig 1994; Tian et al. 2015; Javadinejad et al. 2019). CH_4 је јак гас са ефектом стаклене баште (више од 20 пута снажнији од CO_2) (Badr et al. 1991). Допринос CH_4 глобалном загријавању између 1880. и 1980. године процењује се на око 15%, са све већим удјелом (данас око 18%) (Badr et al. 1991; Javadinejad et al. 2019). CH_4 чини више од једне четвртине антропогене радијационе неравнотеже од прединдустријског периода (Turnera et al. 2019). Други је највећи фактор који доприноси антропогеном форсирању током историјског периода, а његова атмосферска хемија доводи до стварања озона и водене паре, који су и сами гасови са ефектом стаклене баште, што додатно доприноси антропогеном форсирању (Collins et al. 2018). Фактор од 2,5 пораста глобалне заступљености атмосферског CH_4 од 1750. године доприноси $0,5 \text{ W m}^{-2}$ укупном директном радијационом форсирању гасова са ефектом стаклене баште (које је у 2009. години износило $2,77 \text{ W m}^{-2}$), док његова улога у атмосферској хемији додаје још око $0,2 \text{ W m}^{-2}$ индиректног форсирања (Dlugokenky et al. 2011).

Концентрација CH_4 у атмосфери повећавала се брзином од око 1% годишње током прошлог вијека и достигла је 1,72 ppb 1990. године (Badr et al. 1991). Мјерења језгра ледничког покривача на Антарктику показала су да је током 800.000 година прије почетка нове ере концентрација CH_4 у атмосфери варијала између 348,7 ppb и 728,4 ppb (Meinshausen et al. 2017). Атмосферски нивои CH_4 били су стабилни у прединдустријском периоду на око 600–700 ppb током посљедњег миленијума (Turnera et al. 2019). Концентрације су почеле да расту око 1720. године. Од 1850. године, када је концентрација износила нешто више од 800 ppb, примјећује се благи пораст све до 1950-их, када концентрације CH_4 ошјетно расту, прво у другој половини 1950-их, а затим поново од 1965. године надаље; годишњи пораст глобалних концентрација CH_4 смањен је током 1980-их година, а нарочито након 1992. године ка стабилованим концентрацијама између 1999. и 2005. године, али се поново повећавају у периоду након 2006/2007. године по стопи од око 5,4 ppb годишње (Meinshausen et al. 2017; Turnera et al. 2019). Tian et al. (2015) процењују емисије CH_4 из глобалних копнених екосистема у периоду 1981–2010. године на $144,39 \pm 12,90 \text{ Tg C}$ годишње. Њихове симулације су показале статистички значајан годишњи тренд пораста за $0,43 \pm 0,06 \text{ Tg C}$ годишње. Емисије CH_4 знатно су повећане у већини климатских зона и континената, посебно у тропским регионима и у Азији. Најбржи пораст емисије CH_4 забиљежен је у природним мочварама и пољима пиринча због повећане површине узгајања пиринча и загријавања климе. Концентрација CH_4 порасла је од почетка периода индустријализације (између 1850. и 2010. године) за 158%, са 700 ppb на 1.808 ppb (Heede 2014). Концентрација CH_4 у атмосфери порасла је са

720 ppbv у 1750. години на 1.834 ppb у 2015. години и још убрзано расте (Nisbet et al. 2019; Wu X et al. 2019). Nisbet et al. (2019) наводе да је пораст атмосферског CH_4 поново започео 2007. године. Дакле, просјечна глобална концентрација порасла је са око 1.775 ppb у 2006. години на 1.850 ppb у 2017. години. Атмосферска концентрација CH_4 расла је врло брзо у 2014. ($12,7 \pm 0,5$ ppb), 2015. ($10,1 \pm 0,7$ ppb), 2016. ($7,0 \pm 0,7$ ppb) и 2017. ($7,7 \pm 0,7$ ppb) години, по стопама незабиљеженим од 1980-их година. Пораст је забиљежен широм свијета, посебно у тропској зони и у средњим ширинама сјеверне хемисфере. У 2020. години просјечна глобална концентрација CH_4 износила је 1.879,29 ppb (Dlugokencky & NOAA/GML 2021a).

Нагли пораст CH_4 углавном је узрокован неравнотежом извора и понора, пошто је велика количина емитована из људских активности у индустријском периоду (Wu X et al. 2019). Природни извори, који углавном укључују мочваре, термите и океане, чине 35% до 50% укупних извора CH_4 ; преостали извори су антропогени, укључујући искоришћавање енергије, депоније, преживаре, поља пиринча и сагоријевање биомасе (Wu X et al. 2019). Промјене у природним изворима од преиндустријског периода до данас мале су у односу на пораст антропогених извора од преко 300 Tg годишње (Turnera et al. 2019). Антропогене активности су мијењале атмосферске концентрације CH_4 и прије почетка периода индустријализације, али су концентрације почеле брже да расту у 1900-им годинама, како због пољопривредних активности човјека, тако и због веће употребе фосилних горива (Turnera et al. 2019).

Утицај климатског загријавања на забиљежено повећање концентрације CH_4 током протекле деценије, уколико се настави пораст од више од 5 ppb годишње у наредним деценијама, довољан је да се оспоре циљеви *Париског споразума*, који захтијева оштра смањења атмосферске концентрације CH_4 (посебно из индустрије фосилних горива) (Nisbet et al. 2019). Будући да CH_4 има релативно кратак животни вијек и врло је близу стабилног стања, смањење његових емисија брзо би користило климатском систему (Dlugokencky et al. 2011). Потребно је ограничити укупне глобалне емисије CH_4 на између 500 Tg и 600 Tg годишње (Dlugokencky et al. 2011).

Азот-субоксид (N_2O) трећи је најважнији гас са ефектом стаклене баште, након CO_2 и CH_4 (Vadr and Probert 1992; Thompson et al. 2019). Иако је његова концентрација у атмосфери много нижа од концентрације CO_2 , важан је гас са ефектом стаклене баште, јер на еквивалентној маси има око 300 пута већи потенцијал од CO_2 за глобално загријавање (Del Grosso and Parton 2012). Осим тога, примарна је супстанца која оштећује озонски омотач у стратосфери, па су повећане концентрације N_2O у атмосфери током протеклих 150 година

допринијеле и уништавању озонског омотача и климатским промјенама (Del Grosso and Parton 2012; Xu et al. 2012).

Концентрације N_2O током протеклих 800.000 година (добијене из језгра ледничког покривача) варираше су отприлике између 200 ppb и 300 ppb, са минимумом од 180 ppb током посљедњег глацијалног доба прије око 23.000 година (Meinshausen et al. 2017). Концентрација N_2O у атмосфери била је око 30% нижа током посљедњег глацијалног максимума него током холоценске епохе (Leuenberger and Siegenthaler 1992). Мали пад концентрације забиљежен је након максимума 1750. године, са минимумом од 273,02 ppb у 1850. години. Глобална концентрација N_2O у атмосфери расте од почетка индустријске револуције, прије чијег је почетка концентрација била готово константна на око 280–290 ppb (Badr and Probert 1992). Након 1850. године, концентрације N_2O знатно су повећане, достигавши вриједности од 279,5 ppb, 289,7 ppb, 315,8 ppb и 327,0 ppb у 1900, 1950, 2000. и 2014. години, респективно (Meinshausen et al. 2017). Концентрација је порасла за више од 20%, са 270 ppb у 1750. години на 331 ppb у 2018. години, са најбржим растом примијећеним у посљедњих пет деценија (Tian et al. 2020). Просјечна глобална концентрација N_2O у 2020. години износила је 333,02 ppb (Dlugokencky and NOAA/GML 2021b). Просјечна стопа пораста од почетка XXI вијека износила је 0,88 ppb (у 2020. години 1,33 ppb) (Dlugokencky and NOAA/GML 2021b). Тренутне стопе пораста процењују се на 2% по деценији (Tian et al. 2020).

Емисије N_2O повећане су глобално за 1,6(1,4–1,7) Tg N годишње између периода 2000–2005. и 2010–2015. године (Thompson et al. 2019). Глобалне емисије износиле су 17,0 Tg N годишње између 2007. и 2016. године (Tian et al. 2020). Симулиране глобалне емисије из тла у XX вијеку износиле су око 8,2–9,5 Tg N годишње (или 8,3–10,3 Tg N годишње са таложењем азота) (Xu et al. 2012). Процеси у земљишту, а првенствено процеси нитрификације и денитрификације, одговорни су за око двије трећине глобалних емисија N_2O (Del Grosso and Parton 2012). Tian et al. (2015) процењују емисије N_2O из глобалних копнених екосистема у периоду 1981–2010. године на $12,52 \pm 0,74$ Tg N годишње (у распону од $10,53 \pm 0,59$ Tg N годишње у 1982. години до $16,65 \pm 1,10$ Tg N годишње у 2010. години), са значајним трендом пораста од $0,14 \pm 0,02$ Tg N годишње. Davidson and Kanter (2014) наводе да су глобалне природне емисије N_2O највјероватније износиле између 10 и 12 Tg N_2O-N годишње; док нето антропогене емисије N_2O сада износе око 5,3 Tg N_2O-N годишње. Бруто антропогене емисије N_2O по секторима износе: 66% из сектора пољопривреде, 15% из сектора енергије и транспорта, 11% из изгарања биомасе и 8% из других извора (Davidson and Kanter 2014). Смањење природних емисија из тропских земљишта усљед крчења шума смањује бруто антропогене емисије за око 14%.

Повећање концентрације N_2O се првенствено, или чак искључиво, приписује људским активностима које повећавају снабдијевање екосистема (биосфере) реактивним азотом, укључујући антропогено таложење азота и фертилизацију усјева азотом (Del Grosso and Parton 2012; Xu et al. 2012; Reay et al. 2012; Thompson et al. 2019; Tian et al. 2020), док су природни извори остали релативно стабилни (Tian et al. 2020). Ратарске површине у свијету су највећи појединачни антропогени извор атмосферског N_2O (процијењене глобалне емисије N_2O ратарских површина у посљедњој деценији XX вијека кретале су се у распону од 1,5 до 5,0 Tg N годишње) (Wang et al. 2020). Глобалне антропогене емисије, којима доминирају емисије са ратарских површина, повећане су за 30% током посљедње четири деценије на 7,3(4,2–11,4) Tg N годишње (Tian et al. 2020). Током прошлог вијека, овај извор емисије N_2O повећао се употребом азотних ђубрива (знатно су повећала количину реактивног азота који се уноси у систем биљка–земљиште) (Del Grosso and Parton 2012; Reay et al. 2012), чинећи 80% глобалног повећања копнених емисија N_2O (Wang et al. 2020).

Са све већом људском популацијом и посљедичном већом потражњом за храном, влакнима и енергијом, укупне површине пољопривредног земљишта и емисије N_2O вјероватно ће наставити да расту у наредним деценијама (Reay et al. 2012; Tian et al. 2020). Сценарији емисија у будућности предвиђају готово удвостручавање антропогених емисија N_2O до 2050. године (Davidson and Kanter 2014). Насупрот томе, договорени сценарији ублажавања климатских промјена предвиђају просјечан пад од 22% у односу на 2005. годину, што би довело до готово стабилизације атмосферске концентрације N_2O на око 350 ppb (Davidson and Kanter 2014). Иако неће бити могуће потпуно елиминисати антропогене емисије N_2O из пољопривреде, боље усклађивање потреба биљака за азотом и снабдијевања азотом нуди знатне могућности за смањење емисија.

4.2.2. Промјене температуре ваздуха

Значајан и истрајан тренд пораста глобалне површинске температуре копна и мора неоспорно је присутан (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013; Dunn et al. 2020; Huang et al. 2020; Li Q et al. 2020; World Meteorological Organization 2021, 2022; Dunn et al. 2022). Степен загријавања већи је над копном него над океаном, на сјеверној хемисфери него на јужној хемисфери, те на високим географским ширинама него на нижим географским ширинама (Li Q et al. 2020). Стопе загријавања најслабије су изражене у сјеверозападном Пацифику, средње високим географским ширинама на јужној хемисфери и средње високим географским ширинама у Атлантском океану (Li Q et al. 2020). Највећи допринос глобалним трендовима температуре током посљедње двије

деценије дале су површинске температуре копна у вантропским подручјима сјеверне хемисфере (Cohen et al. 2012) – најизраженији трендови загријавања забиљежени су у средњим и високим географским ширинама евроазијског континента (Zhang et al. 2019).

Hawkins et al. (2017) процјењују да је промјена просјечне глобалне температуре од преиндустријског периода до периода 1986–2005. године износила између 0,55 °C и 0,80 °C. Од 1880. године забиљежена су три периода смањења глобалне средње површинске температуре (1896–1910, 1941–1975. и 1998–2013. године) и два периода израженог загријавања (1911–1940. и 1976–1997. године) (Folland et al. 2018). На основу нових скупова података, Li et al. (2021) одредили су трендове загријавања глобалне средње површинске температуре за периоде 1998–2019, 1979–2019, 1951–2019. и 1900–2019. године на 0,195 °C, 0,173 °C, 0,145 °C и 0,091 °C по деценији, респективно, а трендове глобалне средње површинске температуре копна за период 1979–2019, 1951–2019, 1900–2019. и 1850–2019. године на 0,296 °C, 0,219 °C, 0,119 °C и 0,081 °C по деценији, респективно. Према Sun WB et al. (2021) тренд пораста глобалне површинске температуре од почетка XX вијека износи 0,089±0,004 °C по деценији, а од друге половине XX вијека 0,137±0,007 °C по деценији. Различита моделовања у истраживању Huang et al. (2020) показују да је загријавање Земљине површине јаче посљедњих деценија него у посљедњих 50–100 година. Климатски систем загријан је током посљедњих 100 година за око 0,6 °C, а у том периоду забиљежена су два главна периода загријавања – између 1910. и 1945. године и од 1976. године до данас, с тим да је стопа загријавања у другом периоду двоструко већа (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013). Глобална годишња температура повећавала се по просјечној стопи од 0,08 °C по деценији од 1880. године и по више него двоструко већој стопи од 0,18 °C од 1981. године (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013).

Према подацима америчке Националне управе за океане и атмосферу, свака деценија од 1980. године била је сукцесивно топлија од претходне (NOAA National Centers for Environmental Information 2021). Просјечна глобална површинска температура копна и океана у периоду 2011–2020. године показује да је то била најтоплија деценија забиљежена у свијету, са површинском глобалном температуром 0,82 °C вишом од просјека XX вијека. Премашила је вриједност претходног декадног рекорда (забиљеженом у деценији која јој је претходила – 2001–2010. године) од +0,62 °C. Свих 20 година у XXI вијеку налази се међу 21 најтоплијом годином од 1880. године (1998. година тренутно је 11. најтоплија). Седам најтоплијих година у посматраном периоду 1880–2020. године забиљежено је од 2014. године, док се 10 најтоплијих година догодило од 2005. године. Година 2020. била је 44. година заредом (од 1977. године) са глобалном температуром копна и океана вишом од просјека XX

вијека. Такође, то је била друга најтоплија година од 1880. године, са глобалном површинском температуром копна и океана за 0,98 °C топлијом од просјека. Ова вриједност била је само 0,02 °C нижа од рекордно топле 2016. године (за 1,00 °C топлија од просјека) и само 0,03 °C виша од температуре сада треће најтоплије, 2019. године.

Тренд загријавања климатског система присутан је и на европском континенту. Мултипрокси реконструкције мјесечних и сезонских површинских температура за Европу уназад до 1500. године које су извршили Luterbacher et al. (2004) показују да је европска клима с краја XX и почетком XXI вијека врло вјероватно (ниво поузданости од 95%) топлија од било које у протеклих 500 година. Krauskopf and Huth (2020) наводе да је температура у Европи у периоду 1957–2002. године порасла за 0,17 °C до 0,22 °C по деценији, у зависности од скупа података коришћеног за анализу. Годишња температура у Европи расла је од 1910. године по просјечној стопи од 0,15 °C по деценији, међутим стопа пораста се више него утростручила од 1981. године (0,47 °C по деценији) (NOAA National Centers for Environmental Information 2021). Према наведеним подацима америчке Националне управе за океане и атмосферу, 2020. година била је најтоплија забиљежена година у Европи – за чак 2,16 °C топлија од просјека, чиме је надмашила претходно рекордно топлу, 2018. годину за 0,28 °C. Ово је уједно била прва година са годишњим одступањем температуре у Европи већим од +2,0 °C. Надаље, година 2020. била је 24. узастопна година са изнатпросјечним одступањима температуре. Све године од 2014. до 2020. сврставају се међу седам најтоплијих година забиљежених у Европи од 1880. године, а 10 најтоплијих година догодило се након 2000. године. Посљедња година која се нашла у првих 10 најхладнијих година у Европи била је 1987. година (van der Schrier et al. 2013). Истраживања су показала да је у многим подручјима Европе током XX вијека дошло до промјене климатског типа усљед загријавања – доминантна је била трансформација хладног климатског типа у прохладни, а проценат трансформације хладног ка топлим климатском типу такође је био висок (Rubel and Kottek 2010; Breuer et al. 2018; Skarbit et al. 2018).

Љета протеклих година у Европи била су необично топла – у посљедња два миленијума није било тридесетогодишњег периода који би премашио средњу просјечну европску љетну температуру у посљедње три деценије (1986–2015) (Luterbacher et al. 2016). Од 1977. године линеарни тренд пораста температуре износи $0,7 \pm 0,20$ °C по деценији (Luterbacher et al. 2016). У периоду 1950–2012. године утврђено је продужење љета за 2,4 дана по деценији, међутим, тренд је ограничен на период након 1979. године, у којем се стопе продужења у западној Европи и у медитеранском региону крећу између 5 и 12 дана по деценији (van der Schrier et al. 2013).

У Европи је примјетна и просторна варијабилност трендова – у сезони зима најјаче загријавање присутно је у балтичком региону, у сезони љето утврђен је градијент загријавања у правцу сјевероисток–југозапад, док су у сезони јесен присутни готово нулти трендови (Krauskopf and Huth 2020). Rokorná et al. (2018), упркос свеукупном загријавању Европе, открили су неколико „рупа у загријавању“ током различитих периода године, не само у сезони јесен, када се јавља позната рупа у загријавању. Јесења рупа у загријавању концентрише се на источну Европу, али се у западну Европу шири у септембру, а у источну Европу повлачи у новембру, када се интензивира нарочито сјеверно од Црног мора. Истраживање је открило три краће рупе у загријавању: у фебруару и марту долази до захлађења у источном Медитерану и на Исланду; почетком априла хлађење је откривено над средњом, јужном и југоисточном Европом; велико захлађење јавља се у средњој, сјеверној и сјеверозападној Европи средином јуна. Периоди најјачег загријавања јављају се средином јануара у источној Европи, почетком марта у готово цијелој Европи, а средином маја и почетком августа углавном у средњој и западној Европи.

Тренд загријавања климатског система присутан је и на простору Републике Српске и Босне и Херцеговине (Trbić et al. 2017; Popov and Deliћ 2019; Popov et al. 2017а, 2018а, 2018в, 2018г, 2019б, 2019г, 2019д, 2021; Попов 2020; Subotić et al. 2020; Gnjato et al. 2021). На загријавање указују позитивни трендови годишњих средњих (0,2–0,5 °C по деценији), максималних (0,3–0,6 °C по деценији) и минималних (0,1–0,5 °C по деценији) температура ваздуха (Trbić et al. 2017; Попов 2020). Позитивни трендови средње, средње максималне и средње минималне температуре ваздуха забиљежени су у свим сезонама, али су најизраженији у сезони љето (0,4–0,6 °C по деценији, 0,5–0,8 °C по деценији и 0,3–0,6 °C по деценији, респективно), а затим у сезонама зима и прољеће, док је незнатан пораст температура утврђен у сезони јесен (Попов 2020). Треба истакнути да су и годишње и сезонске минималне температуре порасле по нешто нижим стопама од максималних температура ваздуха.

У условима промјенљивости климатског система, очекује се да ће управо климатски екстреми представљати неке од најкритичнијих изазова за људе, друштво, инфраструктуру и природно окружење (Dunn et al. 2020).

Осим пораста средњих температура ваздуха копна и океана, уочени су и позитивни трендови екстремних температура – минималних и максималних, како на глобалном нивоу (Alexander et al. 2006; Donat and Alexander 2012; Dunn et al. 2020), тако и у различитим дијеловима свијета: у Европи (Klein Tank and Können 2003; Domínguez-Castro et al. 2020), Сјеверној Америци (Heim et al. 2015; Meehl et al. 2016), Азији (Yin et al. 2015; Supari et al. 2017; Dong S et al. 2018), Африци (Collins 2011; Barry et al. 2018; Gebrechorkos et al. 2019; van der

Walt and Fitchett 2021), Јужној Америци (Aguilar et al. 2005; de los Milagros Skansi et al. 2013), Аустралији (Trewin et al. 2020) итд. На глобалном нивоу, промјене минималних температура ваздуха биле су израженије него пораст максималних температура, што је потврђено у неколико глобалних студија (на примјер, Alexander et al. 2006; Donat and Alexander 2012; McKinnon et al. 2016; Dunn et al. 2020).

Анализа дневне температурне амплитуде (средња мјесечна разлика између дневних максималних и минималних температура) показује да је дошло до њеног смањења од средине прошлог вијека, при чему се већина промјена догодила прије 1980. године, док апсолутна интрагодишња температурна амплитуда (разлика између највише и најниже измјерене температуре у години) показује јасан пад током посљедњих 80 година (Dunn et al. 2020). Thorne et al. (2016) потврђују да се дневна амплитуда температуре ваздуха на глобалном копну значајно смањила од 1950. године, а највећи дио тог смањења догодио се током периода 1960–1980. године. Трендови од 1979. године нису статистички значајни, а постоји и неслагање различитих скупова података чак и око знака глобалних промјена. Постоји општа сагласност да се дневна температурна амплитуда од 1951. године смањила у Европи, Сјеверној Америци и Аустралији, с тим што је то смањење дјелимично преокренуто у Европи и Аустралији од раних 1980-их.

Сви индекси екстремних температура показују глобалне трендове и промјене у складу са порастом површинске температуре (тј. у складу са глобалним загријавањем) (Dunn et al. 2020) – смањује се учесталост индекса хладних прагова (FD0 – мразни дани, ID0 – ледени дани, TN10p – хладне ноћи, TX10p – хладни дани и CSDI – хладни таласи), а повећава учесталост индекса топлих прагова (SU25 – љетни дани, TR20 – тропске ноћи, TX90p – топли дани, TN90p – топле ноћи и WSDI – топли таласи), као и вриједност свих апсолутних индекса температуре (TXx – максимална дневна максимална температура ваздуха, TXn – минимална дневна максимална температура ваздуха, TNx – максимална дневна минимална температура ваздуха и TNn – минимална дневна минимална температура ваздуха) (Donat et al. 2013; Zhang et al. 2019). Посматрано на глобалном нивоу, индекси екстремних температура засновани на дневним минималним температурама углавном су испољавали јаче и значајније трендове од индекса заснованих на дневним максималним температурама (Dunn et al. 2020; Zhang et al. 2019).

Преглед утврђених промјена индекса екстремних температура у свијету дат је на основу резултата Dunn et al. (2020) и Zhang et al. (2019).

Апсолутни индекси TXx, TNx, TXn и TNn показују тренд загријавања у већини дијелова свијета, али трендови индекса који се односе на дневну максималну

температуру (ТХх и ТХп) просторно су промјенљивији од индекса који се односе на дневну минималну температуру ваздуха (ТNx и ТNп). Од апсолутних индекса највећа глобална промјена од скоро 4 °C од средине прошлог вијека регистрована је за температуру ваздуха најхладније ноћи ТNп (највећи пораст забиљежен је у високим географским ширинама сјеверне хемисфере са промјенама до 1 °C по деценији). Најхладнији дан у години ТХп показује сличне промјене, али мањег обима. Најтоплији дан ТХх и најтоплија ноћ ТNx глобално су за око 1 °C топлији него током 1960-их и 1970-их.

Индекси засновани на перцентилима (хладне ноћи, хладни дани, топли дани и топле ноћи) показују промјене у складу са трендом глобалног загријавања климатског система – учесталост хладних дана и хладних ноћи је смањена, а учесталост топлих дана и топлих ноћи повећана. Само у неколико региона свијета забиљежено је слабо захлађење. Један од таквих примјера представља тзв. „рупа у загријавању“² у централним и јужним дијеловима САД. Промјене индекса дневних минималних температура (ТN90p и ТN10p) у просјеку су снажније од оних заснованих на дневним максималним температурама (ТХ90p и ТХ10p). У тропским регионима Јужне Америке, сјеверне Африке и у Азији, број топлих ноћи повећао се за више од 8 дана по деценији, што је довело до њиховог удвостручавања од касних 1970-их (просјечна годишња учесталост током референтног периода 1961–1990. године износила је 36,5 дана) на између 70 и 80 дана годишње током посљедње деценије. Учесталост хладних ноћи више се смањивала, а топлих ноћи повећавала у Евроазији него на другим континентима. Пораст годишњег броја топлих дана (око 30 дана од касних 1970-их и око 40 дана од 1901. године) већи је од смањења броја хладних дана (око 15 дана од касних 1970-их и око 40 дана од 1901. године). Посљедња година у анализираном периоду 1951–2015. године била је година са највећом учесталошћу екстремних топлих догађаја и најмањом учесталошћу екстремних хладних догађаја у посљедњих 65 година.

Учесталост мразних дана смањена је у већини дијелова свијета – у Европи и Азији смањена је више него у другим регионима, док је у Сјеверној Америци и Аустралији умјерено смањена. Међутим, учесталост мразних дана у неколико

² Li et al. (2018) наводе да би формирању ове „рупе у загријавању“ у југоисточном и централном дијелу САД могло потенцијално да допринесе неколико фактора, као што су: антропогене емисије аеросола, промјене покривача земљишта, нефорсирана унутрашња варијабилност климе (на примјер, Сјеверноатлантска осцилација и Тихоокеанска декадна осцилација) или њихова комбинација. Међутим, са континуираним порастом емисија гасова са ефектом стаклене баште и смањењем антропогенних емисија аеросола, очекује се да ће се загријавање и у овом региону повећати у наредним деценијама. Већ је примјећено да је подручје ове такозване „рупе у загријавању“ знатно смањено у периоду 1951–2018. године у поређењу са оним у периоду 1951–2010. године (Hu et al. 2020).

подручја у јужној Европи, Сјеверној Америци и јужном дијелу Јужне Америке повећавала се, иако узлазни трендови углавном нису били статистички значајни. Глобални просјек мразних дана на копну смањило се током читавог истраживаног периода, а најбржи пад догодио се после средине 1970-их, када су аномалије индекса углавном биле негативне. Број мразних дана био је релативно нижи 1990, 1998, 2007. и 2015. године, а најниже вриједности забиљежене су 2015. године. Учесталост ледених дана смањила се у већини региона свијета (тренд пораста забиљежен је у источним, централним и јужним дијеловима САД). Образац промјена ледених дана сличан је оном мразних дана, али су трендови мразних дана показали израженије трендове у већини дијелова свијета. Учесталост појаве љетних дана повећана је у већини копнених подручја свијета, а зона средњих ширина сјеверне и јужне хемисфере била је најочигледније подручје загријавања у сезони љето, док се учесталост појаве љетних дана у источној и централној Сјеверној Америци смањивала. Прије средине 1970-их, готово да није било очигледног тренда у љетним данима, али се њихов глобални просјечни број брзо повећавао од средине 1970-их – од тада, осим негативних аномалија у периодима 1983–1985. и 1992–1993. године (због утицаја ерупције вулкана Пинатубо 1991. године), у свим осталим годинама забиљежене су позитивне аномалије, са највишим позитивним вриједностима током посљедње деценије. Учесталост тропских ноћи такође је повећана у већини дијелова свијета, упркос тренду опадања у малом подручју централног дијела САД. Промјена тропских ноћи слична је љетним данима, али је величина тренда љетних дана углавном била већа.

Уочени глобални трендови индекса екстремних температура – позитивни трендови екстрема високих температура (љетни дани, тропски дани, тропске ноћи, топли дани и ноћи, топли таласи) и негативни трендови екстрема ниских температура (хладни дани и ноћи, мразни дани, ледени дани, хладни таласи) – потврђени су и истраживањима на континенталном, регионалном и локалном нивоу у Европи (Klein Tank and Können 2003; Kioutsioukis et al. 2010; Brugnara et al. 2016; Fonseca et al. 2016; Lakatos et al. 2016; Domínguez-Castro et al. 2020), Азији (Caesar et al. 2011; Yin et al. 2015; Supari et al. 2017; Dong S et al. 2018), Африци (New et al. 2006; Kruger and Nxumalo 2017; Barry et al. 2018; Gebrechorkos et al. 2019; van der Walt and Fitchett 2021), Сјеверној и Јужној Америци (Aguilar et al. 2005; de los Milagros Skansi et al. 2013; Smith et al. 2013; Heim et al. 2015; Meehl et al. 2016), Аустралији (Caloiero 2017; Trewin et al. 2020) итд.

Интензитети трендова у нашем региону донекле се разликују од трендова осматраних на глобалном нивоу – у нашем региону промјене највиших и најнижих максималних температура ваздуха биле су израженије него промјене највиших и најнижих минималних температура, а промјене учесталости топлих

и хладних дана биле су израженије од промјена топлих и хладних ноћи (Bartholy and Pongrácz 2007; Kioutsioukis et al. 2010; Burić et al. 2015; Dumitrescu et al. 2015; Malinovic-Milicevic et al. 2016; Milošević et al. 2017; Ruml et al. 2017; Popov et al. 2018г, 2019б; Попов 2020). С друге стране, на глобалном нивоу уочени трендови смањења учесталости појаве мразних дана и ледених дана, те још израженији трендови повећања учесталости појаве љетних дана и тропских ноћи утврђени су и у нашем региону (Bartholy and Pongrácz 2007; Burić et al. 2015; Dumitrescu et al. 2015; Malinovic-Milicevic et al. 2016; Ruml et al. 2017; Popov et al. 2018в, 2018г, 2019б; Попов 2020). У складу с осмотреним трендом загријавања, и на простору Републике Српске и Босне и Херцеговине утврђени су статистички значајни негативни трендови броја ледених дана (0,8–2,4 дана по деценији) и броја мразних дана (2,1–6,4 дана по деценији), као и значајни позитивни трендови броја љетних дана (3,1–7,4 дана по деценији), броја тропских дана (4,5–6,7 дана по деценији) и броја тропских ноћи (Попов 2020; Popov et al. 2017б, 2018ц). Утврђени позитивни трендови учесталости топлих дана (8,6–11,8 дана по деценији) и топлих ноћи (8,2–13,8 дана по деценији) били су знатно израженији него негативни трендови хладних дана (3,1–4,5 дана по деценији) и хладних ноћи (4,0–6,0 дана по деценији) (Попов 2020; Popov et al. 2018д, 2019б). На цијелој територији Босне и Херцеговине утврђени су статистички значајни позитивни трендови дужине трајања топлих таласа (3,3–5,3 дана по деценији), док је дужина трајања хладних таласа смањена по незнатним вриједностима трендова који нису значајни у већем дијелу територије (0,6–0,9 дана по деценији) (Popov et al. 2018г, 2019б; Попов 2020).

Значајна промјена у трендовима индекса екстремних температура у свијету десила се 1970-их (Heim et al. 2015; Zhang et al. 2019). Иако за све температурне индексе глобална аномалија показује значајан тренд загријавања током периода 1951–2015. године, промјене су се углавном догодиле у периоду 1976–2015. године; за већину индекса величина тренда у периоду 1951–1976. године била је мала и статистички инсигнификантна (Zhang et al. 2019). Амерички индекс климатских екстрема, који интегрише неколико индекса екстрема, указује на то да су 1940-те и 1960-те биле деценије најстабилније климе (са најмањом појавом екстрема) у посљедњих око стотину година, док су посљедње деценије постале једнако нестабилне (промјенљиве) као ране деценије XX вијека или чак нестабилније (Heim et al. 2015). Li et al. (2018) наводе да су се одређене перзистентне промјене у дистрибуцији индекса екстремних температура догодиле већ 1960-их година. До 2000. године настале су трајне промјене у расподјели топлих ноћи и хладних ноћи у већини копнених подручја свијета (65% за топле ноћи и 70% за хладне ноћи), док су се промјене у расподјели топлих дана и хладних дана догодиле у значајном

удјелу (22% за топле дане и 32% за хладне дане). Уочене промјене индекса екстремних температура карактерише помак ка више топлих дана и топлих ноћи и мање хладних дана и хладних ноћи, у складу са глобалним загријавањем.

За процјену степена научног консензуса о климатским промјенама изазваним антропогеним активностима користе се различите методе, укључујући анкете стручњака и прегледе рецензиране литературе – обје методе подударају се у закључку да је 97% или више научника увјерено да се дешавају климатске промјене које је изазвао човјек (Maibach et al. 2014). Према шест независних студија које су се бавиле анализом атрибуције климатских промјена, консензус да људи узрокују недавно глобално загријавање дијели 90–100% научника са објављеним радовима у области климатологије (Cook et al. 2016). Cook et al. (2013) анализирали су развој научног консензуса о антропогеном глобалном загријавању у рецензираној научној литератури, испитујући 11.944 сажетка о клими објављена у периоду 1991–2011. године који се подударају са темама „глобалне климатске промјене“ или „глобално загријавање“. Открили су да 66,4% сажетака није изразило никакав став о антропогеном глобалном загријавању, 32,6% подржало је антропогено глобално загријавање, 0,7% одбацило је антропогено глобално загријавање, а 0,3% било је несигурно у вези са узроком глобалног загријавања. Међу 4.014 сажетака који изражавају став о антропогеном глобалном загријавању, 97,1% подржало је консензус да људи узрокују глобално загријавање. Став о консензусу артикулише и изјава Међувладиног панела за климатске промјене да је „антропогени утицај био доминантан узрок утврђеног загријавања од средине XX вијека“ (Cook et al. 2016).

Ефикасно радијационо форсирање, које укључује тренутно форсирање плус прилагођавања атмосфере и Земљине површине, постало је кључна метрика за процјену утицаја човјека и природе на климу. Глобално средње антропогено форсирање 2014. године у односу на преиндустријски ниво (1850. година) према климатским моделима износи $2,00 \pm 0,23 \text{ W m}^{-2}$, а састоји се од $1,81 \pm 0,09 \text{ W m}^{-2}$ форсирања CO_2 , $1,08 \pm 0,21 \text{ W m}^{-2}$ форсирања осталих гасова са ефектом стаклене баште, $-1,01 \pm 0,23 \text{ W m}^{-2}$ форсирања аеросола и $-0,09 \pm 0,13 \text{ W m}^{-2}$ форсирања промјене намјене земљишта; већина од преосталих $0,21 \text{ W m}^{-2}$ вјероватно потиче од озона (Smith et al. 2020).

Loeb et al. (2021) су на основу сателитских и *in situ* посматрања утврдили да је Земљина „енергетска неравнотежа“³ порасла од средине 2005. године до средине 2019. године за $0,50 \pm 0,47 \text{ W m}^{-2}$ по деценији. Наведени тренд је првенствено био условљен повећањем количине апсорбованог Сунчевог зрачења повезаног са смањеном рефлексијом од облака и морског леда и смањеним одлазећим дуготаласним зрачењем усљед повећања гасова у траговима и водене паре.

Независне промјенљиве, укључујући CO_2 , остале гасове са ефектом стаклене баште, начин коришћења земљишта и природно форсирање, доприносе повећању глобалне средње површинске температуре, док остале промјенљиве, укључујући аеросоле, црни угљеник (чађ) на снијегу, озон, водену пару и контраил (коефицијенти посљедње три промјенљиве нису значајни) доприносе хлађењу, тј. смањењу глобалне средње површинске температуре (Qian et al. 2021). Релативни допринос различитих фактора форсирања промјенама глобалне средње површинске температуре варира током времена, али је утврђено да се већина загријавања од 1891. године може приписати нето утицају пораста атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште и антропогених аеросола (упркос важним утицајима природне варијабилности) (Folland et al. 2018). Дакле, од двије врсте спољашњих фактора, антропогено форсирање изазвало је већи дио загријавања глобалне средње површинске температуре од 1850. године (Dong S et al. 2018; Haustein et al. 2019; Qian et al. 2021). Guiot et al. (2010) наводе да се хладни периоди прије XX вијека могу дјелимично објаснити ниском соларном активношћу и/или високом вулканском активношћу, а да би се средњовјековно топло доба могло довести у везу са већом соларном активношћу. Међутим, само антропогено форсирање може објаснити изузетно висок пораст температуре током XX вијека. Ribes et al. (2017) наводе да се већина запаженог загријавања током периода 1951–2010. године ($+0,65 \text{ K}$) може приписати антропогеним форсирањима ($+0,67 \pm 0,12 \text{ K}$), са врло ограниченим доприносом природних форсирања ($-0,01 \pm 0,02 \text{ K}$). Синтеза резултата студија атрибуције климатских промјена заснованих на палеоклиматским реконструкцијама од 1750. године и на инструменталним мјерењима показује како су гасови са ефектом стаклене баште почели да узрокују загријавање климатског система од почетка индустријализације, с тим да се њихов утицај с временом повећавао, па данас доминира (Hegerl et

³ Земљина „енергетска неравнотежа“ је релативно мала (тренутно $\sim 0,3\%$) разлика између глобалне средње апсорбоване Сунчеве радијације и топлотне инфрацрвене радијације која се емитује у свемир (Loeb et al. 2021). Одређена је природним и антропогеним климатским форсирањем и одговором климатског система на та форсирања. Такође је под утицајем унутрашње варијабилности климатског система. Већина Земљине „енергетске неравнотеже“ загријава океан, док остатак загријава копно, топи лед и загријава атмосферу.

al. 2019). Jones et al. (2016) наводе да је од примијећеног загријавања током XX вијека од 0,65 К по вијеку, загријавање форсирано гасовима са ефектом стаклене баште износило од 0,87 К до 1,22 К по вијеку (дјелимично смањено хлађењем од других антропогених и природних утицаја од -0,54 К до -0,22 К по вијеку). Прије друге половине XX вијека, емисије гасова са ефектом стаклене баште полако су се повећавале, па се и глобална средња површинска температура ваздуха споро повећавала, а у период брзог загријавања улази од 1970-их (Qian et al. 2021). Mann et al. (2016) наводе да би недавни низ рекордно топлих година (9 од 10 најтоплијих, као и 13 од 15 најтоплијих година до 2015. године догодило се од 2000. године) био врло мало вјероватан (вјероватноћа мања од један на десет хиљада) у одсуству антропогеног загријавања, али релативно вјероватан у његовом присуству (вјероватноћа рекордних температурних циклуса од 13/15 и 9/10 година износила је 76% и 88%, респективно, за сјеверну хемисферу, односно 72% и 83%, респективно, за свијет глобално). Mann et al. (2017) утврдили су да би низ рекордних температура у 2014, 2015. и 2016. години имао занемарљиву (< 0,03%) вјероватноћу појаве у одсуству антропогеног загријавања.

Испитивање симулација са антропогеним форсирањем и без њега пружило је доказ да је већа вјероватноћа да су осмотрене промјене екстремних индекса температуре антропогене него природе (на њих је посебно утицао историјски пораст антропогених емисија гасова са ефектом стаклене баште) (Li et al. 2018). Seong et al. (2021) су у студији атрибуције уочених глобалних и регионалних промјена у индексима екстремних температура у периоду 1951–2015. године открили да се антропогени сигнали робусно детектују, одвојено од природног форсирања, на глобалном нивоу као и на свим анализираним континенталним скалама (Сјеверна и Јужна Америка, Европа, Азија и Океанија) за већину индекса екстремних температура. Антропогене сигнале су такође открили у многим субконтиненталним регионима, посебно за топле екстреме (у више од 60% од 33 подрегије). Анализа детекције три сигнала: гасова са ефектом стаклене баште, аеросола и природног форсирања показује да су сигнали гасова са ефектом стаклене баште откривени изоловано од других спољашњих форсирања како на глобалном, тако и на континенталним и неколико субконтиненталних нивоа, посебно за топле климатске екстреме, (објашњавају већину утврђеног загријавања). Антропогени утицаји се у овој студији чешће откривају, у поређењу са претходним студијама, посебно за хладне екстреме, због продуженог периода анализе и побољшане просторне покривености посматрања. Hu et al. (2020) такође су утврдили да је антропогено форсирање, у коме доминирају гасови са ефектом стаклене баште, играло најважнију улогу у промјенама индекса топли дани, топле ноћи, хладни дани и хладне ноћи у периоду 1951–2018. године. Анализе које су укључивале

истраживање сигнала антропогених и природних спољашњих форсирања потврђују да се антропогени сигнал може детектовати на глобалном копну у цјелини, као и на већини континената за све индексе екстремних температура. Анализа која је укључивала сигнале као што су гасови са ефектом стаклене баште, антропогени аеросоли и природно спољашње форсирање показује да се сигнал гасова стаклене баште детектује у свим индексима широм свијета и на већини континената, док се сигнал антропогени аеросоли може детектовати углавном на топлим екстремима, али не и на хладним екстремима широм свијета и на већини континената. Ефекат природног спољашњег форсирања је занемарљив у већини копнених подручја. Ефекат загријавања који узрокују гасови са ефектом стаклене баште дјелимично се компензује ефектом хлађења антропогеним аеросолима. Аутори истраживања наводе да комбиновани ефекти оба сигнала објашњавају већину утврђених промјена широм свијета и континената.

Због природне декадне промјенљивости климе (на примјер, Атлантске вишедеценијске осцилације и Пацифичке декадне осцилације) пораст глобалне средње површинске температуре ваздуха није монотон, иако се концентрације атмосферских гасова са ефектом стаклене баште непрекидно повећавају (Wu T et al. 2021).

Друга форсирања проузроковала су значајна одступања од овог савременог тренда загријавања, који се може приписати гасовима са ефектом стаклене баште. На примјер, вулканске ерупције изазивају снажно захлађење након периода необично снажних активности, као што је то био случај почетком 19. вијека, или загријавање током периода слабе активности, која је забиљежена почетком и средином XX вијека (Hegerl et al. 2019). На глобалну средњу површинску температуру ваздуха знатно је утицало спољашње форсирање пет великих вулканских ерупција: вулкана Кракатау у Индонезији (ерупција 1883. године), вулкана Монт Пеле на Мартинику (ерупција 1902. године), вулкана Агунг у Индонезији (ерупција 1963. године), вулкана Килауеа на Хавајима у САД (ерупција 1983. године) и вулкана Пинатубо на Филипинима (ерупција 1991. године) (Qian et al. 2021).

Антропогено форсирање аеросола највјероватније је пригушило глобално загријавање, које се може приписати гасовима са ефектом стаклене баште током XX вијека, посебно од убрзаног повећања емисије сулфатних аеросола почев од 1950. (Hegerl et al. 2019). Вишедеценијске варијације у атмосферским модовима такође могу проузроковати дуготрајну климатску варијабилност, што је очигледно на примјеру Сјеверноатлантске осцилације (Hegerl et al. 2019).

Климатски модели предвиђају широк распон промјена температура до краја XXI вијека према различитим сценаријима будућих емисија гасова са ефектом стаклене баште и других антропогених форсирања климе (Stott et al. 2013). Пројекције температуре за три периода 2021–2040, 2041–2060. и 2081–2100. године дате у Sung HM et al. (2021) показују да ће температура расти према свим сценаријима емисија. Пројекције за период 2021–2040. године сличне су у свим сценаријима; међутим, пројекције за период 2081–2100. године показују значајна одступања у различитим сценаријима. Према 4 сценарија првог нивоа CMIP6, SSP1–2.6, SSP2–4.5, SSP3–7.0 и SSP5–8.5, на основу нових путева концентрације CO₂, глобална температура ће у периоду 2081–2100. године у односу на данашњу температуру (1995–2014) бити виша за 1,92±0,22 °C, 3,02±0,47 °C, 4,28±0,62 °C и 5,20±0,71 °C, респективно. Према сценаријима са високим концентрацијама CO₂ (SSP3–7.0 и SSP5–8.5) предвиђа се веће загријавање крајем XXI вијека над копном него над океаном. Очекује се да ће се највећи пораст температуре догодити у арктичким регионима, док ће степен загријавања бити мањи над сјеверним Атлантиком и Јужним океаном. Пројекције Tebaldi et al. (2021) показују да ће према свим сценаријима 1,5 °C загријавања у поређењу са референтним периодом 1850–1900. године бити достигнут у другој половини ове деценије. Степен загријавања од 2 °C биће достигнут већ 2039. године према SSP5–8.5 или средином 2060-их према SSP1–2.6. Највиши ниво загријавања који су аутори разматрали (5 °C) биће достигнут само под SSP5–8.5 и тек средином 2090-их. У САД, на примјер, иако постоји несигурност у тачном одређивању тренутка када ће се прекорачити прагови загријавања од 1,5 °C и 2 °C, преко 80% модела пројектује најмање 2 °C загријавања до 2050. године у свим регионима САД према сценарију високих емисија (Karmalkar and Bradley 2017). На глобалном нивоу, утицаји и ризици се повећавају са порастом температуре. На примјер, Arnell et al. (2019) наводе да се глобална просјечна шанса за снажни топли талас повећава са 5% у периоду 1981–2010. године на 28% при загријавању од 1,5 °C и на 92% при загријавању од 4 °C, за пољопривредну сушу са 9% на 24% и 61%, а за 50-годишњи повратни период за поплаве са 2% на 2,4% и 5,4%. Истраживање Bathiany et al. (2018) показује да климатски модели досљедно пројектују пораст температурне варијабилности до краја XXI вијека у тропским земљама, при чему је подручје Амазоније посебно изражено жариште. Током сезоне са максималном инсолацијом, варијабилност температуре ваздуха у Амазонији и јужној Африци повећаваће се за око 15% по степену глобалног загријавања, а до 10% по степену глобалног загријавања у Сахели, Индији и југоисточној Азији. Изван тропске зоне предвиђа се да ће се варијабилност температуре у просјеку смањити због смањеног меридионалног градијента температуре и губитка морског леда. Наведена анализа показује да ће земље које су најмање допринијеле климатским промјенама а најосјетљивије су на утицаје екстремних

климатских догађаја, доживјети најјачи пораст варијабилности температуре. Стога ће ове промјене додатно појачати неједнакост повезану са утицајима климатских промјена.

Према симулацијама CMIP6 модела, и температурни екстреми показиваће веома изражено загријавање у читавом свијету током XXI вијека, без обзира на избор сценарија форсирања (Stott et al. 2013). Средње промјене CMIP6 мултимодела у 50-годишњим повратним вриједностима максималне дневне максималне температуре и минималне дневне минималне температуре у периоду 2071–2100. у односу на референтни период 1985–2014. године предвиђају да ће максимална дневна максимална температура порастити у просјеку за 5,3 °C (3,7–7,3 °C) до краја вијека према сценарију SSP5–8.5, док ће одговарајуће загријавање минималне дневне минималне температуре износити 5,0 °C (4,0–8,2 °C); социоекономски пут са нижим емисијама, као што је SSP1–2.6, смањио би загријавање максималне дневне максималне температуре ваздуха за 1,3 °C (0,8–2,1 °C), а минималне дневне минималне температуре за 1,7 °C (1,2–3,2 °C) (Li et al. 2021). У односу на садашњи ниво, број топлих дана ће се повећати три пута, посебно у централној Африци, западној Индији, јужној Кини, југоисточној Азији, сјеверном дијелу Јужне Америке и Средњој Америци. Број хладних ноћи ће се смањити за око 93% у поређењу са садашњим нивоом, посебно у сјеверној и јужној Африци, Европи, Русији, Аустралији и регионима високих планина, укључујући главне планинске вијенце (на примјер, Алпи, Стјеновите планине и Анде) и Тибетански плато (Sung HM et al. 2021). До краја XXI вијека, пројектована учесталост мразних дана и ледених дана према репрезентативним путевима концентрације смањиће се за 21 и 17 дана према RCP4.5, односно за 43 и 32 дана према RCP8.5, док ће се вриједност тропских дана и љетних дана повећати за 18 и 25 дана према RCP4.5, односно 38 и 44 дана према RCP8.5 (Zhou et al. 2014). Пројектована магнитуда повећања топлих таласа много је већа према сценарију RCP8.5 (повећање за 136 дана) него према сценарију RCP4.5 (повећање за 49 дана), док не постоји велика разлика у пројектованој амплитуди смањења хладних таласа према два наведена сценарија (смањење за 4 и 3 дана) (Zhou et al. 2014).

Предвиђа се да ће антропогене климатске промјене довести до загријавања, закисељавања, деоксигенације, смањења површинских хранљивих састојака и промјена примарне производње океана, што ће све утицати на морске екосистеме. Према сценарију високе емисије SSP5–8.5, глобална средња промјена мултимодела (средње вриједности у периоду 2080–2099. у односу на референтни период 1870–1899. године) за површинску температуру мора износиће $+3,47 \pm 0,7$ °C, а рН површине $-0,44 \pm 0,005$, док ће према сценарију SSP1–2.6 са ниским емисијама и високим ублажавањем климатских промјена,

одговарајуће глобалне промјене износити $+1,42 \pm 0,32$ °C, односно $-0,16 \pm 0,002$ (Kwiatkowski et al. 2020).

Резултати указују да ће промјена климатских услова у Европи бити много интензивнија у XXI вијеку него што је била у XX вијеку. Доминантни процес у пројекцијама климатских промјена у Европи биће загријавање (Breuer et al. 2018). Резултати истраживања Cardell et al. (2020) сугеришу да ће се и широм Европе знатно повећати учесталост топлих дана, а смањивати учесталост хладних ноћи. Пораст магнитуде топлих таласа очекује се на цијелом европском континенту, а највише ће бити погођени региони југоисточне Европе и Медитерана. Супротно томе, највеће смањење хладних таласа биће присутно у сјеверној Европи. Пројекције трендова у сезони љето у Европи показују да ће максималне температуре премашити садашњих T_{max95} током више од 10% дана до краја XXI вијека. Топли екстреми биће чешћи до периода 2071–2095. године, посебно у западној Европи и на Медитерану. Општи пораст фреквенције, трајања и магнитуде топлих таласа очекује се у свим годишњим добима до 2071–2095. године. Према Zhao et al. (2021), генерално, најхладнији дан, најхладнија ноћ, љетни дани и тропске ноћи у Евроазији показиваће тренд пораста, а мразни дани тренд опадања, што је у складу са глобалним загријавањем у будућности.

Одговори на глобално загријавање биће најјачи у високим географским ширинама за минималну дневну максималну температуру и минималну дневну минималну температуру ваздуха, у високим географским ширинама и великим надморским висинама за мразне дане, а у неким подручјима у нижим географским ширинама за љетне дане и тропске ноћи.

4.2.3. Промјене режима падавина

Промјене у глобалним и регионалним одликама режима падавина су међу најрелевантнијим аспектима климатских промјена у свијету који се загријава, али ипак постоји мало консензуса о уоченим и очекиваним промјенама у просторним и сезонским обрасцима падавина (Donat et al. 2016).

Глобално загријавање директно утиче на падавине. Како се клима загријава, очекује се да ће количина влаге у атмосфери, којом управља Клаузијус-Клаперон једначина, расти много брже од укупне количине падавина, којом управља прорачун површинске топлоте испаравањем (Trenberth et al. 2003). Повећано загријавање доводи до већег испаравања, а тиме и до исушивања површине, повећавајући тако интензитет и трајање суше. Међутим, капацитет задржавања воде у ваздуху повећава се за око 7% на 1 °C загријавања, што

доводи до повећања водене паре у атмосфери (Trenberth et al. 2003; Trenberth 2011). Генерално, примијећено је да се количина атмосферске влаге повећава у атмосфери након отприлике 1973. године (Trenberth et al. 2003). Због тога олује, било да се ради о појединачним грмљавинским олујама, екстратропским кишним или сњежним олујама или тропским циклонима, које су снабђевене повећаном влагом, производе и интензивније падавине (Trenberth 2011). Будући да се са загријавањем јавља више падавина, јер се падавине излучију у облику кише умјесто у облику снијега, а и снијег се топи раније, повећава се отицање и ризик од поплава у рано прољеће, али и ризик од суше љети, нарочито у континенталним областима (Trenberth 2011). Међутим, са више падавина по јединици кретања нагоре у атмосфери, атмосферска циркулација слаби, што доводи до слабљења монсуна (Trenberth 2011). У тропским и суптропским предјелима обрасцима падавина доминирају промјене усљед промјена температура морске површине, а Ел Нињо феномен је добар примјер (Trenberth 2011). Ерупција вулкана на планини Пинатубо 1991. године довела је до смањења падавина и отицаја на копну и до широко распрострањене суше, јер су падавине прелазиле са копна на океане, а испаравање је смањено (Trenberth 2011).

Глобалне падавине на Земљи порасле су за око 2% од почетка XX вијека, међутим, иако је повећање статистички значајно, није просторно ни временски једнолично (Dore 2005). Током XX вијека просјечне годишње падавине порасле су за 7–12% у зони 30–85° с. г. ш. и за око 2% у зони 0–55° ј. г. ш. У средњим и високим географским ширинама сјеверне хемисфере падавине су углавном повећане, посебно током сезона јесен и зима, али се то повећање разликује и просторно и временски. Супротно томе, у суптропским предјелима сјеверне хемисфере падавине су смањене са маргиналном статистичком значајношћу (у великој мјери одговорно за деценијско смањење глобалних падавина на Земљи од средине 1980-их до средине 1990-их). Од 1995. године забиљежене су рекордно ниске количине падавина у екваторијалним регионима, док су се суптропска подручја опоравила од својих аномално ниских вриједности из 1980-их година.

Adler et al. (2017) наводе да у периоду сателитских осматрања (1979–2014) није утврђен значајан тренд глобалне просјечне количине падавина, за разлику од површинске температуре и атмосферске водене паре. Међутим, утврђено је постојање обрасца позитивних и негативних трендова широм планете са повећањем у тропским дијеловима океана (у западном дијелу Тихог и Индијског океана, у уском појасу дуж Интертропске зоне конвергенције у централном и источном дијелу Тихог океана и у Јужнопацифичкој зони конвергенције) и смањењем у неким регионима средњих географских ширина. Површинска температура показује јасан тренд пораста у наведеном периоду

(од 0,16 К по деценији), док глобалне падавине показују тренд готово једнак нули (мала стопа пораста мања од 0,01 мм дневно по деценији или 1,3% по К).

И из друштвене и из климатске перспективе, интензитет, трајање, учесталост и облик падавина подједнако су важни као и промјене укупне количине падавина (Trenberth et al. 2003).

Обрасци промјене падавина разликују се не само између региона већ и између различитих аспеката падавина као што су укупна количина падавина и екстремни падавина. У клими која се загријава, очекује се интензивирање глобалног хидролошког циклуса, иако би повећане концентрације аеросола могле да се супротставе овом ефекту (Donat et al. 2016). Глобално, иако нису примијећене снажне промјене у укупним количинама падавина, проналазе се уочљиви пораст екстрема падавина, међутим, просторни обрасци промјена су хетерогени, а различити региони показују супротне трендове – посматрања показују да је број региона у којима су се догађаји обилних падавина повећали већи од броја региона у којима су смањили, иако постоји знатна варијабилност у обрасцима просторног тренда (Donat et al. 2016). Дакле, за разлику од промјена температуре, мало је трендова индекса екстремних падавина (као што су, на примјер, PRCPTOT – годишња количина падавина на влажне дане, RX1day – максимална једнодневна количина падавина, RX5day – максимална петодневна количина падавина, SDII – стандардни дневни интензитет падавина, R1mm – влажни дани, R10mm – дани са интензивним падавинама, R20mm – дани са веома интензивним падавинама, R95p – веома влажни дани, R99p – изузетно влажни дани, CDD – узастопни суви дани и CWD – узастопни влажни дани) који су значајни на глобалном нивоу (Alexander et al. 2006). За различите индексе широм свијета утврђено је постојање трендова оба знака промјене, али углавном инsigнификантних и просторно некохерентних.

Contractor et al. (2021) наводе да је у периоду 1950–2016. године количина падавина повећана у већини копнених подручја широм свијета према расподјели влажних дана (≥ 1 мм). Распрострањено повећање учесталости влажних дана примијећено је широм Азије и САД, а веома распрострањено повећање интензитета падавина широм Европе и Аустралије. На основу поређења просторног обрасца промјена учесталости, интензитета и расподјеле дневних укупних вриједности, аутори истраживања наводе да су промјене слабих и умјерених падавина утицале на промјене учесталости падавина, док су промјене екстремних падавина првенствено утицале на промјене њихових интензитета. Упркос несигурностима у промјенама укупних падавина, екстремне дневне падавине у просјеку, и у сувим и у влажним регионима, показују снажан пораст током посљедњих шест деценија – утврђено је статистички значајно повећање индекса максимална једнодневна количина падавина и

годишња количина падавина на влажне дане у сувим регионима и индекса максимална једнодневна количина падавина у влажним регионима, са вриједностима тренда од 1–2% по деценији (тренд је слабије изражен за PRCPTOT у влажним регионима – 0,3% по деценији) (Donat et al. 2016).

Глобална анализа Dunn et al. (2020) показује да су просторне промјене линеарних трендова индекса падавина у периоду 1950–2018. године мање просторно кохерентне од промјена индекса температуре ваздуха – глобално, забиљежено је више обилних падавина, које су такође интензивније и доприносе већем удјелу у укупној количини падавина. Индекс број дана са R10mm показује врло мало глобалних промјена током читавог периода 1901–2018. године, мада постоје индикације благог повећања индекса у посљедњим деценијама. Међутим, још постоје регионално сусједна подручја у којима су забиљежени и позитивни и негативни трендови (на примјер, у Јужној Америци, на Андима и у источној Амазонији присутни су трендови смањења, а трендови повећања доминирају на простору од сјеверне Аргентине до карипске обале). Уједначен и умјерен пораст броја дана са R10mm примијећен је у Сјеверној Америци и у високим географским ширинама Евроазије. Већи пораст примјећује се у подручју од југоисточне Азије све до централне Аустралије. Међутим, број дана са R10mm смањује се на подручју око Медитерана па све до Блиског истока. Глобалне временске серије показују очигледан пораст од 1970-их година. У просјеку, на глобалним копненим површинама, неки од индекса падавина показују благе трендове ка влажнијим условима, попут статистички значајног повећања количина падавина изнад 95. и 99. перцентила (Westra et al. 2013). Допринос веома влажних дана (R95p) глобално се повећава, са додатних 1–2% падавина које падају током ових дана (Dunn et al. 2020). Максимална једнодневна количина падавина показује снажни пораст од око 2 мм по деценији у источној половини Сјеверне Америке, као и у источним дијеловима јужне Јужне Америке, дијеловима Индије и Кине; мањи пораст примјећује се у Европи (Dunn et al. 2020). Глобална временска серија показује да су максималне једнодневне количине падавина 2–3 мм више него у периоду 1961–1990. године. На близу двије трећине станица забиљежен је њихов пораст, док се статистички значајни и све израженији трендови могу открити на глобалном нивоу (Westra et al. 2013). Резултати су показали да су на 8,6% станица утврђени статистички значајни трендови повећања, а на 2,0% станица значајни трендови смањења; на 64% станица забиљежени су растући трендови, а на 36% опадајући (Dunn et al. 2020). Екстремне падавине порасле су на око двије трећине анализираних станица, укључујући континенте Европу, Азију и Сјеверну Америку, као и регионе централну Сјеверну Америку, источну Сјеверну Америку, сјеверну Централну Америку, сјеверну Европу, руски Далеки исток, источну централну Азију и

источну Азију (Sun Q et al. 2021). Westra et al. (2013) утврдили су да се средњи интензитет екстремних падавина мијења сразмјерно промјенама глобалне средње температуре брзином између 5,9% и 7,7% по степену 1 К загријавања, у зависности од методе анализе. Sun Q et al. (2021) наводе да процентуална промјена екстремних падавина по порасту глобалне средње површинске температуре од 1 К износи 6,6% (5,1–8,2%) за максималне једнодневне количине падавина и 5,7% (5,0–8,0%) за максималне петодневне количине падавина. И краткотрајне (1–3 сат) и дуготрајне (> 1 дан) екстремне падавине појачавају се загријавањем по стопи која је у складу са порастом атмосферске влаге (око 7% по К); међутим, у неким регионима повећава се и интензитет краткотрајних екстремних киша, јаче него што се очекивало само од повећања влаге (Fowler et al. 2021). Ова јача локална повећања повезана су са повратним спрегама у конвективним облацима, али њихова тачна улога није још сигурна.

Уочене промјене у екстремним падавинама просторно су мање конзистентне у поређењу са доминантним трендом загријавања примијећеним у индексима екстремних температура током посљедњих 60 година, а такође су углавном мање статистички значајне (Westra et al. 2013). Многи од наведених индекса падавина конзистентно указују (у неким случајевима и на значајан) пораст екстремних падавина у источном дијелу Сјеверне Америке, источне Европе и Скандинавије, тропском дијелу сјеверне Аустралије и Бразилу (Westra et al. 2013). Генерално, инsigнификантни трендови повећања сушности утврђени су у источној Азији, сјеверозападу Сјеверне Америке, југозападу Европе и у неким регионима у источној и југозападној Аустралији (Westra et al. 2013).

Анализа атрибуције промјена индекса екстремних падавина коју су извршили Min et al. (2011) показала је да је антропогено повећање гасова са ефектом стаклене баште допринијело осмотреном интензивирању обилних падавина утврђеном на приближно двије трећине дијелова копнених подручја сјеверне хемисфере. Резултати анализа показују укупне растуће трендове на 65% и 61% укупно обухваћених подручја у којима су забиљежени позитивни трендови максималних једнодневних и петодневних количина падавина, респективно. Анализа годишњих вриједности наведена два индекса на копненом подручју сјеверне хемисфере у периоду 1951–2005. године показује да се ефекат антропогених форсирања може открити у екстремним падавинама, како појединачно, тако и када се истовремено процјењују промјене узроковане антропогеним и природним форсирањем (ефекат природних форсирања није уочен) (Zhang et al. 2013). Аутори процјењују да је антропогени утицај у просјеку интензивирао годишње максималне једнодневне количине падавина на узоркованим локацијама сјеверне хемисфере за 3,3% (1,1–5,8%), што одговара њиховом просјечном појачавању од 5,2% (1,3–9,3%) по степену пораста глобалне средње површинске температуре у складу са Клаузијус–

Клапејроновом једначином. Резултати истраживања Paik et al. (2020) такође показују да је снажан антропогени утицај гасова са ефектом стаклене баште откривен у примијећеном интензивирању екстремних падавина у периоду 1951–2015. године на глобалном копну и у већини разматраних подрегија (екстратропски дио сјеверне хемисфере, тропска подручја, три континентална региона – Сјеверна Америка, западна и источна Евроазија, те глобална „сува“ и „влажна“ копнена подручја), уз јасно одвајање од природних и антропогених форсирања аеросола. Такође, аутори су утврдили да повећање гасова са ефектом стаклене баште доминантно доприноси примијећеном порасту екстремног интензитета падавина, што у великој мјери прати повећану доступност воде под глобалним загријавањем.

Резултати глобалних студија које су утврдиле постојање трендова средњих и екстремних падавина оба знака, али често инsigнификантних и просторно некохерентних, потврђени су бројним истраживањима на континенталном, регионалном и локалном нивоу широм свијета (Aguilar et al. 2005; Groisman et al. 2005; Caesar et al. 2011; de los Milagros Skansi et al. 2013; Zhang and Cong 2014; Heim et al. 2015; Yin et al. 2015; Supari et al. 2017; Armal et al. 2018; Barry et al. 2018; Gebrechorkos et al. 2019; Kim et al. 2019), укључујући и Европу (Klein Tank and Können 2003; Kioutsioukis et al. 2010; van den Besselaar et al. 2013; de Lima et al. 2015; Dumitrescu et al. 2015; Bartolomeu et al. 2016; Łupikasza et al. 2017; Popov et al. 2017в, 2018б; Mathbout et al. 2018; Zeder and Fischer 2020).

У анализама временских серија падавина просјечних за европски континент, тешко је утврдити значајан тренд падавина, посебно од 1950-их година (Dore 2005). Тренд годишњих падавина у XX вијеку карактеришу у основи појачане падавине у сјеверној половини Европе (тј. сјеверно од Алпа до сјеверне Феноскандинавије), са порастом у распону од 10% до готово 50%. За разлику од тога, у неким областима региона који се протеже од Медитерана преко средње Европе до европског дијела Русије и Украјине забиљежено је смањење падавина од чак 20%. Сувљи зимски услови у јужној Европи и на подручју Медитерана и влажнији од нормалних услова у многим дијеловима сјеверне Европе и Скандинавије повезани су са снажним позитивним вриједностима Сјеверноатлантске осцилације, са више антициклоналних услова над јужном Европом и јачим западним вјетровима над сјеверном Европом.

Значајнији трендови екстремних падавина у Европи од средине XX вијека утврђени су у низу студија (van den Besselaar et al. 2013; Zeder and Fischer 2020). Van den Besselaar et al. (2013) утврдили су да су, упркос значајној декадној варијабилности, 5-, 10- и 20-годишњи догађаји максималних једнодневних и петодневних падавина за првих 20 година анализираних периода 1951–2010. године углавном постали чешћи током 60-годишњег периода. За све регионе,

годишња доба и повратне периоде, медијана смањења повратног периода између првог и посљедњег анализираних 20-годишњег периода износи око 21% са варијацијама између пада од ~2% и ~58%. Łupikasza et al. (2017) показали су да су значајни трендови екстремних падавина (дефинисаних као дневна количина која прелази 95. перцентил) у Европи у периоду између 2008. до 2015. године били ријетки, чинећи приближно 25% до 30% свих анализираних трендова, и ријетко су били кохерентни. Ипак, већина ових значајних трендова била је позитивна, осим у сезони љето, када је утврђена готово једнака учесталост позитивних и негативних трендова. Анализа трајања влажних периода (узастопни дани са знатнијим падавинама) у Европи и с њима повезаним падавинама у периоду 1950–2008. године коју су извршили Zolina et al. (2010) показала је да су влажни периоди постали дужи у већини подручја Европе за 15–20%, али продужавање влажних периода није изазвано повећањем укупног броја влажних дана. Све дужи влажни периоди у Европи сада се одликују обилнијим падавинама. Јаке падавине током посљедње двије деценије постале су много чешће и појачале су се у поређењу са 1950-им и 1960-им годинама. Регион Медитерана је једно од најизраженијих жаришта климатских промјена у свијету, а екстремни климатски феномени у овом региону, попут суше, постали су чешћи и интензивнији током периода 1961–2012. године (Mathbout et al. 2018). Екстремне и обилне падавине у источном дијелу Медитерана показале су статистички значајан пад (PRCPTOT 3,1% по деценији, R10mm -1,0 дан по деценији, R20mm -0,5 дана по деценији, RX1day 1,3 дана по деценији и RX5day 3,5 дана по деценији), а у јужним дијеловима значајан пад укупних падавина.

За разлику од промјена температуре ваздуха, трендови годишњих и сезонских падавина у Републици Српској и Босни и Херцеговини регионално су веома промјенљиви (Попов 2020). Статистички значајно повећање падавина на годишњем нивоу утврђено је у Сокоцу (35,3 мм по деценији), док смањене на цијелом простору региона Херцеговине није било статистички значајно (на примјер, у Мостару 42,5 мм по деценији). У сезони зима присутни су регионално врло промјенљиви трендови (од смањења за 12,8 мм по деценији у Мостару до повећања за 2,4 мм по деценији у Требињу). У сезони прољеће падавине су незнатно порасле у већем дијелу територије (на примјер, у Сокоцу за 10,1 мм по деценији), осим у Херцеговини, гдје је утврђено смањење падавина (на примјер, у Мостару за 12,0 мм по деценији). У сезони љето присутан је негативан тренд суме падавина на готово цијелој територији, осим у Сокоцу и Добоју. У јесен је присутно благо и инсигнификантно повећање падавина у свим дијеловима Босне и Херцеговине (осим у Требињу). Индекси екстремних падавина показују трендове оба знака, али углавном инсигнификантне и просторно некохерентне (Popov et al. 2017в, 2018а, 2018б, 2019а, 2019в, 2019ђ);

Попов 2020). Ипак, резултати истраживања сугеришу генерално повећање интензитета падавина, а позитивни трендови максималног трајања и сушних и влажних периода указују на повећану варијабилност падавина на нашем простору (Porov et al. 2017в, 2018б). Кумулативне аномалије падавина показују да је сушни период у Херцеговини започео 1981. године и да траје и даље (Porov et al. 2019в).

Пројекције климатских промјена у свијету до краја XXI вијека показују континуирано интензивирање екстремних падавина (Donat et al. 2016). Пројекције промјена падавина у XXI вијеку које су дали Sung HM et al. (2021) показују да ће према свим сценаријима доћи до значајног пораста падавина до 2050. године. Просторни обрасци будућих промјена падавина у пројекцијама за период 2021–2040. године слични су у свим сценаријима промјена, а утицај различитих сценарија емисије почеће да се појављује у периоду 2081–2100. године. Очекује се да ће се падавине у наведеном периоду у односу на садашњи период повећати од 5,1% до 10,1% (сценарији SSP1–2.6 и SSP5–8.5 показују 5% разлике у падавинама). Сви сценарији откривају исти просторни образац промјена падавина (пораст у тропској зони и смањење у суптропском појасу) са различитим магнитудама. Предвиђа се да ће се екстремни падавина појачати у већини предјела Земље, при чему ће се највећи проценат повећања догодити у тропским предјелима, а затим у високим географским ширинама (Li et al. 2021). Студија Li et al. (2021) показала је да ће на копну просјечно пројектовано интензивирање у педесетогодишњим догађајима максималних једнодневних и петодневних количина падавина до краја вијека у односу на период 1984–2015. године износити 27,9% и 23,1% према SSP5–8.5 и 8,4% и 7,7% према SSP1–2.6. Пројекције веома влажних дана (R95p) за период 2081–2100. године показују тренд пораста – од 15% према SSP1–2.6 до 54% према SSP5–8.5 (Sung HM et al. 2021). Према ранијим сценаријима RCP8.5 и RCP4.5 предвиђан је пораст годишње количине падавина на влажне дане (PRCPTOT) за 14% и 15%, а стандардног дневног интензитета падавина (SDII) за 8% (Zhou et al. 2014). Климатски модели предвиђају да ће екстремни падавински догађаји постати интензивнији и на европском континенту (Rajczak and Schär 2017; Breuer et al. 2018; Cardell et al. 2020).

Иако се веће количине падавина очекују на већини континената у свијету, модели прогнозирају снажне опадајуће трендове у неколико специфичних региона, међу којима се издваја регион Медитерана, гдје ће нарочито доћи до смањења падавина током зиме (локално зимске падавине могле би се смањити и до 40%) и повећања вјероватноће суше у сезони љето (Rajczak and Schär 2017; Tuel and Eltahir 2020). Alessandri et al. (2014) процјењују да ће у XXI вијеку доћи до знатног ширења медитеранске климе на сјевер и исток и у

Евромедитерански регион, док ће истовремено доћи до знатне замјене маргина медитеранске климе према екватору сувим климатским типом.

4.2.4. Промјене екстремних временских и климатских догађаја

Анализе показују да долази до промјене фреквенције, интензитета, просторног распрострањења и/или трајања временских и климатских екстремних догађаја, а првенствено климатских и хидрометеоролошких догађаја као што су: топли таласи, суше, догађаји интензивних падавина, пожари, олујни удари и тропски циклони (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013; Hao et al. 2018).

Изузетно високе температуре представљају непосредну пријетњу за људе и екосистеме. Посљедњих година, многи копнени и морски региони искусили су топле таласе са разорним утицајима који би били врло мало вјероватни без климатских промјена човјеком активношћу. На примјер, на основу симулација модела Vogel et al. (2019) показују да је практично сигурно да се топли талас 2018. године, који је између маја и јула те године захватио око 22% насељених и пољопривредних подручја сјеверно од 30° с. г. ш, не би могао догодити без климатских промјена изазваних човјековим дјеловањем. Резултати њихове студије откривају да ће се подручје високе изложености које ће истовремено бити захваћено топлим таласима на сјеверној хемисфери повећати за око 16% по додатних 1 °С глобалног загријавања. На глобалном нивоу дужина трајања топлих таласа у периоду 1901–2010. године значајно се повећала за 8 дана по деценији, док се дужина трајања хладних таласа смањивала за 4 дана по деценији (Donat et al. 2013). Посљедњих деценија повећан је број региона у свијету захваћених топлим таласима – у периоду 2002–2012. године проценат површина у свијету захваћених умјереним, снажним или веома снажним топлим таласима био је троструко већи него у претходним периодима 1980–1990. и 1991–2001. године (Russo et al. 2014).

Perkins-Kirkpatrick and Lewis (2020) наводе да су интензитет, учесталост и трајање топлих таласа у скоро свим регионима свијета повећани у периоду 1950–2017. године (а трендови су све израженији под појачаним глобалним загријавањем). Мјера кумулативне топлоте показује значајан пораст готово у свим дијеловима свијета од 1950-их, који је углавном условљен порастом броја дана трајања топлих таласа. Најизраженији трендови забиљежени су на Блиском истоку и у дијеловима Африке и Јужне Америке, гдје се додатна топлота коју производе топли таласи повећава за 10 °С по деценији. У већини осталих подручја са значајним трендовима, кумулативна топлота повећава се за 2–6 °С по деценији. Трајање топлих таласа, иако се повећава, показује значајне трендове само у Јужној Америци, Африци, југозападној Азији и на

Блиском истоку. Најмање један додатни дан топлих таласа догодио се сваке деценије у већини региона свијета између 1950. и 2017. године (мада наведено повећање може износити и 3–5 дана по деценији у нижим географским ширинама), а дужина топлих таласа повећала се између 0,2 дана и преко 1 дана по деценији. Само један регион (централни дио Сјеверне Америке) не показује значајне промјене у свим наведеним карактеристикама топлих таласа. Иако су регионални трендови у учесталости топлих таласа као и у максималном трајању и кумулативној топлоти углавном знатно позитивни, трендови просјечног интензитета топлих таласа значајни су само у регионима: Медитеран, Амазонија, сјевероисточни Бразил, југоисточна Јужна Америка и западна Азија. Девет региона свијета (као и глобални просјек) показују благо опадајуће (иако инсигнификантне) трендове просјечног интензитета топлих таласа. У периоду 1950–2017. године најизраженији трендови забиљежени су углавном у регионима у нижим географским ширинама.

У свим регионима Европе утврђени су углавном статистички значајни растући трендови екстремних догађаја од 1950. године, као и значајни позитивни трендови учесталости, интензитета и просторног опсега догађаја екстремних температура (Sulikowska and Wyruch 2021). Интензивно загријавање утврђено је у свим подручјима и годишњим добима анализираним у наведеној студији. Највећа стопа промјена забиљежена је у сезони зима у западној Скандинавији, у сезонама прољеће и љето у средњој Европи и на Иберијском полуострву, као и у сезони зима и прољеће на простору источне Европе. Јесен карактерише најслабија динамика загријавања, која је дијелом повезана са тзв. „рупама у загријавању“, тј. периодима и подручјима у којима није присутно загријавање или чак долази до захлађења. Резултати студије наглашавају да се наведени трендови екстремних температура убрзавају и да је у посљедњих 40 година стопа промјена била чак више него три пута већа него у читавом истраживаном периоду 1950–2019. године. Највеће промјене забиљежене су током сезоне љето на простору средње и источне Европе у посљедњем 40-годишњем периоду (учесталост догађаја екстремних температура повећала се за 9 до 10 дана по деценији).

У посљедње двије деценије Европа је доживјела низ екстремних топлих таласа. Истраживање Lorenz et al. (2019) утврдило је да се у просјеку број дана са екстремним врућинама и топлотним стресом у Европи више него утростручио (са мање од 2 дана на више од 6 дана годишње), а врући екстреми су постали топлији за 2,3 °C у периоду 1950–2018. године. У средњој Европи загријавање премашује одговарајућих средњих љетних температура за 50%. С друге стране, дани са екстремно хладним температурама више су се него преполовили (смањили су се за фактор 2–3; са више од 5 дана око 1950. године на око 2 дана годишње у 2018. години) и постали топлији више од 3 °C,

знатно више од средњих зимских температура. Промјене су досљедне у свим субрегионима, за дневне и ноћне температуре и на различитим перцентилским праговима. Екстремне хладноће и екстремне врућине показују загријавање на око 94% анализираних станица, што је сигнал климатских промјена који се не може објаснити унутрашњом варијабилношћу.

У Европи екстремни топли таласи у сезони љето показују тренд пораста од 1970-их година (Zhang et al. 2020). Између 1950. и 2015. године у Европи је забиљежено 11 интензивних и дуготрајних топлих таласа, од којих се већина догодила од почетка XXI вијека – 2003, 2006, 2007, 2010, 2014. и 2015. године (Russo et al. 2015; Zhang et al. 2020). Топли таласи чешће су се јављали током периода 2003–2015. године, док се знатно мање топлих таласа, са малим магнитудама и међугодишњим варијацијама, јављало током периода 1980–1997. године (Zhang et al. 2020). Barriopedro et al. (2011) утврдили су да су најмање два љета у деценији 2001–2010. била највјероватније најтоплија у Европи у посљедњих 510 година. Током деценије 2001–2010, 500-годишњи записи вјероватно су надмашени на око 65% територије Европе, укључујући регионе источне Европе (2010), југозападне и средње Европе (2003), Балканско полуострво (2007) и Турску (2001). „Мегатопли таласи“, попут оних из 2003. и 2010. године, вјероватно су оборили 500 година дуг сезонски температурни рекорд у око 50% подручја Европе. Аномална топлота у љето 2010. године у источној Европи и великим дијеловима Русије премашила је магнитуду и просторни опсег претходног најтоплијег љета 2003. године. Аутори наводе да су екстремни топли талас 2010. године условиле квазистационарне аномалије антициклонске циркулације изнад западне Русије, дефицит акумулираних падавина од јануара до јула 2010. године и рано прољећно топљење сњежног покривача у западној и централној Русији. Истраживање је показало да ће се вјероватноћа да се у сезони љето догоди мегатопли талас повећати за 5–10 пута у наредних 40 година.

Суша је важан природни ризик у многим регионима свијета и постоји велика забринутост да ће климатске промјене (првенствено пораст температуре ваздуха и промјене у обрасцима падавина) повећати вјероватноћу, учесталост и/или интензитет суша у будућности (Bezak and Mikoš 2020; Cook et al. 2020).

Song et al. (2020) су утврдили да је у периоду 1950–2015. постојао убрзани тренд повећања сушности на глобалној површини копна у цјелини, али да су постојала велика подручја са трендом повећања влажности климе, посебно у високим географским ширинама сјеверне хемисфере. Аридност се глобално знатно повећала од 1970-их година усљед повећања сушности у Африци, јужној Европи, источној и јужној Азији и источној Аустралији (Dai 2011). Иако су Ел Нињо – Јужна осцилација, тропско-атлантска површинска температура

мора и азијски монсуни одиграли велику улогу у повећању сушности, савремено загријавање климатског система повећало је потребу за атмосферском влагом и вјероватно промијенило обрасце циркулације у атмосфери, што је допринијело повећању сушности (Dai 2011).

Истраживање Spinoni et al. (2019) идентификовало је највеће 52 мегасуше које су се догодиле у периоду 1951–2016. године на глобалном нивоу: 1950-их догодиле су се четири изузетно снажне суше, 1960-их шест (двје које су завршиле у 1970-им), 1970-их такође шест, а 1980-их пет таквих догађаја. Тренд пораста очигледан је од почетка 1990-их година па надаље: осам изузетних догађаја мегасуше забиљежено је током 1990-их година, тринаест у 2000-им годинама и десет у периоду 2010–2016. године. Истраживање је идентификовало главна жаришта погођена чешћим и јачим метеоролошким сушама у посљедњим деценијама: Медитеран, већи дио Африке (Сахел, слив ријеке Конго), сјевероисточни дио Кине, Амазонија и јужни дио Јужне Америке (подручје Патагоније). У Сјеверној Америци, средњој Европи, централној Азији и Аустралији прогресивни пораст температуре надмашио је пораст падавина узрокујући чешће и јаче суше.

Истраживања трендова суше широм Европе утврдила су да сјеверна Европа показује обрасце повећања влажности, док јужна (медитерански регион) и источна Европа показују значајнију тенденцију повећања сушности, нарочито у сезонама љето и јесен – и по учесталости и по јачини, а еволуција ка сушним условима релевантнија је током посљедње три деценије у средњој Европи у прољеће, у медитеранским подручјима љети, а у источној Европи у јесен (Gudmundsson and Seneviratne 2016; Spinoni et al. 2017; Vicente-Serrano et al. 2021). И опсервације и анализе засноване на климатским моделима сугеришу да је вјероватноћа > 95% да су антропогене емисије гасова са ефектом стаклене баште повећале вјероватноћу појаве сушних година на Медитерану, а смањиле њихову вјероватноћу у сјеверној Европи (резултати за средњу Европу нису били убједљиви) (Gudmundsson and Seneviratne 2016). Поред тога, примијећени су и изражени трендови повећања едафске суше и одговарајућа повећања учесталости пољопривредне суше (Hanel et al. 2018).

Суше на европском континенту на почетку XXI вијека сматрају се изузетно јаким, а наведени екстремни догађаји повезани су углавном са порастом температуре ваздуха и рекордним врућинама које су забиљежене у Европи од 2000. године, у комбинацији са недостатком падавина током љетних мјесеци (Hanel et al. 2018). Снажне епизоде суше у Европи забиљежене су током протекле двије деценије, укључујући, на примјер, суше 2003/2004. и 2012. године на Балкану, 2011/2012. и 2004/2005. године на Иберијском полуострву, 2011/2012. године у Чешкој, 2015. године у средњој Европи и

2017. године у западној Европи (Vicente-Serrano et al. 2021). Као што је већ наведено, Европа је од почетка XXI вијека доживјела низ екстремно врућих и сувих љета (2003, 2010, 2013. и 2015) – просјечна љетна температура у дијеловима средње Европе у 2003. години била је и до пет стандардних девијација виша од вишегодишње средње вриједности, а љето 2015. било је најтоплије од 1950. године у великом дијелу источне и југозападне Европе (Hanel et al. 2018). Импликације ових екстремних временских услова осјетиле су се, између осталог, у секторима пољопривреде, хидрологије и водних ресурса, људског здравља и услуга екосистема.

Очекује се да ће се учесталост и интензитет суша повећати у будућности као резултат климатских промјена, углавном као посљедица смањења падавина, али и због све већег испаравања усљед глобалног загријавања (Sheffield et al. 2012; Dai 2013). Постоје снажни докази да ће климатске промјене повећати ризик и интензитет суше, али ови закључци зависе од региона, годишњег доба и метрике суше која се разматра. Повећање догађаја суше до краја XXI вијека биће присутно у многим регионима свијета, чак и при агресивнијим путевима ублажавања климатских промјена (сценарији SSP1–2.6 и SSP2–4.5). Регионална жаришта са јаким повећањем биће: Европа и Медитеран, западни дио Сјеверне Америке, Централна Америка, Амазонија, јужна Африка, Кина, југоисточна Азија и Аустралија (Dai 2011; Sheffield and Wood 2008; Cook et al. 2020; Wu et al. 2020). Према будућим пројекцијама, модели показују глобално смањење влажности земљишта за све сценарије климатских промјена са одговарајућим удвостручавањем просторног обима озбиљних дефицита влаге у земљишту и учесталости краткотрајних суша (4–6 мјесеци) од средине XX вијека до краја XXI вијека (Sheffield and Wood 2008).

Пројекције климатских промјена у будућности, засноване на различитим показатељима суше, сугеришу да ће до краја XXI вијека велики дио подручја Европе вјероватно бити захваћен озбиљним сушама као одговор на антропогено форсирање (Vicente-Serrano et al. 2021). Према сценарију умјерених емисија (RCP4.5) предвиђа се да ће суше постати све чешће и јаче у медитеранском подручју, западној Европи и сјеверној Скандинавији, док ће читав европски континент, изузев Исланда, бити погођен све чешћим и јачим екстремним сушама према сценарију највиших емисија (RCP8.5), посебно након 2070. године (Spinoni et al. 2018). Сезонски, предвиђа се да ће се учесталост суша свуда у Европи повећати према оба наведена сценарија у сезонама прољеће и љето, нарочито у јужној Европи, а мање интензивно у сезони јесен; док ће у сезони зима доћи до смањења учесталости суше у сјеверној Европи. Очекује се да ће антропогено загријавање у будућности повећати земљишну сушу у Европи (Samaniego et al. 2018). У поређењу са циљевима *Париског споразума* од 1,5 °C загријавања, утврђено је да би повећање од 3 °C (што представља

тренутну пројектовану температурну промјену) повећало површину захваћену сушом за $40\pm 24\%$, што ће погађати и до $42\pm 22\%$ више становништва. Даље, догађај као што је суша 2003. године постаће двоструко чешћи, тако да због повећане појаве догађаји ове магнитуде више неће бити класификовани као екстремни.

Пројекције различитих модела будућих сценарија климатских промјена снажно се слажу око повећане учесталости и озбиљности суша у медитеранском басену (Forzieri et al. 2014; Trambly et al. 2020; Kim and Raible 2021; Liberato et al. 2021;).

Feng and Fu (2013) анализирајући посматрања током периода 1948–2008. године и симулације климатских модела за период 1948–2100. године показали су да су се глобалне сушне области прошириле у посљедњих шездесет година и да ће наставити да се шире и у XXI вијеку. До краја овог вијека предвиђа се да ће сушна подручја у свијету (према сценарију високе емисије гасова са ефектом стаклене баште) бити $5,8\times 10^6$ км² (или 10%) веће него у периоду 1961–1990. године. Најважније ширење сушних региона догодиће се у југозападном дијелу Сјеверне Америке, сјеверном рубу Африке, јужне Африке и Аустралије, док ће се велика ширења полусушних региона догодити на сјеверној страни медитеранског басена, те у јужној Африци и Сјеверној и Јужној Америци. Huang et al. (2016) наводе да ће се према репрезентативним путевима концентрације RCP8.5 и RCP4.5 сува подручја повећати за 23%, односно за 11%, у односу на референтни период 1961–1990. године. Таква експанзија сувих подручја довела би до смањења секвестрације угљеника и појачаног регионалног загријавања. Све већа аридност, појачано загријавање и брзо растућа људска популација погоршаће ризик од дезертификације и деградације земљишта у блиској будућности у сувим подручјима земаља у развоју.

Пожар је природни еколошки процес и важан антропогени алат који знатно утиче на екосистеме, залихе воде, буџет угљеника и друштво у цјелини (Abatzoglou et al. 2019). Глобално, пожари су главни извор угљеника из копнене биосфере у атмосфери (Ward et al. 2018). Јављају се у сезонским циклусима и са значајном међугодишњом варијабилношћу (Ward et al. 2018). Глобално сагоријевање биомасе извор је приближно 2,5 Pg C у атмосферу годишње, чинећи пожаре главном компонентом копненог биланса угљеника и важним доприносом атмосферским гасовима са ефектом стаклене баште и аеросолима са повезаним климатским утицајима (Ward et al. 2018). Глобалне емисије угљеника усљед пожара повећавале су се за око 10% између 1700. и 1900. године, достигавши максимум од 3,4 Pg C годишње у 1910-им годинама, што је праћено смањењем на око 5% испод нивоа у периоду од 1700. до 2010.

године (Ward et al. 2018). Сматра се да су историјски трендови (послије 1700. године) глобалних емисија пожара резултат промјена климе, промјена у земљишном покривачу и начину његовог коришћења, као и промјена у људској популацији и повезаних активности паљења и сузбијања пожара. Смањење емисија од 1910-их до данас углавном је условљено промјеном намјене земљишта, са мањим доприносом повећаног сузбијања пожара усљед повећања људске популације, највише у субсахарској Африци и јужној Азији (Ward et al. 2018). На промјене у глобалној пожарној активности утиче мноштво фактора, укључујући промјене површинског биљног покривача, промјене политика управљања и промјене климатских услова (Abatzoglou et al. 2019). Варијабилност климатских услова објашњава приближно једну трећину међугодишње варијабилности у опожареном подручју у екорегима свијета (Abatzoglou et al. 2018).

Повећање обима опожарених површина добро је документовано у неким дијеловима свијета током протеклих пола вијека, што указује на знатан утицај промијењених климатских услова и повећаних температура на активност пожара када други фактори, попут обиља биомасе, нису ограничавајући. Током протеклих пола вијека у многим дијеловима свијета примијењена су повећања учесталости и јачине пожара (Abatzoglou et al. 2019). Резултати њихових моделовања вршених у циљу идентификације гдје и када антропогене климатске промјене узрокују да пожари условљени временским условима премашују природну варијабилност показују да је то већ у току у знатном дијелу свијета, укључујући већи дио јужне Европе и Амазоније, са све већим ширењем овог подручја усљед континуираног загријавања током XXI вијека. Ова открића указују на знатно повећање потенцијала пожара у регионима у којима обиље вегетације и паљење нису ограничавајући, истичући хитност прилагођавања промјенама у поремећајима и све више растућим опасностима од пожара. Антропогено узроковани пораст дана са екстремним вриједностима метеоролошког индекса опасности од шумских пожара (*Fire Weather Index, FWI*) утврђен је на 22% опожарених копнених подручја широм свијета до 2019. године, укључујући и већи дио Медитерана и Амазоније (Abatzoglou et al. 2019).

Flannigan et al. (2013) коришћењем три модела опште циркулације атмосфере и три сценарија емисија за израчунавање оцјене кумулативне јачине (*Cumulative Severity Rating, CSR*), метрике опасности од пожара засноване на временским приликама и дужине сезоне пожара за средину (2041–2050) и крај (2091–2100) XXI вијека у односу на референтни период (1971–2000) дошли су до резултата који показују значајно повећање оцјене кумулативне јачине за све моделе и сценарије. Повећања су била највећа (више од три пута већа од почетне оцјене кумулативне јачине) на сјеверној хемисфери

крајем вијека. Промјене дужине сезоне пожара такође су биле најизраженије крајем вијека и у високим географским ширинама сјеверне хемисфере, гдје се пројектује да ће се дужина сезоне пожара повећати за више од 20 дана годишње. Средином XXI вијека антропогени пораст за већину показатеља метеоролошког индекса опасности од шумских пожара до 2030. године појављује се у већем дијелу Медитерана, јужне Африке, Амазоније, јужног Чilea и Аргентине (Abatzoglou et al. 2019). Појава појачаног пожара постаје све раширенија у функцији глобалне промјене температуре – при загријавању од 2 °C изнад преиндустријског нивоа, површина на којој се појављује је упола мања него при загријавању од 3 °C (Abatzoglou et al. 2019).

Један од региона гдје се очекују знатне промјене у активности пожара јесте подручје Медитерана. Предвиђа се да ће се уочени тренд ка топлијим и сушнијим условима (смањењу падавина, а повећању учесталости суше) широм Медитерана наставити и у наредним деценијама, што ће вјероватно довести до повећаног ризика од појаве великих пожара усљед наведених климатских промјена (Turco et al. 2018; Ruffault et al. 2020;). Пројекције показују да би се учесталост пожара могла повећати за 14 % до краја вијека (2071–2100) према сценарију RCP4.5, односно за 30 % према сценарију RCP8.5 (Ruffault et al. 2020). Резултати Amatulli et al. (2013) показали су да се у европском дијелу Медитерана на крају XXI вијека могу очекивати значајна повећања укупне опожарене површине од 66% до чак 140%, према различитим сценаријима климатских промјена. Turco et al. (2018) процјењују да ће се у медитеранском подручју Европе са остваривањем сценарија глобалног загријавања од 1,5 °C, 2 °C и 3 °C (узимајући у обзир могуће модификације односа клима–пожар у промијењеним климатским условима усљед промјена продуктивности) снажно повећавати опожарене површине. Што степен загријавања буде већи, већи ће бити и пораст опожарене површине, који ће се кретати од око 40% до око 100% према свим сценаријима. Резултати истраживања су показали да би се постигле знатне користи ако би се загријавање климатског система ограничило на знатно мање од 2 °C.

Традиционалне методологије процјене ризика од екстремних временских и климатских догађаја обично узимају у обзир само једног покретача и/или само један хазард одједном, што потенцијално може довести до потцјењивања ризика, јер процеси који узрокују екстремне догађаје често дјелују међусобно и у интеракцији.

Екстремни временски и климатски догађаји, попут пожара, топлих таласа и суша, често су резултат комбинације физичких процеса који су у интеракцији на различитим просторним и временским скалама, а обликују их физички покретачи и друштвене снаге (Raymond et al. 2020; Zscheischler et al. 2018).

Ова комбинација процеса који доводе до знатног утицаја назива се „сложеним догађајем“ (Zscheischler et al. 2018). Ови хазарди могу се појавити истовремено (истовремени или сложени догађаји) или узастопно, тј. један хазард који слиједи за другима (каскадни догађаји). Дакле, сложене опасности дефинишемо као два или више екстремних догађаја који се јављају истовремено, тј. истог дана и у истом региону, а каскадне догађаје као два или више екстремних догађаја (као појединачне и/или као сложене опасности) који се јављају сукцесивно или кумулативно током времена, а да их не прекида дан нулте опасности (Sutanto et al. 2020).

Сложени и каскадни природни хазарди обично узрокују теже посљедице од било ког појединачног опасног хазарда (Sutanto et al. 2020). Сложени или каскадни „суви“ хазарди (топли таласи, суше и пожари) могу имати више негативних утицаја (на примјер, кроз кумулативне ефекте) него сваки сам појединачни хазард (Нао et al. 2018; Sutanto et al. 2020). На примјер, знатне појаве сложених сувих и врућих екстремних догађаја забиљежене су за вријеме топлих таласа 2003. године у Европи и 2010. године у Русији, који су били праћени јаком сушом (Нао et al. 2018). Суша која се на европском континенту догодила 2003. године није била најјача, међутим, у комбинацији са продуженим топлим таласом и пожарима сматра се најсмртоноснијом и економски најскупљом. Више од 70.000 људи преминуло је као резултат екстремних врућина, а економска штета премашила је 8,7 милијарди евра (Sutanto et al. 2020). Екстремни услови у љето 2010. године проузроковали су око 55.000 смртних случајева, 25% смањења годишњих усјева и више од 1 милион хектара опожарених површина у Русији (Нао et al. 2018). Љето 2003, 2010. и 2015. године сматрају се најважнијим годинама XXI вијека у западној и средњој Европи и у западној Русији у погледу суша, али и топлих таласа и великих шумских пожара (Sutanto et al. 2020). „Сувим“ хазардима претходе постојане падавине испод нормалних вриједности и повишене температуре. Нао et al. (2018) на основу стандардизованог индекса сувог и врућег времена (*Standardized Dry and Hot Index, SDHI*) утврдили су значајан пораст јачине сложених сувих и врућих екстрема (тј. смањење вриједности SDHI) током топле сезоне у западним дијеловима САД, сјеверном дијелу Јужне Америке, западној Европи, Африци, западној Азији, југоисточној Азији, јужној Индији, сјевероисточној Кини и источној Аустралији. Студија

Bezак and Mikoš (2020) истраживала је промјене у сложеном појављивању суше и екстремних врућина на европском континенту у периоду 1961–2018. године. Ефективни индекс суше и праг перцентиала температуре ваздуха коришћени су за идентификацију сложених догађаја на нивоу ријечног слива, гдје је цијела Европа била подијељена на више од 4.000 сливова. Иако на континенталној скали није откривен уједначен образац промјена у Европи,

идентификовано је више жаришта, подручја са позитивним или негативним промјенама: позитивна промјена била је карактеристична за дијелове западне Европе (Француска, земље Бенелукса), Италију, Балканско полуострво, дијелове Британских острва и источне Европе, те нека подручја у сјеверној Европи (промјена је углавном условљена трендом опадања укупних падавина, није директно условљена трендом пораста температуре ваздуха), док подручја са негативним промјенама укључују дијелове сјеверне и источне Европе и Британска острва (детектована промјена углавном је условљена растућим трендом падавина).

4.3. Утицај савремених климатских промјена на биљни свијет

Биљни свијет представља важну компоненту екосистема, јер има незамјенљиву улогу у регулисању процеса у атмосфери, хидросфери и педосфери, кроз смањење концентрација гасова са ефектом стаклене баште и повећање и одржавање стабилности климе.

С обзиром на то да варијабилност климе има велики утицај на биљне јединке, популације, врсте, заједнице, као и екосистеме у цјелини, очекује се да ће климатске промјене (пораст атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште, глобално загријавање, промјене режима падавина, пораст екстремних догађаја итд.), нарочито овако нагле и интензивне, довести до великих промјена у физиологији, фенологији, саставу и распрострањењу биљног свијета, како на локалном и регионалном, тако и на глобалном нивоу. Ипак, с обзиром на то да климатске промјене нису јединствене у цијелом свијету, и реакције биљних врста, популација и заједница на наведене промјене биће веома сложене и разнолике (Golubyatnikov and Denisenko 2007).

Уочени утицаји савремених климатских промјена на биљни свијет могу се сажети у неколико категорија (Kappelle et al. 1999; Hughes 2000; Walther et al. 2002; Root et al. 2003; Rosenzweig et al. 2007; Schröder et al. 2014):

- утицај на физиологију: промјене у атмосферској концентрацији CO₂ и температури директно утичу на физиолошке и развојне процесе биљака, као што су: фото-синтеза, дисање, раст, продуктивност итд;
- утицај на фенологију: климатске промјене (првенствено глобално загријавање) доводе до промјена времена одвијања појединих фенофаза у животном циклусу биљака које зависе од фактора спољашње средине;
- утицај на распрострањење (ареал): климатске промјене узрокују да биљне врсте генерално мигрирају по географској ширини или надморској висини као реакција на помјерање климатских услова;

- утицај на биљне заједнице и екосистеме: климатске промјене могу узроковати промјене састава заједница и промјене биотичких интеракција међу врстама у оквиру заједнице, те промјене у структури и динамици екосистема, што се одражава на промјене у његовом функционисању.

С обзиром на то да се климатске промјене дешавају истовремено и у интеракцији са промјенама других фактора животне средине, тешко је процијенити како ће се одразити на биодиверзитет (Kappelle et al. 1999). Генерално, биљни свијет на климатске промјене може реаговати позитивно – порастом стопа раста, повећавањем бројности популације или ширењем ареала, и негативно – смањивањем стопа раста са могућим локалним или потпуним изумирањем или распрострањањем у нова подручја са повољнијим условима станишта.

Врсте могу одговорити на утицаје климатских промјена помјерањем своје климатске нише дуж три неискључиве осе: вријеме (на примјер, помјерањима фенологије), простор (на примјер, помјерањем области распрострањења) и „сопство“, тј. промјене саме врсте (на примјер, промјене физиологије) (Bellard et al. 2012). Промјене саме врсте односе се на мање видљиве промјене у физиологији и понашању које ће омогућити врстама да се прилагоде новим климатским условима у истом просторном и временском оквиру, дакле у свом локалном ареалу, а не праћењем њихових тренутних оптималних услова у простору или времену. Уколико се климатски услови (или други еколошки услови средине) промијене изван граница еколошке валенце дате врсте, врста на те промјене може реаговати на неколико начина: промјеном времена одвијања појединих фенофаза у животном циклусу, промјеном граница ареала, промјеном густине индивидуа и популација у оквиру постојећег ареала, промјеном морфологије, размножавања или генетике, различитим адаптацијама на новостворене услове у животној средини и екстирпацијом (локалним истребљењем) или изумирањем на глобалном нивоу (Root et al. 2003; Rosenzweig et al. 2007). Све је више доказа да су савремене климатске промјене измијениле области распрострањења, физиологију, сезонске циклусе биљака, обрасце миграција, бројност и интеракције међу врстама, као и да су већ довеле до изумирања одређених врста (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013).

4.3.1. Утицаји на физиологију

Повећана концентрација CO_2 у атмосфери, у комбинацији са климатским промјенама, током прошлог вијека имала је снажан утицај на физиологију врста, мијењајући протоке угљеника и воде који пролазе кроз стоматалне поре биљака (Saurer et al. 2014).

Примарни ефекти повећања концентрације CO_2 на биљке укључују смањење проводљивости и транспирације стома, побољшану ефикасност употребе воде, веће стопе фото-синтезе и повећану ефикасност употребе свјетлости (Ainsworth and Stephen 2005). Повишена атмосферска концентрација CO_2 стимулише усвајање фотосинтетског угљеника и нето примарну производњу дугорочно упркос смањеној регулацији активности ензима рибулоза-1,5-бисфосфат карбоксилаза-оксигеназа (*Rubisco*), побољшава ефикасност употребе азота, смањује употребу воде на нивоу листа и крошње биљке, смањује стоматалну проводљивост, иако не стимулише директно фото-синтезу C_4 биљака, може индиректно стимулисати повећање угљеника на локалитетима са појавом суше (Leakey et al. 2009).

Ainsworth and Stephen (2005), на основу података из 120 рецензираних чланака у 12 великих експеримената обогаћивања слободног ваздуха са CO_2 (*Free-Air CO_2 Enrichment*, FACE)⁴, са концентрацијама CO_2 475–600 ppm, закључују да су усвајање угљеника у свијетлој фази фото-синтезе, дневна асимилација угљеника, раст и надземна производња повећани, док су специфична површина листа и стоматална проводљивост смањени при повишеној концентрацији CO_2 у атмосфери. Дрвенасте биљне врсте су више реаговале на вишу концентрацију CO_2 од зељастих врста. Изложеност повишеној концентрацији CO_2 резултирала је просјечним порастом брзине фото-синтезе у свијетлој фази од 31% (просјечно за све FACE експерименте и све анализиране врсте) и просјечним порастом дневне асимилације фотосинтетског угљеника за 28%. Привидни максимални квантни принос повећан је за просјечно 12%. Стоматална проводљивост смањена је 20%. Раст биљака под стресним условима (низак садржај азота и суша) погоршао је смањење стоматалне проводљивости. Није уочена очигледна промјена односа интерцелуларне концентрације CO_2

⁴ Реакције биљака на пројектоване будуће нивое CO_2 прво су окарактерисане у краткотрајним експериментима који су трајали данима или недјељама; међутим, накнадно је откривено да су дугорочни одговори на повишење CO_2 веома важни у одређивању функције биљака и екосистема (Leakey et al. 2009). Експерименти обогаћивања слободног ваздуха са CO_2 (FACE) врхунац су напора да се процијени утицај повишеног CO_2 на биљке током више сезона, а у случају усјева током читавог њиховог животног вијека. FACE се користи за излагање вегетације повишеним концентрацијама атмосферског CO_2 под потпуно отвореним условима скоро двије деценије.

и атмосферске концентрације CO_2 , а ефикасност транспирације стимулирана је за око 50%.

Повећавање атмосферске концентрације CO_2 појачава фото-синтезу и смањује транспирацију у листу, екосистему и на глобалном нивоу захваљујући ефекту фертилизације CO_2 (Ueyama et al. 2020). Такође, CO_2 директно утиче на биљке утицајима на фотосинтетску размјену гасова и субсеквентне развојне процесе (Ainsworth and Stephen 2005; Gray and Brady 2016). CO_2 има индиректне ефекте на биљке, јер је моћан гас са ефектом стаклене баште који доприноси загријавању климе и повезаним климатским промјенама (Gray and Brady 2016).

Фото-синтеза је главни процес биљака који доводи до примарне производње у биосфери. У атмосфери се налази укупно 7.000 милијарди тона CO_2 , а фото-синтеза фиксира више од 100 милијарди тона годишње (Baslam et al. 2010). CO_2 асимилиран фотосинтетским апаратом основа је ратарске производње, а самим тим и хране за људе и животиње. Фото-синтеза је условљена промјенљивим условима спољашње средине, као што су температура ваздуха, доступност воде, CO_2 , салинитет и озон, те се очекује да ће климатске промјене имати снажан утицај на стопе фото-синтезе.

Многобројне студије су показале да се стопа фото-синтезе повећава након излагања биљака повишеној концентрацији CO_2 . Повећана атмосферска концентрација CO_2 утиче на повећање интензитета фото-синтезе повећањем уноса и асимилације CO_2 , услед повећане доступности CO_2 за хлоропласти и смањења фотореспирације, што је резултат повећаног односа CO_2 у односу на O_2 (Попов 2020).

Повећане концентрације CO_2 могу стимулирати процес фото-синтезе, посебно код C_3 биљака, јер је њихова фото-синтеза ограничена CO_2 у тренутним атмосферским концентрацијама (Brouder and Volenec 2008; Bisbis et al. 2018). Као што се очекивало, биљке са такозваним C_4 фотосинтетским путем, као што су кукуруз и сирак, мање су реаговале на повећану концентрацију CO_2 од C_3 биљака; међутим, све биљке показују позитиван одговор на повећање концентрације CO_2 (Hatfield et al. 2011). Истраживање Hatfield et al. (2011) показало је да је генерално удвостручавање концентрације CO_2 проузроковало приближно 30% пораста репродуктивног приноса C_3 врста и < 10% пораста приноса C_4 врста. Многе C_3 врсте корова такође су показале значајне бенефите у погледу раста и отпорности на хербициде при повишеној CO_2 концентрацији.

Краткорочно мјерење стопе процеса фото-синтезе FACE експериментима може прецијенити потенцијалну асимилацију угљеника код биљака при дуготрајном излагању повишеној концентрацији CO_2 , јер се с временом биљке

аклиматизују на повећану концентрацију CO₂ и долази до смањења параметара фото-синтезе.

Јасан примјер како повишена температура мијења физиологију биљака јесте промјенљивост у стопама асимилације фотосинтетског угљеника. Док је сама рибулоза-1,5-бисфосфат карбоксилаза оксигеназа (Rubisco) која катализује фиксацију CO₂ из атмосфере у органска једињења у биљци, топлотно стабилна до 50 °C, ограничења фото-синтезе при умјеренијим порастима температуре могу се објаснити смањеном функцијом Rubisco активазе, ензима који уклања инхибиторне молекуле са каталитичког мјеста од Rubisco, или смањеном регенерацијом рибулозе-1,5-бисфосфата (Gray and Brady 2016).

Температурни оптимум за фото-синтезу варира међу врстама, при чему врсте прилагођене врућој пустињској клими имају виши температурни оптимум у поређењу са врстама прилагођеним умјеренијим или хладнијим климатским условима (Gray and Brady 2016). Фотосинтетски функционални тип такође утиче на реакцију врста на температуру, јер C3 биљке показују нижи топлотни оптимум за фото-синтезу у поређењу са C4 биљкама. Обогаћивање ваздуха CO₂ повећава температуру на којој биљке оптимално функционишу, чинећи их погоднијим за развијање у условима глобалног загријавања (Idso 2012). Истраживање Taub et al. (2000) показало је да биљке у повишеној атмосферској концентрацији CO₂ повећавају толеранцију на високе температуре ваздуха за одвијање процеса фото-синтезе, јер су код више од половине анализираних врста листови биљака при повишеној концентрацији CO₂ (550–1.000 mmol mol⁻¹) одржали ефикасност транспорта електрона кроз фотосистем II на знатно вишим температурама од лишћа биљака које су расле при амбијенталној концентрацији CO₂ (око 360 mmol mol⁻¹). Резултати истраживања Saxe et al. (2001) показују да је у двије трећине студија које су анализирали у свом прегледу литературе стопа фото-синтезе повећана као реакција на умјерено повећање температуре ваздуха током XX вијека.

Повећана стопа фото-синтезе не доводи нужно до већег потенцијала за складиштење угљеника у земљишту, јер повећана доступност угљеника у екосистему не утиче само на угљеник акумулиран у биљној биомаси већ и на асимилирани угљеник у земљишту, који стимулише микробиолошку активност (Staddon et al. 2014). Staddon et al. (2014) наводе швајцарски експеримент обогаћивања слободног ваздуха са CO₂ којим је утврђено да је повишена концентрација имала укупан позитиван ефекат на бројност микроорганизама, при чему су грам негативне бактерије показале значајно повећане количине. Подаци истраживања сугеришу да је повишена концентрација CO₂ у атмосфери убрзала и повећала употребу недавно асимилованог угљеника од стране микроорганизама без драстичне промјене састава заједнице. Закључују да је

већа биомаса микроорганизама у земљишту при повишеној концентрацији CO_2 (амбијентална концентрацији $+ 230 \mu\text{l l}^{-1}$) била кључни узрок већег протока угљеника кроз систем биљка–земљиште.

Као резултат повишене концентрације CO_2 стоматална проводљивост и транспирација су смањене код већине биљака, без обзира на то да ли су у питању C_3 или C_4 врсте (Brouder and Volenec 2008; Bisbis et al. 2018). На примјер, стоматална проводљивост шаргарепе смањена је за 17% када је узгајана при концентрацији CO_2 од 650 ppm и за 53% при концентрацији од 1.050 ppm (Bisbis et al. 2018).

Усљед пораста атмосферске концентрације CO_2 смањена је стоматална проводљивост, што је за резултат имало смањену транспирацију и повећано чување воде. Смањени губитак воде транспирацијом усљед затварања стома доводи до повећаног односа усвојеног угљеника и губитка воде, односно до повећања ефикасности коришћења воде (која је дефинисана као количина произведене органске материје по јединици одавања воде транспирацијом у атмосферу) (Huang et al. 2007). Ефикасност коришћења воде представља унос угљеника по јединици воде коју потроши вегетација ($\text{g C kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$). Дефинише се као количина угљеника асимилваног као биомаса или зрно произведено по јединици воде коју биљка користи (Hatfield and Dold 2019). То је интегрисани физиолошки показатељ који мјери баланс између добитка угљеника и губитка воде током фото-синтезе (Хуе et al. 2015). Копнене биљке уклањају CO_2 из атмосфере процесом фото-синтезе, процесом који прати губитак водене паре из лишћа. Однос губитка воде према прирасту угљеника кључна је одлика екосистема, и од велике важности за глобалне циклусе воде, енергије и угљеника (Keenan et al. 2013). Ефикасност коришћења воде је важна веза циклуса угљеника и воде. Повећавање ефикасности коришћења воде кључни је механизам који појачава унос угљеника у копнену вегетацију при порасту атмосферске концентрације CO_2 (Belmecheri et al. 2021). Дакле, повећање ефикасности коришћења воде директна је посљедица повећаног обогаћивања атмосферског ваздуха CO_2 (Idso 2012; Keenan et al. 2013). Комбинација смањене транспирације и веће стопе процеса фото-синтезе при повећаној концентрацији CO_2 побољшала је ефикасност коришћења воде (Brouder and Volenec 2008; Battipaglia et al. 2013; Keenan et al. 2013; Хуе et al. 2015; Frank et al. 2015; Bisbis et al. 2018). Анализе година дрвећа широм свијета показале су да је ефикасност коришћења воде повећана од прединдустријског периода у многим биомима: у бореалним шумама голосјеменица, тропским шумама и широком спектру других шумских биома (Walker et al. 2021). Saurer et al. (2014) и van der Sleen et al. (2015) показали су да су комбиновани ефекти повећања концентрације CO_2 у атмосфери и климатских промјена имали за резултат убрзано повећање унутрашње ефикасности коришћења воде. Постојеће

теорије и емпиријски докази указују на пропорционално повећање ефикасности коришћења воде као одговор на пораст атмосферске концентрације CO_2 , јер биљке одржавају релативно константан однос између интерцелуларног и амбијенталног парцијалног притиска CO_2 (Belmecheri et al. 2021). Претпоставља се да је то главни покретач појачаног копненог понирања угљеника током посљедњих деценија (Belmecheri et al. 2021).

Резултати Xue et al. (2015) показују да глобална ефикасност коришћења воде током анализираниог периода 2000–2013. године има просјечну вриједност од $1,70 \text{ г С кг}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ са великом просторном промјенљивошћу. Ефикасност коришћења воде показује велику варијабилност са географском ширином, а такође варира у зависности од надморске висине (остаје релативно константна од 0 до 1.000 м, а затим драматично опада). Генерално се повећава са повећањем падавина и специфичне влажности, док има негативан однос са температуром и Сунчевим зрачењем. У просјеку, ефикасност коришћења воде глобално показује тренд пораста од $0,0025 \text{ г С кг}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ годишње.

Повећање концентрације CO_2 знатно доприноси побољшаном расту биљака и побољшаној ефикасности коришћења воде, међутим, овај позитивни утицај може бити смањен услед појаве све виших температура током циклуса раста биљака (Hatfield et al. 2011). Повећана ефикасност коришћења воде једна је од најважнијих реакција биљака на повишену атмосферску концентрацију CO_2 , јер им омогућава да расту и развијају се у подручјима која су им до сада била превише сушна, а веома ће им бити корисна и у условима повећане учесталости и интензитета суша који се пројектују у будућности у многим дијеловима свијета (Idso 2012). Повећавање атмосферске концентрације CO_2 учиниће Земљу топлијом, а ово загријавање проузроковаће сушу, која ће постати све распрострањенија и јача у многим дијеловима свијета; међутим, пораст концентрације CO_2 такође модификује стоматалну проводљивост и ефикасност коришћења воде код биљака, што се често занемарује у анализи утицаја, а повећана ефикасност коришћења воде коју биљке доживљавају под вишим концентрацијама CO_2 у атмосфери компензује већи дио ефекта виших температура (Swann et al. 2016).

Дрвенасте врсте које расту у хладнијим климатским условима гдје вода није ограничавајући фактор реагују на загријавање климатског система посљедњих деценија све већим растом, док је у подручјима гдје је вода главни фактор који ограничава раст примијећен супротан тренд (Gea-Izquierdo et al. 2011).

Ainsworth and Stephen (2005) у свом прегледу литературе наводе да се раст и производња надземне биомасе генерално повећавају излагањем повишеној концентрацији CO_2 , међутим, величина реакције варира између врста, сезона раста и експерименталних услова. Генерално, повишена концентрација CO_2

имала је за резултат раст виших биљака, са већим пречником стабљике, повећаним гранањем и бројем листова. Висина биљака повећана је више код грмља и дрвећа него код С3 усјева. Пречник стабљике у просјеку је повећан 9%. Повећани пречник стабљике и висина биљке омогућили су стварање више листова (код 12 врста у седам FACE експеримената број листова повећан је 8%). Специфична површина листа смањена је просјечно 6% код биљака изложених повишеној концентрацији CO₂, иако се тренд разликовао код биљних функционалних група и врста. Резултати истраживања су показали да је надземна производња суве материје порасла код дрвећа 28%, махунарки 24%, а С3 трава само 10% при повишеној концентрацији CO₂. Ограничени резултати промјена броја грана код шест врста на три FACE локације сугеришу појачано гранање (повећање за 25%). Повишена концентрација CO₂ стимулисала је стопе асимилације фотосинтетског угљеника у просјеку за 31% за 40 врста које су истражене у дванаест FACE експеримената.

Експерименти обogaћивања CO₂ на младим шумама на нивоу екосистема сугеришу 30% повећања биомасе, али су експерименти у зрелим шумама утврдили минималну стимулацију раста, што је у складу са доказима о првобитно јакој стимулацији раста младих шума повезаној са повећањем концентрације CO₂, која се смањује са старости и величином стабла вјероватно због ограничења хранљивих састојака и хидрауличне дужине пута (McDowell et al. 2020).

Пораст температура ваздуха стимулише брзину раста коријена до оптималног температурног нивоа специфичног за одређену врсту и значајно мијења неколико параметара коријенске мреже (Gray and Brady 2016). Примijeђено је да се биомаса коријена биљака знатно повећава као одговор на повишену концентрацију CO₂ код многих врста. Алокација ка коријену повећава се као одговор на пораст температуре. Пораст температуре такође може имати значајан утицај на критичне функције коријена, укључујући дисање и уношење хранљивих састојака. Такође, често се код биљака примјећује повећање у односу коријен : изданак. Измијењена расподјела коријена према дубини може утицати на способност биљке да сакупља хранљиве материје, хетерогено распоређене по градијенту дубине земљишта. Измијењени коријенов систем у повишеној концентрацији CO₂ карактерише повећано гранање и ширење бочних коријена, што доприноси развоју коријена у плитким слојевима земљишта, умјесто расту коријеновог система дубље у тло.

Метаанализа 79 врста узгајаних у повишеној концентрацији CO₂ показује досљедне ефекте на репродуктивни учинак: повишена концентрација CO₂ повећала је у просјеку број цвјетова, плодова и сјемена за 16–19% и укупну

масу сјемена за 25%, али је и проузроковала мањи пораст (4%) у појединачној маси сјемена (Jablonski et al. 2002 према Gray and Brady 2016).

Повећање атмосферске концентрације CO₂, таложeње азота и сумпора и климатске промјене утичу на нутритивни статус шума и посљедично на њихово функционисање и структуру, те на услуге екосистема. Истраживање Reuelas et al. (2020) показало је да су се фолијарне концентрације азота, фосфора, калијума, сумпора и магнезијума у европским шумама значајно смањиле за 5%, 11%, 8%, 6% и 7%, респективно, у посљедње три деценије. Смањење нутритивног статуса било је посебно велико у медитеранским и умјереним шумама. Повећавање концентрације CO₂ у атмосфери било је у доброј корелацији са смањењем концентрација азота, фосфора, калијума, сумпора и магнезијума и порастом односа азот : фосфор. Регионалне анализе су показале да се повећавање неких фолијарних концентрација хранљивих састојака као што су азот, сумпор и калцијум у сјеверној Европи догодило као посљедица све повољнијих средњих годишњих падавина и температура. Повишене атмосферске концентрације CO₂ смањују концентрације азота и фосфора у биљкама. Повећање атмосферских концентрација CO₂ често је у корелацији са већим растом и ефикаснијом фото-синтезом, а самим тим и вјероватно разблаженом концентрацијом хранљивих састојака на нивоу листа. Повећање концентрације CO₂ у атмосфери такође смањује транспирацију и стоматалну проводљивост, што такође омета уношење хранљивих састојака, а то у коначници може ограничити иницијално повећање биљне производње при повишеној атмосферској концентрацији CO₂. Таложeње азота такође повећава продуктивност дрвећа и концентрацију фолијарног азота, али може смањити концентрацију фолијарног фосфора и магнезијума. Загријавање тежи да повећа минерализацију, циклус и доступност хранљивих састојака када је вода на располагању, али посљедично повећање раста укључује разблаживање хранљивих састојака, што посљедично доводи до честог смањења концентрације фолијарног азота и повећања односа угљеника и хранљивих састојака (нутријената). Биљке на локацијама које нису ограничене водом реагују повећаним уносом хранљивих састојака, али ако се загријавање настави или чак повећа дугорочно, хранљиве материје могу постати веома ограничавајуће. Загријавање у сувом окружењу, међутим, може повећати сушу у земљишту, погоршавајући снабдијевање водом и хранљивим материјама. Биљке под оваквим условима реагују активирањем механизма за очување и узимање воде и хранљивих материја, али однос угљеник : хранљиве материје и даље се често повећава у фотосинтетским ткивима.

Метаанализа коју су извршили Dong J et al. (2018) открила је да повишена атмосферска концентрација CO₂ повећава концентрацију фруктозе, глукозе, укупног растворљивог шећера, укупног антиоксидативног капацитета, укупних

фенола, укупних флавоноида, аскорбинске киселине и калцијума у јестивом дијелу поврћа за 14,2%, 13,2%, 17,5%, 59,0%, 8,9%, 45,5%, 9,5% и 8,2%, респективно, али да смањује концентрацију протеина, нитрата, магнезијума, гвожђа и цинка за 9,5%, 18,0%, 9,2%, 16,0% и 9,4%, респективно. Повишени атмосферски CO₂ није утицао на концентрације титрабилне киселости, укупног хлорофила, каротеноида, ликопена, антоцијанина, фосфора, калијума, сумпора, бакра и мангана. Gray and Brady (2016) наводе примјер истраживања гдје је повишена концентрација CO₂ повећала принос сјемена код бројних гајених врста, али је нутритивни квалитет зрна углавном смањен због промијењених профила јона, нарочито смањеног садржаја гвожђа и цинка.

Истраживање Zhu et al. (2016) утврдило је перзистентан и широко распрострањени пораст интегрисаног индекса лисне површине (*Leaf Area Index*, LAI), тзв. озелењавање, у вегетационој сезони у периоду 1982–2009. године на 25% до 50% подручја у свијету која су покривена вегетационим покривачем, док мање од 4% подручја карактерише смањење индекса лисне површине (тзв. браунинг). Глобални тренд озелењавања износи 0,068±0,045 m² m⁻¹ годишње. Резултати истраживања сугеришу да ефекти фертилизације CO₂ објашњавају 70% осмотреног тренда озелењавања, а затим слиједи таложење азота (9%), климатске промјене (8%) и промјене земљишног покривача (4%). Ефекти фертилизације CO₂ објашњавају већину трендова озелењавања у тропским предјелима, док су климатске промјене довеле до озелењавања високих географских ширина и Тибетанске висоравни. Промјене земљишног покривача највише су допринијеле регионалном озелењавању примијећеном на југоистоку Кине и истоку САД. Мао et al. (2016) утврдили су да је примијећено озелењавање у складу са претпоставком о антропогеним форсирању, у којем гасови са ефектом стаклене баште играју доминантну улогу (али није у складу са симулацијама које укључују само природна форсирања и унутрашњу варијабилност климе). Њихови резултати пружили су јасне доказе о уочљивом антропогеном утицају на физиолошке промјене биљног свијета, не само на промјене фенологије и помјерања ареала.

Недавне студије пружају све већи број доказа о убрзању динамике раста шума у средњој Европи и широм свијета изазваним промјенама животне средине. Pretzsch et al. (2018) утврдили су да се динамика раста шумских састојина на подручју средње Европе убрзава од 1870. године због пораста температуре, продужених сезона раста и других компоненти климатских промјена. Међутим, њихови резултати такође показују да тренутне повећане стопе раста запремине дрвећа не значе и директно повећање потенцијалне секвестрације угљеника и стварања биомасе. Прираст биомасе у састојини повећан је од 1900. године за 9–24 процентна поена мање у поређењу са прирастом у запремини (повећање од 29–100% смањује се на 20–76%). Иако

састојине и индивидуе брже расту у односу на запремину дрвећа, густина дрвећа смањена је 8–12% од 1900. године. Као доминантне врсте дрвећа у средњој Европи, смрча (*Picea abies*) и обична буква (*Fagus sylvatica*) показују знатно бржи раст дрвећа (32–77%) и раст запремине састојине (10–30%) него 1960. године (Pretzsch et al. 2014).

Стимулација раста биљака при повишеној концентрацији CO₂ углавном постаје већа када и температура истовремено расте, јер су два фактора у позитивној корелацији (Bisbis et al. 2018). Повишена концентрација CO₂ може смањити топлотни стрес, али само под оптималним условима, као што су обилна количина воде, интензитет свјетлости, снабдијевање хранљивим материјама итд. (Bisbis et al. 2018). Благотворни директни утицај повишене концентрације CO₂ на принос биљака може бити поништен другим ефектима климатских промјена, као што су повишене температуре ваздуха и измијењени обрасци падавина (DaMatta et al. 2010). Реакције биљних врста на промјене концентрације CO₂ су сложене и зависе од особина саме врсте и интеракција промјене концентрације CO₂ са температуром, влагом у земљишту, хранљивим материјама и могућности аклиматизације биљака на ове факторе (Hatfield et al. 2011).

Terrer et al. (2019) наводе да атмосферска концентрација CO₂ која се очекује до 2100. године може потенцијално побољшати биљну биомасу за 12±3% изнад тренутних вриједности, што је еквивалентно 59±13 Pg C. Liu et al. (2015) процјењују глобални просјек угљеника из надземне биомасе на 362 Pg C током периода 1998–2002. године (од чега 65% у шумама и 17% у саванама). Аутори такође процјењују да је током периода 1993–2012. године -0,07 Pg C из надземне биомасе годишње изгубљено глобално, углавном као резултат губитка тропских шума (-0,26 Pg C) и нето добитака у мјешовитим шумама у бореалној и умјереној зони (+0,13 Pg C годишње) и тропским саванама и (+0,05 Pg C годишње).

Копнена биосфера може да ослобађа или апсорбује гасове са ефектом стаклене баште (CO₂, CH₄ и N₂O), те стога има важну улогу у регулисању атмосферског састава и климе (Tian et al. 2016). Антропогене активности, попут промјене намјене земљишта, пољопривреде, управљања отпадом и сагоријевања фосилних горива, измијениле су копнене биогене токове гасова са ефектом стаклене баште, што је имало за резултат повећање њихових емисија, које знатно доприносе климатским промјенама (Tian et al. 2016).

Атмосферска концентрација CO₂ се повећава, што повећава стопе фото-синтезе и ефикасност коришћења воде, а ови директни одговори могу повећати раст биљака, биомасу вегетације и органску материју у земљишту, преведећи угљеник из атмосфере у копнене екосистеме (поноре угљеника). Знатан

глобални копнени повор угљеника успорио би стопу повећања атмосферске концентрације CO₂, а тиме и брзину и магнитуду климатских промјена (Walker et al. 2021).

Сви напори за ограничавање климатских промјена захтијевају стабилизацију атмосферских концентрација CO₂, што се може постићи само драстичним смањењем глобалних емисија CO₂. Ипак, емисије фосилних горива повећале су се 29% између 2000. и 2008. године, заједно са повећаним доприносима економија у развоју, производње и међународне трговине робом и услугама, као и употребе угља као извора горива; супротно томе, емисије услед промјена намјене земљишта биле су готово константне (Le Quéré et al. 2009).

Le Quéré et al. (2009) наводе да је у периоду између 1959. и 2008. године у атмосфери у просјеку остајало 43% емисија CO₂ сваке године, а остатак су апсорбовали повори угљеника на копну и у океанима. У посљедњих 50 година удио емисије CO₂ који остаје у атмосфери сваке године се повећао, са око 40% на 45%, а модели сугеришу да је овај тренд изазван смањењем уноса CO₂ у поворе угљеника као одговор на климатске промјене. У наведеном периоду, удио укупне емисије CO₂ коју је копно апсорбовало није имао значајнији глобални тренд, док су океани показали све веће глобално понирање CO₂, са малом промјенљивошћу из године у годину у поређењу са понирањем на копну.

Подаци о атмосферској концентрацији CO₂ указују на то да је површина копна током посљедњих деценија дјеловала као снажан глобални повор угљеника, при чему се знатан дио овог понора угљеника вјероватно налазио у тропским предјелима, посебно у Амазонији. Vrienen et al. (2015) наводе да је један од највећих угљеничних базена на Земљи екосистем Амазоније, која садржи 150–200 Pg C у живој биомаси и земљишту. Раније студије показале су да тропска шума дјелује као снажан повор угљеника са процијењеним годишњим уносом од 0,42–0,65 Pg C годишње у 1990–2007. године, што чини око 25% резидуалног копненог понора угљеника. Њихова анализа потврђује да су шуме Амазоније дјеловале као дугорочни нето повор биомасе, али открива и дугорочни тренд смањења акумулације угљеника. Стопе нето повећања надземне биомасе смањиле су се за једну трећину током посљедње деценије у поређењу са 1990-им годинама као посљедица конверзије земљишта, суша и дуготрајног морталитета дрвећа. Још је више забрињавајуће то што се чини да је слив у периоду 2010–2017. године дјеловао као нето извор 0,4±0,2 Pg C годишње (екстраполисано на цјелокупно подручје басена Амазона од 7,2 милиона км²) (Gatti et al. 2019 према Covey et al. 2021). Емисија пожара била је главни извор угљеника у атмосферу, а и веома сушне године (2010, 2015. и

2016. година) играле су велику улогу у уоченом тренду (елиминишући те године из низа, нето извор се смањује на $0,2 \pm 0,2$ Pg C годишње).

Запажени пад понора у Амазонији знатно се разликује од недавног повећања копненог уноса угљеника на глобалном нивоу. Подаци показују да су зреле шуме наставиле да дјелују као понор биомасе од 1983. до 2011. године, али такође откривају дугорочни пад нето стопа повећања биомасе током читавог периода истраживања (Brienen et al. 2015).

Посљедњих деценија дошло је до повећане акумулације угљеника на копну, тј. копно је дјеловало као понор угљеника. Копнени дио биосфере био је све до око 1940. године нето извор CO₂, прије свега због раширеног крчења шума и претварања пашњака у ораничне површине како би се ширила пољопривредна дјелатност; од тада постаје све већи понор за угљеник (Tans 2009). Глобални нето унос угљеника је у периоду 1960–2010. године удвостручен – са $2,4 \pm 0,8$ на $5,0 \pm 0,9$ милијарди тона годишње (Ballantyne et al. 2012). Pan et al. (2011) користећи податке о инвентару шума и дугорочне студије угљеника у екосистему, процијенили су укупан понор шума од $2,4 \pm 0,4$ Pg C годишње глобално у периоду 1990. до 2007. године. Такође, утврдили су да је промјена намјене тропског земљишта узроковала извор од $1,3 \pm 0,7$ Pg C годишње, која се састојала од бруто емисије крчења тропских шума од $2,9 \pm 0,5$ Pg C годишње, дјелимично компензоване понором угљеника у поновном расту тропских шума од $1,6 \pm 0,5$ Pg C годишње. Залиха угљеника у шумама у свијету процењује се на 861 ± 66 Pg C, и то 383 ± 30 Pg C (44%) у земљишту (до дубине од 1 м), 363 ± 28 Pg C (42%) у живој биомаси (надземној и подземној), 73 ± 6 Pg C (8%) у угинулој биомаси и 43 ± 3 Pg C (5%) у простирци. Географски посматрано, 471 ± 93 Pg C (55%) налази се у тропским шумама, 272 ± 23 Pg C (32%) у бореалним и 119 ± 6 Pg C (14%) у умјереним шумама. Тропске шуме имају 56% угљеника ускладиштеног у биомаси и 32% у земљишту, док бореалне шуме имају само 20% угљеника ускладиштеног у биомаси, а 60% у земљишту. У периоду 2007–2016. године понирање угљеника на копну уклањало је $3,61$ Pg C годишње из атмосфере, што је 33,7% укупних антропогених емисија усљед индустријске активности и промјене намјене земљишта (Keenan and Williams 2018). Овај понор представља драгоцјену услугу екосистема, која је знатно успорила стопу климатских промјена.

Schimel et al. (2015) наводе да је до 60% данашњег копненог понора угљеника узроковано порастом концентрације CO₂ у атмосфери. Реакција циклуса угљеника има далекосежне посљедице на равнотежу угљеника у екосистему у будућим климатским условима (Staddon et al. 2014). Ciais et al. (2005) процијенили су да је, на примјер, топли талас 2003. године узроковао смањење бруто примарне продуктивности за 30% у Европи, што је резултирало снажним

аномалним нето извором CO₂ од 0,5 Pg C годишње у атмосферу и преокренуло ефекат четворогодишње нето секвестрације угљеника у екосистему.

На биогеохемијско кружење угљеника на планети Земљи утичу и промјене у атмосферској концентрацији CO₂ и физичкој клими. У ствари, промјене и у физичкој клими и у биогеохемијском циклусу угљеника утичу једне на друге кроз вишеструке повратне спреге. Arora et al. (2020) квантификовали су повратну спрегу циклуса угљеника и концентрације CO₂ као одговор циклуса угљеника на промјене у концентрацији CO₂ изражене у јединицама уноса или ослобађања угљеника по јединици промјене концентрације CO₂ (Pg C ppm⁻¹), а повратну спрегу система угљеник–клима као одговор циклуса угљеника на промјене у физичкој клими изражен у јединицама уноса или ослобађања угљеника по јединици промјене глобалне средње температуре (Pg C °C⁻¹). Снага повратне спреге концентрације CO₂ и угљеника износи 0,97±0,40 Pg C ppm⁻¹ на копну и 0,79±0,07 Pg C ppm⁻¹ у океану, док је повратна веза циклуса угљеника и климе на копну (-45,1±50,6 Pg C °C⁻¹) око 3 пута већа него у океану (-17,2±5,0 Pg C °C⁻¹). Повећање концентрације CO₂ доводи до повећаног уноса угљеника у копно и океане, што доводи до смањења концентрације CO₂, успоравајући акумулацију CO₂ у атмосфери; на супрот томе, пораст температуре смањује способност копна и океана да усвајају угљеник, што доприноси даљем порасту атмосферске концентрације CO₂.

Многобројне студије су показале да загријавање климатског система може стимулирати раст биљака и понор угљеника, међутим, повећана температура ваздуха такође стимулише аутотрофно дисање код биљака, те је стога наше знање о томе како нето примарна продуктивност може реаговати на различите интензитете загријавања још далеко од јасног, јер овај одговор представља интегрисани ефекат промјена температуре и стања воде на фото-синтезу и дисање (Gu et al. 2017). Ефекти загријавања на нето примарну продуктивност биће или појачани или ослабљени, у зависности од тога да ли се падавине смањују или повећавају. Поред тога, експерименти су показали да се ефекти повећања температуре и промијењених падавина веома разликују и да у великој мјери зависе од типа екосистема и климатских зона. У средњим и високим географским ширинама сјеверне хемисфере раст биљака углавном је ограничен температуром, а недавно климатско загријавање побољшало је продуктивност екосистема и понирање угљеника. У полуаридним и сушним подручјима продуктивност екосистема као одговор на загријавање климе углавном зависи од падавина.

Са порастом атмосферске концентрације CO₂ и температуре ваздуха бруто примарна продуктивност (дефинисана као количина CO₂ која се фиксира у органски материјал фото-синтезом копнених биљака) расла је знатно брже

од дисања екосистема, што је довело до повећања секвестрације угљеника у екосистемима. Раст глобалне копнене бруто примарне производње током XX вијека износио је $31 \pm 5\%$ (Campbell et al. 2017; Haverd et al. 2020). Пораст атмосферске концентрације CO_2 био је доминантни покретач пораста (Haverd et al. 2020). Ueyama et al. (2020) су на глобалном нивоу утврдили пораст бруто примарне производње у периоду 2000–2014. године за $0,138 \pm 0,007\%$ по ppm пораста CO_2 и истовремено смањење транспирације за $-0,073\% \pm 0,006\%$ по ppm пораста CO_2 . Побољшана бруто примарна производња усљед фертилизације CO_2 након базне године истраживања (2000) износи у просјеку $1,2\%$ глобалне бруто примарне производње, односно $12,4 \text{ g C m}^{-2-2}$ годишње или $1,8 \text{ g C m}^{-2-2}$ годишње у годинама од 2001. до 2014. Резултати показују да би тренутни пораст атмосферске концентрације CO_2 могао потенцијално објаснити недавни понов копненог CO_2 на глобалном нивоу.

Резултати истраживања Bond-Lamberty et al. (2018) показују да се глобални флуks CO_2 између земљишта и атмосфере (односно укупно дисање земљишта) повећава. Глобално хетеротрофно дисање расте, вјероватно као одговор на промјене у животној средини. Однос хетеротрофног дисања и укупног дисања земљишта значајно се повећао, са $0,54$ на $0,63$, између 1990. и 2014. године. Односи хетеротрофног дисања и укупног дисања земљишта према бруто примарној производњи временом су се повећавали.

Нето примарна производња, која квантификује количину атмосферског угљеника фиксираног биљкама и акумулираног као биомаса, сматра се веома важним регулаторним фактором у глобалном циклусу угљеника (Sun and Mu 2018; Ji et al. 2020). Нето примарна продуктивност представља производњу бруто фото-синтезе умањене за аутотрофно дисање (Gu et al. 2017). Повишене атмосферске концентрације CO_2 повећавају фото-синтезу и, потенцијално, нето производњу екосистема, што значи већи унос CO_2 . Клима, хранљиве материје и структура екосистема, међутим, утичу на ефекат повећања CO_2 . Анализа нето производње екосистема коју су извршили Fernández-Martínez et al. (2019) открила је да је повишена концентрација CO_2 досљедно повезана са повећаном нето производњом екосистема у периоду 1995–2014. Супротно томе, више температуре ваздуха негативно су повезане са нето производњом екосистема. Процијењена глобална осјетљивост нето производње екосистема на CO_2 према различитим моделима износила је $6,0 \pm 0,1$, $8,1 \pm 0,3$ и $3,1 \pm 0,1 \text{ Pg C}$ на 100 ppm (око $1 \text{ }^\circ\text{C}$ пораста), а на температуру $-0,5 \pm 0,2$, $-0,9 \pm 0,4$ и $-1,1 \pm 0,1 \text{ Pg C}$ по $^\circ\text{C}$. Резултати указују на позитиван ефекат CO_2 на копнене поноре угљеника, који је ограничен загријавањем климе. Повећање концентрације CO_2 било је највјероватнији покретачки фактор повећања нето производње екосистема упркос повећању температура које су ограничавале овај позитиван

ефекат. Глобална годишња нето производња екосистема (без Антарктика) износила је $2,3 \pm 0,9$, $2,3 \pm 1,5$ и $1,6 \pm 0,5$ Pg C годишње.

У периоду 1950–2000. године утврђен је позитиван тренд нето примарне продуктивности шума у Европи од $1 \pm 0,5$ g C m⁻² годишње; главни узрочници који објашњавају наведени тренд су повећање концентрације CO₂ (објашњавају око 61% симулираног пораста), климатске промјене (26%) и промјене саме старосне структуре шума (13%) (Bellassen et al. 2011).

Пројекције Fu et al. (2016) показују да ће се под утицајем климатских промјена нето примарна производња смањити до краја XXI вијека према сценарију интензивног загријавања репрезентативног пута концентрације RCP8.5 – у односу на 1990-те године нето примарна производња ће се смањити за 2–16% током 2090-их. Очекује се да ће климатско загријавање продужити сезоне раста умјерених шумских екосистема и повећати бруто примарну продуктивност; истовремено, очекује се да ће загријавање повећати љетне дисање екосистема, што би могло поништити добитак стечен усљед дужих сезона раста (Duveneck and Thompson 2017).

Даље се очекује да ће загријавање климатског система повећати и бруто примарну продуктивност и дисање екосистема у умјереним шумама. Повећање бруто примарне продуктивности ће бити резултат ранијег почетка вегетације у сезони прољеће и каснијег завршетка циклуса вегетације у јесен. Топла љета, међутим, наметнуће веће респираторне захтјеве током наведеног годишњег доба, који би могли смањити раст. Дакле, док се у многим дијеловима свијета очекује бруто повећање продуктивности, до пада нето примарне продуктивности доћи ће тамо гдје дисање екосистема премаши производњу усљед климатских промјена. Са повећањем температура ваздуха очекује се повећање дисања екосистема прије аклиматизације на више температуре ваздуха. Већа продуктивност (тј. мање ослобођеног угљеника и више усвојеног угљеника) под климатским промјенама зависиће и од довољне количине воде, хранљивих састојака и фотосинтетског активног зрачења. До више ослобођеног угљеника и мање усвојеног угљеника, што значи нижу продуктивност, доћи ће тамо гдје су ови ресурси иначе ограничени. На европском континенту продуктивност шума повећаваће се у сјеверној Европи, повећавати и смањивати у средњој Европи, а смањивати у јужној Европи (Reyer et al. 2013). Продуктивност обичног бора и смрче, углавном распрострањених у средњој и сјеверној Европи, биће у порасту, док ће се продуктивност обичне букве и храста у јужним регионима смањити.

Повећане стопе нето примарне производње одражавају се и на каскадне промјене угљеника кроз систем који чине коријени биљака, микроорганизми и земљиште – повећање флукса угљеника у земљишном покривачу под

повишеном концентрацијом CO₂ подстакнуло је активност микроорганизама, убрзало брзину разградње органске материје у земљишту и подстакло усвајање азота везаног за органске материје у земљишту; наведени процес покренуо је позитивне повратне утицаје одржавајући веће стварање угљеника под повишеном концентрацијом CO₂ као резултат повећања садржаја азота крошње и веће ефикасности фотосинтетске употребе азота (Drake et al. 2011).

4.3.2. Утицаји на фенологију

Промјене у фенологији вегетације кључни су примјер биолошких ефеката климатских промјена (Richardson et al. 2018). Фенологија биљног свијета веома је осјетљива на климатске промјене, а с друге стране такође контролише многе повратне утицаје вегетације на климатски систем кроз утицаје на сезоналност албеда, храпавост површине, проводљивост крошње и циклусе воде, енергије, CO₂ и биогених волатилних органских једињења (Richardson et al. 2013).

Помјерања у фенологији биљака, као посљедица климатских промјена, могу промијенити функционисање екосистема, продуктивност екосистема и еколошке интеракције на различитим трофичким нивоима (Pearson 2019). Ове промјене у сезонском развоју биљака утичу на равнотежу угљеника и хранљивих састојака и могу да изазову знатан утицај на различите еколошке процесе, укључујући примарну продуктивност екосистема. Узимајући у обзир да се одговор појединих врста на климатске промјене битно разликује, могу се очекивати знатне промјене у њиховој конкурентној способности и биодиверзитету екосистема. С обзиром на то да не реагују све врсте слично на климатске промјене (интерспецијска варијација) и да постоје значајне просторне разлике у реакцијама чак и унутар исте врсте, предвиђање фенолошких одговора на савремене промјене климе биће веома комплексно (Ibanez et al. 2010).

Реакција биљака на климатске промјене и помјерање времена одвијања различитих фенофаза резултат је интегрисаног утицаја различитих фактора, као што су температура, дужина фотопериода, разлике у температури током свијетлих и тамних фаза, доступност хранљивих материја и падавине (Juknys et al. 2016). Међутим, температура се обично сматра главним покретачем већине фенофаза. Дужина фотопериода има важну улогу у времену одвијања прољећне фенологије, посебно за касносезонске врсте. Међутим, експерименти изведени у климатским коморама показали су да су захтјеви фотопериода мање важни него што се сматрало, а краћа дужина дана не ограничава способност врсте да достигне фенофазу пупања или листања. Временски

распоред фенофаза дрвећа не зависи само од спољашњих фактора већ и од унутрашњих карактеристика самих биљака: критосјемењаче листају раније од голосјемењача, листопадне врсте раније од зимзелених врста, грмље раније од дрвећа итд.

Као посљедица пораста температура широм свијета, мијењају се прољећна и јесења фенологија, што доводи до кореспондентних промјена у дужини вегетационог периода (Ibanez et al. 2010). Раније одвијање фенофаза у прољеће (пупање, листање, цвјетање), кашњење у јесенским фенофазама (жућење лишћа, опадање лишћа) и посљедично продужено трајање вегетационог периода представљају важне фенолошке реакције биљака на глобално загријавање (Parmesan and Yohe 2003; Chmielewski et al. 2004; Menzel et al. 2006, 2020; Parmesan 2007; Parmesan and Hanley 2015; Juknys et al. 2016; Gusewell et al. 2017).

Утицај загријавања климатског система на фенологију биљака у прољеће је несумњив – клијање, ницање лишћа, цвјетање, плодношење и опште озелењавање сјеверне хемисфере одвија се све раније у складу са трендом загријавања (Parmesan and Hanley 2015). Прољећне фенофазе, првенствено листање и цвјетање, јављају се раније са порастом температуре ваздуха, што је у снажној корелацији са промјенама температуре у сезонама зима и рано прољеће (Chmielewski et al. 2004). Раније одвијање прољећних фенофаза биљака утврђено у умјереној и бореалној зони сјеверне хемисфере посљедњих деценија објашњава се првенствено убрзаним развојем пупољака због пораста прољећних температура (Gusewell et al. 2017). Истраживање Parmesan (2007) утврдило је општи тренд ранијег појављивања прољећних фенофаза на сјеверној хемисфери за 2,8 дана по деценији. Глобална метаанализа коју су извршили Parmesan and Yohe (2003) утврдила је просјечно раније појављање фенофаза за 2,3 дана по деценији током посљедњих деценија XX вијека. Резултати Schwartz et al. (2006) потврђују готово универзални ранији почетак прољећних фенофаза у већини умјерених копнених региона на сјеверној хемисфери у периоду 1955–2002. године (датум првог листања јавља се раније за 1,2 дана по деценији, датум почетка цвјетања раније за 1,0 дан по деценији, а посљедњи прољећни дан са температуром нижом од 5 °C раније за 1,4 дана по деценији). У складу са посматрањима на површини Земље, сателитске студије, обично фокусиране на почетак и завршетак вегетационог периода, такође откривају прогресивно ранији почетак вегетационог периода током протекле три деценије (Piao et al. 2019).

Истраживање Menzel et al. (2020) спроведено за период 1951–2018. године утврдило је да је у Европи било присутно још и више негативних трендова (тј. трендова према ранијем одвијању) прољећних и љетних фенофаза дивљих

биљака (око 90%; резултати за прољећне фенофазе усјева били су слични, али мање изражени) и више статистички значајних негативних трендова (око 60%) него у њиховом претходном истраживању спроведеном за период 1971–2000. године (Menzel et al. 2006). Трендови су били израженији у рано прољеће и на вишим надморским висинама, а мање изражени за недрвенасте врсте које опрашују инсекти. Наведене трендове аутори приписују загријавању климатског система у зиму и прољеће. Закључују да су раније пољопривредне активности вјероватно, љетне фенофазе врло вјероватно, а прољећне фенофазе (попут листања и цвјетања) чак изузетно вјероватно повезане са порастом температура ваздуха. Око 96% значајних промјена у листању и цвјетању и 95% значајних промјена у сазријевању плодова било је негативно, што указује на раније датуме почетка наведених фенофаза усљед загријавања. У односу на истраживање из 2006. године проценат негативних трендова листања и цвјетања, плодношења и времена одвијања пољопривредних активности благо се повећао (на примјер, са 87% на 89% ранијег одвијања фенофаза листање и цвјетање). Међутим, иако се удио значајних трендова повећао, средња вриједност тренда била је знатно мања него у претходном истраживању. На примјер, средња вриједност тренда листања и цвјетања износила је $-0,394 \pm 0,003$ дана годишње у истраживању из 2006. године и $-0,240 \pm 0,002$ дана годишње у новом истраживању. До 1988. године трендови су били стабилни и позитивни за већину феногрупа, што указује да су фенофазе наступале касније. Након 1989. године трендови жућења лишћа и опадања лишћа осцилирали су око нуле, док су за све остале групе трендови постајали све више и више негативни. Најјачи трендови ранијег одвијања фенофаза достигнути су у периоду 1979–2008. године. Најизраженији средњи тренд ранијег одвијања фенофаза од $-0,553 \pm 0,004$ дана годишње забиљежен је за фенофазе цвјетања воћака и дивљих биљака у прољеће. Након тог периода, трендови су поново постали слабији, посебно за прољећно листање и цвјетање воћака и дивљих биљака. У најновијем тридесетогодишњем периоду (1989–2018) сви трендови су били мањи од половине свог максимума током периода од 1980-их до 2010-их, иако и даље негативни.

Генерални негативни трендови прољећне фенологије, тј. раније одвијање фенофаза у овом периоду године потврђени су низом локалних и регионалних истраживања широм свијета, на примјер, у средњој Европи (Fu et al. 2014), Великој Британији (Fox and Jönsson 2019), Чешкој (Kolářová et al. 2014), Литванији (Juknys et al. 2016), Србији и Босни и Херцеговини (Drkenda et al. 2018), на Алпима (Studer et al. 2005), у Кини (Cheng et al. 2021), Јапану и Јужној Кореји (Ibanez et al. 2010), САД (Pearson 2019; Liu and Zhang 2020) итд.

Без обзира на генерални тренд ранијег одвијања прољећних фенофаза, у свакој студији било је одређених врста код којих нису забиљежене наведене

фенолошке реакције на пораст температуре; чак је забиљежено и неколико врста код којих су се фенофазе у прољеће јављале касније на мјестима гдје је присутно загријавање климе. Cook et al. (2012) истражујући управо такве врсте утврдили су да је већина (72%) осјетљива само на прољећне температуре и реаговала је на топлија прољећа ранијим цвјетањем за 1 дан по деценији. Већина преосталих биљака у студији (18%) нису реаговале на загријавање или се фенологија мијењала супротно очекивањима, тј. одлагањем цвјетања. Детаљнијим истраживањем утврдили су да су ове врсте „које не реагују“ на загријавање ипак осјетљиве на климатске услове, али на начин који је у складу са зимским захтјевом за јаровизацијом (вернализацијом). То су врсте чија стратегија избјегавања покретања активности током зиме (тј. због кратког зимског топлотог периода, названог „лажно прољеће“) захтијева акумулирано зимско хлађење прије него што реагују на прољећну топлоту. Код ових врста прољећна активност је почињала раније у условима интензивнијег зимског хлађења, а успоравала усљед загријавања у јесен и зиму. Многе врсте листопадног дрвећа захтијевају хлађење како би започеле период мировања, а смањење хлађења усљед загријавања климатског система може се супротставити ранијем листању као одговор на загријавање (Fu et al. 2015).

Fu et al. (2015) су коришћењем дугорочних *in situ* посматрања листања седам доминантних европских врста дрвећа на 1.245 локације показали да постоји очигледан одговор листања биљака на загријавање климе (изражен у данима ранијег листања по загријавању од 1 °C). У периоду од 1980. до 2013. године утврђено је смањење одговора листања биљака на загријавање климе код свих посматраних врста дрвећа. Просјечно за све врсте и локалитете у истраживању, смањење је износило 40% – са $4,0 \pm 1,8$ дана по °C загријавања у периоду 1980–1994. године на $2,3 \pm 1,6$ дана по °C загријавања у периоду 1999–2013. Аутори наводе да се наведено смањење вјероватно дјелимично може приписати смањеном хлађењу током сезоне зима, али и да други механизми такође могу имати важну улогу, попут ограниченог фотопериода, који могу постати крајње ограничавајући када се датуми листања јављају прерано у сезони. Резултати сугеришу да предвиђено снажно загријавање током сезоне зима у будућности може додатно смањити одговор листања биљака на загријавање климе и стога резултирати успоравањем ранијег одвијања фенологије дрвећа у прољеће.

Vitasse et al. (2018) на основу око 20.000 запажања датума листања четири уобичајене умјерене врсте дрвећа на 128 локалитета у Алпима, открили су да је фенолошки помак условљен надморском висином значајно смањен са 34 дана кашњења за сваких 1.000 м пораста надморске висине у складу са Хопкинсовим биоклиматским законом у 1960. години на 22 дана кашњења за сваких 1.000 м пораста надморске висине у 2016. години, тј. смањен је за 35%.

Израженије помјерање фенофаза на вишим надморским висинама, одговорно за смањење фенолошког помака дуж градијента надморске висине, повезано је, највјероватније, са јачим загријавањем током касног прољећа, као и са вишим зимским температурама. Заиста, под сличним температурама у сезони прољеће, аутори су открили да је фенолошки помак дуж градијента надморске висине знатно смањен у годинама када је претходна зима била топлија. Резултати истраживања Chen et al. (2018) сугеришу да се, због различитих температурних промјена на различитим надморским висинама и различитих реакција дрвенастих врста на ове промјене, фенологија дрвећа помјерала различитим брзинама, што је довело до уједначеније фенологије на различитим надморским висинама током посљедњих деценија. Користећи 652.000 записа о листању пет умјерених врста дрвећа праћених *in situ* у Европи током периода 1951–2013. године, открили су нелинеарни тренд висинске осјетљивости (помјерање времена одвијања фенофаза у данима на 100 м надморске висине) у прољећној фенологији. Одложено одвијање фенофазе листања (за $2,7 \pm 0,6$ дана по деценији) примијећено је на великим надморским висинама (вјероватно усљед смањеног форсирања прољећа између 1951. и 1980. године), праћено истовременим ранијим одвијањем листања на нижим надморским висинама. Ови дивергентни трендови допринијели су значајном повећању помјерања времена одвијања фенофаза у данима на 100 м надморске висине ($0,36 \pm 0,07$ дана на 100 м по деценији) током периода 1951–1980. године. Од 1980. године помјерање времена одвијања фенофаза почело је да опада брзином од $-0,32 \pm 0,07$ дана на 100 м по деценији, вјероватно усљед смањеног хлађења на нижим висинама и побољшане ефикасности прољећног форсирања ранијег листања које се одвија на великим надморским висинама. Планинске регије су посебно подложне утицају климатских промјена. Као непосредни одговор на повећање температуре (два пута брже него на сјеверној хемисфери током XX вијека) у Алпима се код одређених врста дрвећа, прољећне фенофазе, као што су пупање и цвјетање, обично јављају раније; међутим, недавне студије показују успоравање фенолошких помјерања током посљедње двије деценије у поређењу са ранијим периодима, што би могло бити узроковано топлијим зимама (Asse et al. 2018). Заправо, ниске температуре потребне су за мировање пупољака које се дешава почетком јесени (прекид мировања је предуслов за издуживање ћелија у прољеће, када је температура довољно висока).

Larénis et al. (2014) анализом података Паневропске мреже података о фенологији утврдили су да су донедавно биљке успијевале да иду у корак са загријавањем климе, помјерајући вријеме листања и цвјетања за исти број дана као и дужине периода погодног за њихов раст. Њихов модел међутим предвиђа још веће повећање сезоне термалног раста са накнадним повећањем средње годишње температуре. Аутори истичу да у зависности од утицаја других

фактора, као што су промјене падавина и повећана варијабилност температуре, ове дуже термичке сезоне раста можда неће бити корисне за раст биљака.

Иако су и *in situ* и сателитска посматрања показала општи тренд ранијег почетка вегетационог периода од 1980-их, неке недавне сателитске студије сугеришу да се тренд ранијег почетка вегетационог периода могао успорити или се чак преокренути од 2000-их (тзв. период паузе у загријавању, период хијатуса) (Piao et al. 2019). Piao et al. (2019) наводе неколико примјера: почетак вегетационог периода на сјеверној хемисфери јављао се раније за 5,2 дана у периоду 1982–1999. године, али само за 0,2 дана раније у периоду 2000–2008. године; слично томе, успорен ранији почетак вегетационог периода примијењен је у умјереној зони Кине током 2000-их, односно ранији почетак вегетационог периода за 12,4 дана раније по деценији током периода 1982–1999. године заправо се преокренуо у наредним деценијама (6,6 дана касније по деценији); као резултат, почетак вегетационог периода на сјеверној хемисфери напредовао је слабом стопом од 2,1 дана по деценији просјечно током читавог периода 1982–2011. године.

Период развоја лишћа и репродуктивни развој дрвенастих биљака умјерене зоне започињу раније усљед климатских промјена које укључују више прољећне температуре, што биљке потенцијално чини рањивијима на појаву мраза у касно прољеће (Augsburger 2013; Bigler and Bugmann 2018). Раније листање јавља се код већине врста дрвећа и грмља као одговор на повећане прољећне температуре. Иако им раније листање омогућава да продуже период раста и тако произведу више асимилата и повећају производњу биомасе, то такође повлачи повећани ризик од оштећења од мраза (Bigler and Bugmann 2018). С обзиром на то да је отпорност на мраз ниска током периода листања, биљке су посебно осјетљиве на оштећења од мраза, када температуре падну испод критичних вриједности специфичних за дату врсту. Уобичајена претпоставка је да загријавање климе може довести до смањене учесталости и озбиљности оштећења вегетације од мраза; с друге стране, пораст температуре крајем зиме и у рано прољеће могао би да покрене тзв. „лажно прољеће“, односно рани почетак раста који је праћен хладним периодима, што би резултирало повећаном штетом од мраза (Ma et al. 2019). Како промјене учесталости екстремних догађаја попут мраза више зависе од варијабилности (која се повећава посљедњих деценија) него од трендова температуре ваздуха, појавило се контраинтуитивно предвиђање повећаног ризика од штете од мраза на биљкама у условима глобалног загријавања (Augsburger 2013). Релативно помјерање времена листања у односу на вријеме и интензитет мразних догађаја одређују да ли се ризик од мраза мијења при загријавању климатског система (Bigler and Bugmann 2018). Раније одвијање фенофаза може смањити отпорност биљака, јер цвјетање прије посљедњег датума мраза

у прелазном периоду зима/прољеће може оштетити цвјетне пупољке или отворене цвјетове, ограничавајући производњу плода и сјмена (Park et al. 2021). Ризик од изложености цвјетова утицају мраза зависи од тога да ли је помјерање датума посљедњег прољећног мраза брже од помјерања датума почетка цвјетања као одговор на загријавање климатског система.

Још не постоји консензус о томе да ли се ризик од мраза повећава или смањује услед глобалног загријавања, јер су досадашње студије узимале у обзир релативно мало врста, локалитета или висинских зона (Bigler and Bugmann 2018). Ma et al. (2019) су на основу фенолошких посматрања 27 врста дрвећа са 5.565 локација у Европи показали да промјене ризика од оштећења услед прољећног мраза у условима загријавања климатског система варирају у великој мјери у зависности од врста и региона. Bigler and Bugmann (2018) наводе да се ризик од мраза 13 европских врста дрвећа и грмља са 264 локалитета смјештена између 200 и 1.900 м. н. в. широм Швајцарске промијенио током претходних више од 60 година: вријеме између посљедњег критичног мраза и листања биљежило је претежно позитивне трендове крајем 1950-их и 1960-их, а преокрет тренда догодио се од 2000-их. Park et al. (2021) на основу анализе 1.653 врста критосјеменаца у Сјеверној Америци у периоду 1920–2015. године утврдили су да је помјерање датума посљедњег мраза према ранијем завршетку мразног периода било много брже од помјерања датума цвјетања, што је за резултат имало смањење ризика од мраза код 66% врста. Augspurger (2013) такође је, на основу фенолошких посматрања 20 дрвенастих врста у периоду 1993–2012. године у мјесту Трелисе Вудс у САД, утврдио да се годишња вјероватноћа штете од мраза знатно повећала, са 0,03 током периода 1889–1979. године на 0,21 током периода 1980–2012. године.

Иако глобално загријавање климатског система смањује годишњу учесталост појаве мраза, продужавање вегетационог периода биљака на сјеверној хемисфери (изазвано загријавањем) може заправо узроковати већу учесталост мразних дана током вегетационог периода (Liu et al. 2018). На око 43% сјеверне хемисфере, забиљежен је значајан пораст броја мразних дана током вегетационог периода између 1982. и 2012. године (углавном током сезоне прољеће), а нарочито у Европи (на око 82% површине Европе; просјечно за $2,8 \pm 4,6$ додатна мразна дана у вегетационом периоду). Повећани број додатних прољећних мразних дана углавном се јавља у кратком периоду након почетка вегетационог периода (тј. 43% у року од 10 дана и 81% у року од једног мјесеца).

Супротно генерално ранијем листању у сезони прољеће које се одвија под глобалним загријавањем, ефекти климатског загријавања на старење лишћа

у јесен веома су промјенљиви, а утврђени су обрасци и ранијег и одложеног и непромијењеног времена одвијања наведене фенофазе (Chen et al. 2019). Промјене у јесењим фенофазама (старење и опадање лишћа) спорије су, хетерогеније и мање конзистентне од оних утврђених за почетак прољећних фенофаза (Estiarte and Peñuelas 2015). Чињеницу да је загријавање генерално одложило датуме старења и опадања лишћа потврдио је низ истраживања на различитим просторним скалама широм свијета (Ibanez et al. 2010; Kolářová et al. 2014; Gill et al. 2015; Fu et al. 2018; Menzel et al. 2020). Тренд каснијег завршетка вегетационог периода за 1,2–6,1 дана по деценији досљедно је примијећен широм Сјеверне Америке, Евроазије и умјерене зоне Кине, без обзира на периоде проучавања (Piao et al. 2019). Piao et al. (2019) наводе примјере студија које су утврдиле одлагање завршетка вегетационог периода просјечно за цијелу сјеверну хемисферу од 2,2 дана по деценији у периоду 2000–2008. године, односно за 1,8 дана по деценији у периоду 1982–2011. године.

Gill et al. (2015) су на основу извршене метаанализе објављених студија (64 публикације са посматрањима у распону од 1931. до 2010. године) о датумима јесенског старења лишћара на сјеверној хемисфери утврдили да је јесење старење лишћа значајно одложено у нижим (на простору 25–49° с. г. ш.) географским ширинама сјеверне хемисфере, више него у високим ширинама (50–70° с. г. ш.). Температуре мјесеца октобра биле су најснажнији предиктори датума старења лишћа, а затим хладни степен-дани, географска ширина, фото-период и на крају укупна мјесечна количина падавина, иако се важност појединих фактора разликује међу локалитетима у високим и нижим ширинама. Старење лишћа у високим географским ширинама осјетљивије је на утицај фото-периода, а у нижим ширинама на утицај температуре. Одлагање старења лишћа било је израженије у Сјеверној Америци него у Европи и Азији. Аутори наводе и примјер истраживања Piao et al. (2006), које је утврдило да је старење у листопадним шумама сјеверне хемисфере одложено за 0,37 дана годишње између 1982. и 2009. године. Резултати истраживања Li P et al. (2020) на висоравни Ђингхај-Тибет показали су да температура ваздуха игра важну улогу у тренду одлагања времена одвијања јесенске фенологије биљака – нарочито температура у предсезони може значајно одложити датум почетка мировања вегетације, а позитивне корелације забиљежене су у више од 71% истраживаних подручја. У складу са претходним студијама, утврдили су и значајне негативне корелације између хладних степен-дана предсезоне и датума почетка мировања вегетације (негативне корелације су примијећене у више од 72% подручја). Насупрот томе, утицај падавина на датум почетка мировања вегетације зависи од биома.

Истраживање Menzel et al. (2020) у односу на резултате Menzel et al. (2006) утврдило је да се проценат трендова одложеног жућења и опадања лишћа у Европи повећао са 49% на 57%. Док је истраживање из 2006. године указивало на мање јасан образац промјена у времену жућења лишћа, смјер промјена био је очигледнији у новом истраживању, при чему је жућење лишћа углавном одложено (57%). Статистички значајни трендови жућења и опадања лишћа били су 63% позитивни, што наговјештава одлагање јесењих фенофаза услед загријавања. Средња вриједност тренда била је $+0,036 \pm 0,007$ дана годишње наспрам $-0,015 \pm 0,013$ дана годишње у 2006. години, што указује на каснији завршетак вегетационог периода.

Што је дужи период са зеленим лишћем, већи је унос угљеника и продуктивност шума (Estiarte and Peñuelas 2015). Старењем лишћа завршава се сезона раста листопадног дрвећа и стога фактори који одлажу њихово опадање могу продужити период фото-синтезе биљака и повећати стопе бруто примарне продуктивности; дакле, продужавање вегетације може допринијети смањеној атмосферској концентрацији CO_2 услед појачане секвестрације угљеника у копненим биљкама (међутим, повећање уноса угљеника може се дјелимично поништити повећаним стопама дисања екосистема) (Gill et al. 2015).

Генерално, загријавање климатског система ће одложити, а суша убрзати вријеме старење лишћа, али у различитом степену у зависности од врсте и региона. С обзиром на то да загријавање и суша имају супротне ефекте на фенологију старења лишћа, утицај климатских промјена зависиће од релативне важности сваког фактора у одређеном региону (Estiarte and Peñuelas 2015).

Захваљујући све ранијем почетку прољећних фенофаза и генералном одлагању фенофаза у јесен, вегетациони период многих биљака се продужава, нарочито у регионима гдје раст током љета није ограничен екстремним температурама ваздуха или падавинама (Parmesan and Hanley 2015). Анализе сателитских посматрања у периоду од 1980-их до 2000-их показале су да се у умјереној зони сјеверне хемисфере почетак вегетације јављао 5,4 дана раније, док је крај вегетационог периода одложен за 6,6 дана (Jeong et al. 2011).

Garonna et al. (2016) анализирали су промјенљивост и еволуцију глобалне дужине вегетационог периода на основу сателитских података (на основу индекса нормализоване разлике вегетације) током посљедње три деценије (1982–2012). Резултати су потврдили просјечно продужавање вегетационог периода на глобалном нивоу у наведеном периоду у просјеку за 0,22–0,34 дана годишње, али са просторно хетерогеним трендовима. Око 13–19% копнених подручја у свијету показало је значајне промјене дужине трајања вегетационог периода, а преко 30% трендова забиљежено је у бореалном и алпском биому сјеверне хемисфере. Унутар овог биома, зона животне средине

„хладно и мезично“ појавила се као жаришна тачка промјене фенологије – промјена забиљежена на више од једне трећине укупне површине. Снажан позитиван тренд у овој зони у просјеку је износио 0,73–0,80 дана годишње (до 37% ове зоне показује значајне трендове). Продужење трајања вегетационог периода пронађено је унутар зона „хладно и мезично“ и „хладно, умјерено и суво“, које се простиру кроз бореалну Евроазију и Сјеверну Америку, као и у великом дијелу зоне „изузетно вруће и ксерично“, посебно у Судану, Сахелу и у великим дијеловима Индије. С друге стране, скраћивање вегетационог периода утврђено је углавном у зони „изузетно хладно и мезично“ широм Сјеверне Америке и Сибира (у панарктичкој зони просјечно скраћивање трајања вегетационог периода износило је од -0,32 до -0,47 дана годишње), као и у малим областима у централној Азији, сјеверној Аргентини, јужној Аустралији и сјевероисточној Кини. Утврдили су да су трендови времена завршетка вегетационог периода углавном снажнији и распрострањенији од трендова времена почетка вегетационог периода.

Buitenwerf et al. (2015) показали су да се фенологија вегетације озбиљно промијенила (за више од 2 стандардне девијације у једној или више димензија фенолошких промјена) на 54% глобалне површине копна између 1981. и 2012. године. Анализа је потврдила претходним студијама откривене промјене у бореалним и сјеверним умјереним подручјима, али и подједнако озбиљне фенолошке промјене на јужној хемисфери. Фенологија се значајно промијенила у већини региона свијета – на 95% копнених површина промијенила се за најмање једну стандардну девијацију. У арктичким и бореалним регионима вегетациони период је продужен, а укупна фотосинтетска активност се повећала. Продужавање сезоне раста допринијело је озелењавању Сахела. Међутим, тачне фенолошке промјене на којима се заснива ово цјелокупно озелењавање разликовале су се међу регионима. У најсјевернијим областима вегетациони период није само продужен већ и започиње раније због ранијих датума и листања и опадања лишћа. Јужније, ранији датуми листања продужили су сезону раста, док се датуми опадања лишћа нису мијењали. Супротно томе, још даље на југ, вегетациони период је продужен првенствено каснијим датумима фенофазе опадања лишћа. Разноликост фенолошких промјена у овим регионима, а које су све резултирале нето озелењавањем, сугеришу да различити механизми покрећу промјене у сваком од ових региона.

Фенофазе у Европи показују трендове општег помјерања ка ранијем почетку вегетационог периода (за 0,54 дана годишње) и продуженом трајању (за 0,96 дана годишње) вегетационог периода који су статистички значајни, нарочито у средњој Европи (Stöckli and Vidale 2004). Menzel et al. (2020) утврдили су да око 84% анализираних серија показује продужавање вегетационог периода (48% статистички значајно продужавање), са средњом вриједношћу тренда,

која је износила $+0,261 \pm 0,008$ дана годишње. Анализа промјена паневропске фенологије копнене површине у периоду 1982–2011. године (заснована на индексу нормализоване разлике вегетације) коју су извршили Garonna et al. (2014) показала је да се дужина трајања вегетационог периода значајно повећала за 18–24 дана по деценији на 18–30% копнене површине Европе. Међу свим значајним трендовима 69–85% је позитивних. То значи да је 12–24% копнене површине Европе карактерисало повећање дужине трајања вегетационог периода, а само 4–5% смањење. Овај тренд је увелико варирао унутар и између климатских зона и класа пејзажа. Подручја у којима је дошло до највећег продужавања вегетационог периода била су континентална, бореална и алпска зона, са жариштима концентрисаним у јужном дијелу Феноскандинавије, западној Русији и појединим „цеповима“ континенталне Европе. Значајни трендови покривали су до 46% укупне површине бореалне и 32% континенталне климатске зоне. У атлантској и степској зони утврђено је просјечно скраћивање сезоне раста са жариштима у западној Француској, долини ријеке По и око Каспијског мора. У медитеранској и анадолијској зони, двије методе анализе дале су супротне међугодишње трендове, што указује на недоследне трендове дужине трајања вегетационог периода у посматраном периоду. У многим зонама Европе промјене времена завршетка вегетационог периода изведене из индекса нормализоване разлике вегетације више су допринијеле уоченом тренду дужине трајања вегетационог периода него промјене у прољећном озелењавању.

С обзиром на то да пројекције показују да ће климатске промјене до краја XXI вијека бити много веће магнитуде од осмотрених током XX вијека, очекује се да би могле знатно више утицати на фенологију биљака, која снажно зависи првенствено од промјена температуре ваздуха (Chmielewski et al. 2004).

4.3.3. Утицаји на распрострањење

У окружењу које се мијења и у простору и у времену, биљне врсте могу преживјети климатске промјене и избјећи изумирање промјеном географског распрострањења тако да прате у простору те исте повољне климатске услове, прилагођавањем свог фенотипа новим климатским условима у простору у којем се тренутно јављају или комбинацијом ових стратегија (Aguiléea et al. 2016). Дакле, један тип стратегија којим биљне популације могу избјећи изумирање јесте помјерање просторног ареала и еколошких ниша. Помјерања ареала врста настају као резултат ширења популације на „предњој“ ивици ареала (према половима или вишим надморским висинама) и/или контракције на „задњој“ ивици ареала (према екватору или нижим надморским висинама)

(Alexander et al. 2018). Брзина којом ће се мијењати ареали биљних врста услед промјена климе зависиће од: (1) распрострањање на „предњој“ ивици ареала, (2) вјероватноће да врста успостави популације и повећа абунданцију изван њиховог тренутног ареала након доласка пропагула и (3) степена локалног изумирања на „задњој“ ивици. Обим у којем врсте показују заостајање у ова три процеса – ширење, успостављање и изумирање – одређује брзину и синхроност помјерања ареала врста и на крају промјену састава и бројности врста у заједници (Alexander et al. 2018).

Климатски услови играју важну улогу у одређивању граница распрострањања биљних врста. Сходно томе, када се климатски услови брзо мијењају, често се примјећује да распрострањање врста може брзо одговорити, на примјер, миграцијом у нова подручја која су тек недавно постала климатски повољна за преживљавање или помјерањем ареала у друга подручја (Greenwood and Junr 2014). Очекује се да ће климатске промјене промијенити распрострањање биљака како се врсте буду шириле у нове области са повољним условима и смањивале бројност и распрострањање на локацијама са све неповољнијим условима.

Врсте се у великој мјери разликују по својим способностима да активно мијењају област распрострањања. Генерално, птице се могу премјештати брже од сисара, инсеката, биљака или земљишних организама. Међутим, растојање на које се врсте могу распростирати такође може варирати у великој мјери и унутар једне групе врста – на примјер, биљке са тешким сјеменом могу да баце своје сјеме тик до матичних биљака, док се сјеме биљака које се распростиру вјетром може преносити километрима (Van der Putten et al. 2010). Максимални потенцијал распрострањања организама можда неће бити остварен када је распрострањање ограничено физичким баријерама, када су станишта уситњена или када врсте захтијевају посебне услове у стаништима примаоцима. Тренутна фрагментација (уситњавање) станишта, пољопривредне активности и урбанизација смањује капацитет многих врста да одговоре на климатске промјене промјеном распрострањања. Ограничења у распрострањању могу бити превазиђена уз помоћ векторских организама, попут водених птица, које расијавају мочварне биљке на велике удаљености током миграција у прољеће.

Промјене распрострањања биљних врста и граница биома, као одговор на промјене климатских услова, забиљежене су током прошлог вијека код широког спектра таксономских група и у многим регионима свијета (Kappelle et al. 1999; Root et al. 2003; Thuiller et al. 2005; Rosenzweig et al. 2007; Sykes 2009; Parmesan and Hanley 2015). Распрострањање многих копнених биљних организама тренутно се мијења по географској ширини или надморској висини

као одговор на промјену климатских услова. Помјерање границе дрвећа навише према планинским врховима и помјерање по географској ширини ка половима представљају добро утврђен образац промјена у распрострањењу врста широм свијета (Greenwood and Jump 2014; Parmesan and Hanley 2015; He et al. 2019). Метаанализом 143 студије о утицају глобалног загријавања на распрострањење 1.700 врста биљака и животиња Root et al. (2003) уврдили су досљедне промјене распрострањења 81% анализираних врста (од трава до дрвећа и од мекушаца до сисара) у правцу очекиваном на основу климатских промјена, тј. на основу промјене температуре ваздуха. Глобална метаанализа ареала више од 1.700 врста показала је да се савремени трендови у распрострањењу врста подудару са промјенама климе – утврђено је значајно помјерање ареала према половима у просјеку за 6,1 км по деценији (или метара по деценији навише) (Parmesan and Yohe 2003).

Метаанализом помјерања распрострањења по географској ширини Chen et al. (2011) утврдили су да се распрострањење врста помјерило од екватора према вишим географским ширинама за 16,9 км по деценији и према вишим надморским висинама са средњом брзином од 11,0 м по деценији. Ове стопе су отприлике три и два пута веће него што је наведено у ранијим студијама. Аутори су утврдили да су до сада забиљежена просјечна помјерања по географској ширини генерално довољна за праћење промјена температуре ваздуха. Утврђено заостајање помјерања ареала по надморској висини је изненађујуће, јер су потребне удаљености за праћење климе много краће него за помјерање по географској ширини. Стварни и видљиви заостаци у помјерању по надморској висини могу настати уколико се нови погодни услови на вишим надморским висинама јављају само на неприступачним локацијама (на примјер, на другим планинским врховима) или на локацијама које су условљене сложеном топографијом и микроклимом планинског терена (на примјер, хладније локације могу бити на нагибима окренутим према полу, а не навише) или уколико постоје додатна топографска, климатска, геолошка и еколошка ограничења.

Ипак, појединачне врсте се у великој мјери разликују у стопама промјена распрострањења, што сугерише да ће промјена ареала сваке врсте зависити од особина саме врсте и спољашњих покретача промјена. Најмање три процеса ће вјероватно створити велику разноликост у обрасцима помјерања распрострањења међу врстама: временска кашњења у одговорима врста, индивидуалистичка физиолошка ограничења и алтернативни и интеракцијски покретачи промјена (Chen et al. 2011). Промјене распрострањења врста могу заостајати за брзинама климатских промјена уколико су врсте специјалисти за одређена станишта, уколико су врсте непокретне и не могу колонизовати фрагментисане пејзаже или уколико посједују друге особине повезане са

ниским стопама распрострањања или колонизације. Различите врсте такође могу показивати индивидуалистичке физиолошке реакције на различите аспекте климе, као што су различита осјетљивост на максималне и минималне температуре у критичним периодима њиховог животног циклуса. На врсте такође утичу у различитој мјери „неклиматски“ фактори и интеракције са другим врстама које зависе од разноликих покретача промјена у животној средини. На примјер, врста би могла помјерити своје распрострањење од поларне границе ареала према екватору ако се суочи са губитком станишта бржим него што се шири према половима усљед загријавања климе, док би се граница ареала према полу врста које успијевају у новим пољопривредним предјелима могла ширити брзином већом од очекиване уколико је загријавање једини покретач.

Положај границе дрвећа јако зависи од температуре, мада и други фактори попут доступне количине падавина и суше, доступности хранљивих материја, те орографски и антропогени утицаји такође играју важну улогу (Greenwood and Jump 2014). Дакле, граница распрострањења дрвећа је веома осјетљива на пораст температуре повезан са антропогеним климатским промјенама и може пружити ране индикације о реакцијама и одговорима који се могу очекивати у екосистемима (Greenwood and Jump 2014).

Глобално загријавање је најизраженије у високим географским ширинама гдје су температуре током посљедњих тридесет година порасле за 0,6 °C по деценији, што је двоструко брже од глобалног просјeka. С обзиром на то да се сматра да границу дрвећа на великим надморским висинама и у вишим географским ширинама одређују љетне температуре и климатске одлике вегетационог периода, очекује се да ће присутни тренд загријавања изазвати важне промјене вегетације на граници дрвећа и довести до знатних промјена у саставу врста и производњи биомасе (Devi et al. 2020). Многа истраживања фокусирана на тренутну динамику дрвенасте шумске вегетације на граници њеног распрострањења утврдила су да се граница дрвећа помјера, тј. да се проширује подручје успостављања индивидуа, повећава се густина шумских структура и долази до стимулације радијалног раста и производње биомасе који су у складу са уоченим стопама промјена температуре (Devi et al. 2020). Међутим, постоје и истраживања која сугеришу да температура и падавине у сезони зима такође утичу на преживљавање дрвећа на граници дрвећа, јер играју важну улогу у хидролошком и термичком режиму земљишта. Заиста, повећане количине падавина у сезони зима могу обезбиједити додатно снабдијевање водом дрвенасте вегетације током вегетационог периода, док сњежни покривач игра кључну улогу у њиховој заштити од оштећења дјеловањем мраза и вјетра. За разлику од нижих географских ширина и надморских висина, гдје је распрострањеност шума углавном ограничена

недостатком влаге, шуме у хладним регионима могу да расту са мање од 400 мм годишњих падавина, што је обично довољно за покривање потреба за транспирацијом дрвећа (Pan et al. 2013 према Devi et al. 2020).

Планине високих географских ширина представљају границе и по географској ширини и по надморској висини за бројне врсте, те су стога погодне за истраживање промјена ареала изазваних климатским промјенама. На примјер, Niskanen et al. (2019) испитивали су осјетљивост 164 планинске врсте у високим географским ширинама Европе (на подручју Феноскандинавије, на географским ширинама од 55–72° с. г. ш.) на промијењене климатске услове моделујући њихово распрострањење до краја XXI вијека у односу на климу, локалну топографију и геологију при резолуцији од 1 км² користећи три репрезентативна сценарија концентрације RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Резултати истраживања су показали да ће се просјечно богатство врста планинске флоре смањити за 15–47% по ћелији од 1 км², у зависности од разматраног климатског сценарија. Арктичка флора ће претрпјети озбиљне губитке ареала уз скупљање ареала на јужним границама, док ће алпска флора пронаћи одговарајућа станишта на топлијем сјеверу. Статистички значајна већина (71–92%) проучаваних врста изгубиће више од половине свог садашњег ареала до 2100. године. За врсте чији ареали обухватају најсјевернији дио континенталне Европе (сјеверније од 68° с. г. ш.) предвиђа се да ће изгубити сва погодна станишта. Истраживање је показало да је флора прилагођена хладним условима средине већ у опадању и вјероватно ће доживјети даље губитке ареала и/или помјерања ареала како би пратила погодну климу.

У студији која је анализирао границе дрвећа на сјеверном крају Поларног Урала Shiyatov et al. (2005) реконструисали су просторне промјене границе дрвећа *Larix sibirica*–*Picea obovata* током прошлог вијека и открили да је дошло до јасног помјерања навише затворене шуме, отворене шуме и ријетког шумског покривача у областима у којима је раније доминирала тундра са раштрканим појединачним дрвећем. У неким случајевима затворена шума и отворена шума прошириле су се за више од једног километра преко својих граница из 1910. године. Комбинација виших температура, продужене сезоне раста (нарочито у мају) и влажних услова вјероватно су одговорни за ово ширење шуме. Иако је проширење шумског покривача било примјетно, треба имати на уму да се овај развој гушћег шумског покривача догодио у региону гдје су ријетка шума или раштркано појединачно дрвеће углавном већ били присутни, па су ова већ постојећа стабла служила као жаришта инокулације омогућавајући брзе промјене густине у шуми (MacDonald et al. 2008). Дендроеколошка студија у Русији показала је да, и поред појачаног формирања четинара сјеверније од шумске границе током XX вијека, они још нису реколонизовали многа подручја на којима је дрвеће било присутно

током средњовјековног топлог доба (око 800–1.300. године) или топлотног максимума холоцена (прије око 10.000–3.000 година) (MacDonald et al. 2008). Реконструкција распрострањења дрвећа током топлотног максимума холоцена сугерише да би будући положај граница дрвећа усљед глобалног загријавања могао да се приближи њеном ранијем максималном положају у холоцену. На Хибинским планинама, у централном дијелу полуострва Кола, радиокарбонатно датирање пањева *Pinus* и шумских палеосола указује на то да се граница дрвећа за вријеме средњовјековног топлог доба (око 600–1.300) налазила на надморској висини 100–140 м вишој него данас, дакле шума тек треба да изврши реколонизацију наведених узвишења (Kremenetski et al. 2004 према MacDonald et al. 2008).

Брзе климатске промјене и све снажнији антропогени утицај на великим надморским висинама широм свијета имаће снажан утицај на биодиверзитет планина. Високопланински екосистеми и њихов живи свијет, који се развијају у условима ниских температура, идентификовани су као потенцијално врло осјетљиви на климатске промјене и стога се могу користити као индикатори утицаја загријавања климе на природне екосистеме. С обзиром на то да су планине карактеристичног конусног облика, сценарији утицаја климатских промјена обично претпостављају да ће мања површина бити доступна како се врсте буду помјерале навише; такође, како се расподјела фреквенције додатних физиографских фактора (на примјер, угао нагиба) мијења са повећањем надморске висине (на примјер, мало благих падина доступних на вишим надморским висинама), врсте које мигрирају навише могу наићи на све неприкладније услове (Guisan and Theurillat 2000). Као резултат тога, многе врсте могу претрпјети озбиљно смањење површине ареала, што би у коначници могло утицати на обрасце биодиверзитета високопланинских екосистема.

Промјене у распрострањењу биљних врста дуж градијента надморске висине, тј. знатно помјерање границе дрвећа према вишим надморским висинама забиљежено је у читавом низу планинских система – на Алпима (Gehrig-Fasel et al. 2007; Leonelli et al. 2011), Уралу (Devi et al. 2020), Скандинавским планинама (Kullman 2010), Алтају (Cazzolla Gatti et al. 2019), Хималајима (Gaire et al. 2014), Стјеновитим планинама (Rosenzweig et al. 2007), планинама Санта Роса (Kelly and Goulden 2008), Андима (Feeley et al. 2011) итд.

Реконструкција висинске динамике границе дрвећа у западним италијанским Алпима открива да се граница дрвећа помјерила навише за 115 м током периода 1901–2000. године, достигавши надморску висину од 2.505 м у 2000. години и 2.515 м у 2008. години, а то помјерање границе дрвећа и убрзање стопе колонизације дрвећа у алпском појасу могу се углавном приписати климатским инпутима (Leonelli et al. 2011). Gehrig-Fasel et al. (2007) утврдили су

значајан пораст шумског покривача у швајцарским Алпима на надморским висинама између 1.650 м и 2.450 м у периоду између 1985. и 1997. године. Изнад 1.650 м 10% нових шумских површина идентификовано је као истинско помјерање распрострањења навише, док је 90% представљало урастање. Начин употребе земљишта и климатске промјене идентификовани су као вјероватни покретачи помјерања ареала. Откривено је да се већина помјерања навише десила у распону од 300 м испод потенцијалне границе дрвећа у том региону, што указује да је начин употребе земљишта најизгледнији покретач (напуштање земљишта било је најдоминантнији покретач успостављања нових шумских површина, чак и на екотону границе дрвећа). Међутим, мали дио помјерања навише (само 4%) може се приписати недавном загријавању климе. Ипак, аутори наводе да ће се удио вјероватно повећавати ако се климатски систем настави загријавати.

Анализа састојина сибирског ариша *Larix sibirica* Ledeb. и сибирске смрче *Picea obovata* Ledeb. дуж надморског екотона шума–тундра на Поларном Уралу коју су извршили Devi et al. (2020) показала је да се више од 90% живих стабала појавило после 1900. године. Током овог периода састојина је постала гушћа и помјерила се за 50 м навише, а посљедњих деценија дрвеће обје врсте расте брже. Ове промјене су условљене климатским промјенама, при чему су водећи фактори били значајан пораст температуре ваздуха од маја до јуна и значајан пораст падавина током периода мировања. Помјерање према вишим надморским висинама подударало се са благим порастом падавина у периоду мај–август и скоро удвостручавањем падавина у периоду септембар–април, као и са загријавањем у сезони раног раста (јун +0,27 °C по деценији од 1901. године). Повећање радијалног раста година у комбинацији са повећањем густине састојине довео је до повећања биомасе 6–90 пута од 1950. године.

Cazzolla Gatti et al. (2019) утврдили су релативно брзо помјерање горње границе дрвећа на Алтајским планинама према вишим надморским висинама – током посљедњих педесетак година за око 150 м навише, а брзина помјерања се све донедавно убрзавала. Прије 1950-их, граница дрвећа никада није била на висинама преко 2.150–2.200 м. Аутори наводе да ће континуирано помјерање горње границе дрвећа према вишим надморским висинама ићи на штету ливадских и жбунастих врста и радикално ће промијенити овај високопланински екосистем са његовом ендемском флором.

Дендрохронолошка студија Gaire et al. (2014) спроведена на граници дрвећа у централном Непалу на Хималајама ради испитивања утицаја климатских промјена на њену динамику утврдила је помјерање источне хималајске јеле (*Abies spectabilis*) навише дуж градијента надморске висине брзином од 2,61

м годишње од 1850. године. Такође, утврђено је да посљедњих неколико деценија стагнира горња граница распрострањења хималајске брезе (*Betula utilis*).

Kelly and Goulden (2008) упоређивањем биљног покривача 1977. и 2006/2007. године дуж градијента надморске висине од 2.314 м у планинама Санта Роса у јужној Калифорнији у САД утврдили су да је са загријавањем климе, повећањем промјенљивости падавина и смањењем количине снијега током тридесетогодишњег периода просјечна надморска висина доминантних врста биљака порасла за око 65 м. Аутори наводе да се ова промјена не може приписати промјенама у загађењу ваздуха или учесталости пожара, већ се чини да је посљедица промјена у климатским условима у наведеном региону.

Feeley et al. (2011) показали су да је већина тропских андских дрвенстих родова помјерила своје средње распрострањење навише током периода испитивања 2003/2004–2007/2008. године, при чему је средња стопа миграције износила приближно 2,5–3,5 м навише годишње. Забиљежена средња брзина промјена мања је од оне која би се очекивала само на основу пораста температуре ваздуха у региону, вјероватно због утицаја промјена влаге или неклиматских фактора као што су супстрат, интеракције врста, заостајање у одговору заједнице дрвећа и/или ограничена способност распрострањања.

Иако ће се током миграција дрвећа уочити велике промјене у екосистемима изнад тренутне границе дрвећа, вјероватно је да ће ова новопошумљена подручја знатно одступати од шума из којих су се развила, а овакве промјене у присуству и абунданцији врста могу промијенити функционални састав биљних заједница (Greenwood and Jump 2014).

Студија Lenoir et al. (2008) показала је да климатске промјене утичу на просторно језгро распрострањења биљних врста, не само на границе њиховог распрострањења, односно да се оптимална надморска висина врста шумских биљака помјерала углавном навише током XX вијека. Упоређивањем надморске висине распрострањења 171 врсте шумских биљака између периода 1905–1985. и 1986–2005. године дуж распона надморских висина од 0 до 2.600 м у западној Европи утврдили су да је загријавање климе резултирало значајним помјерањем оптималне надморске висине врста навише у просјеку за 29 м по деценији. Средња разлика у оптималној надморској висини између 1971. године (средња година истраживања која су се одвијала од 1905. до 1985. године) и 1993. године (средња година истраживања која су се одвијала од 1986. до 2005. године) године износи 64,8 м. Веће помјерање је забиљежено за врсте ограничене на планинска станишта и за врсте трава.

Помјерање распрострањења врста навише у одговору на глобално загријавање добро је документовано, али само разматрање промјена температуре може бити неадекватно за разумијевање промјена у распрострањењу биљних врста. Постоји довољно научних доказа о постојању равнотежног стања, па чак и о помјерањима наниже по градијенту надморске висине у распрострањењу врста, упркос загријавању, а ове наизглед недоследне реакције на климатске промјене приписују се промјенама у компетитивним интеракцијама врста на маргинама ареала, антропогеној модификацији пејзажа, заостајању у ефектима климатског загријавања или идиосинкратским одговорима појединих врста (Crimmins et al. 2011).

Помјерање ареала дрвећа према вишим надморским висинама, првенствено као одговор на промјене температуре, утврђено је у широком спектру студија, али су помјерања наниже такође примијећена као резултат праћења промјена влаге (Fei et al. 2017). Помјерања ареала наниже често се сматрају аномалијама које нису повезане са климатским промјенама. Међутим, резултати истраживања указују да промјене у расположивости влаге могу имати јаче краткорочне утицаје на динамику вегетације од промјена температуре. Crimmins et al. (2011) су упоређујући распрострањење 64 биљне врсте према надморској висини у Калифорнији између 1930-их и данас показали да су климатске промјене резултирале значајним помјерањем наниже оптималних надморских висина врста. Наведено помјерање наниже супротно је ономе што би се очекивало с обзиром на загријавање климатског система током XX вијека, али се лако може објаснити праћењем ниша врста при регионалним промјенама у климатском билансу воде, а не температуре ваздуха. Слична помјерања наниже могу се очекивати у подручјима гдје будући сценарији климатских промјена пројектују повећање расположивости воде које надилази потражњу за испаравањем. Fei et al. (2017), анализирајући бројност 86 врста или група дрвећа широм источног дијела САД током посљедње три деценије, утврдили су да је више врста дрвећа помјерило ареале према западу (73%) него према полу (62%) (тренд је био израженији за младо дрвеће него за одрасла стабла), првенствено као посљедица промјена у расположивости влаге.

Дакле, утицаји климатских промјена на помјерање ареала могу бити веома комплексни, јер различите комбинације промјена температуре и падавина могу резултирати различитим утицајима, а различите врсте дрвећа могу веома различито одговорити на климатске промјене; додатну компликацију представља чињеница да на помјерање ареала врста могу утицати и други неклиматски фактори – конкретно, сукцесивни процеси под утицајем различитих поремећаја у екосистему (или усљед недостатка поремећаја), заједно са промјенама у начину коришћења земљишта, могу да играју важну улогу у промјенама распрострањања и бројности врста (Fei et al. 2017).

Све већи број истраживања сугерише да као одговор на климатске промјене долази до процеса помјерања границе дрвећа у вегетационим зонама. Међутим, таква помјерања могу бити ограничена разним неклиматским факторима, као што су доступност хранљивих материја, земљишни услови, фрагментација пејзажа и неке особине специфичне за дату врсту (Cudlin et al. 2017). Климатски сигнали су често помијешани са утицајима антропогених активности, као на примјер задирање шуме преко границе дрвећа услед спрегнутих утицаја климатских промјена и напуштања планинских пашњака (Cudlin et al. 2017). Примијећене су многобројне промјене у распрострањењу врста, али још нису регистровани докази о потпуној замјени заједница.

Иако је помјерање границе дрвећа забиљежено као широко распрострањен одговор биљних врста на пораст температуре, мало студија узима у обзир утицај помјерања границе дрвећа на разноликост и функцију екосистема на великим надморским висинама. Истраживања сугеришу да климатске промјене већ негативно утичу на алпски биодиверзитет и да модификују функције екосистема као што су секвестрација угљеника и кружење хранљивих материја (Greenwood and Jump 2014). Алпске врсте могле би се наћи у највећем ризику од локалног изумирања (врсте са великим распоном надморских висина карактерише најмањи ризик) (Guisan and Theurillat 2000). Утицаји на алпске врсте биљака могу бити нарочито снажни због потенцијалног недостатка расположивих будућих погодних станишта јер оне већ насељавају највише дијелове планинских система (He et al. 2019). Очекује се да ће промјене у саставу врста бити нарочито изражене на алпско-нивалном екотону, гдје се горње границе ареала термофилнијих алпских травњака и доње границе криофилних субнивално-нивалних врста поклапају (Lamprecht et al. 2018).

Помјерање границе дрвећа навише доводи до смањења површине доступне врстама алпског и нивалног појаса и може проузроковати фрагментацију преосталих станишта. Dirnböck et al. (2011) су, комбинујући распрострањење ендемских врста у аустријским Алпама са моделом који пројектује ширење шума према различитим сценаријима климатских промјена, утврдили да је, чак и уз конзервативне процјене климатских промјена, површина изгубљених алпских станишта (изгубљених развојем шумских заједница) била веома велика и да су подручја високог ендемизма претрпела несразмјерно велике губитке (Greenwood and Jump 2014). Резултати истраживања Cannone et al. (2007) такође су утврдили промјене ареала биљних врста на високим алпским стаништима у европским Алпама између 1953. и 2003. године као резултат утицаја климатских промјена. Грмље је показало брзу стопу ширења од 1,9% по деценији на цијелом подручју, а највеће стопе ширења забиљежене су на надморским висинама испод 2.500 м (6,6% по деценији на надморским висинама 2.230–2.400 м, а 5,6% по деценији на на надморским висинама

2.400–2.500 м). Промјене у биљном покривачу и саставу биљних заједница на једном истраживаном локалитету у Алпима (на Шранкогелу у Тиролским Алпима у Аустрији) у периоду 1994–2014. указују на убрзану трансформацију ка вегетацији која има веће захтјеве према топлоти и прилагођенија је суши (Lamprecht et al. 2018). Континуирано смањење криофилних врста могло би значити да се динамика доње границе ареала одвија брже од успјешне колонизације. Ширење шума на Уралу већ је смањило површину алпских травњака за око 10–30%, док је на Медитерану ширење грмља потиснуло нивалну вегетацију (Moiseev and Shiyatov 2003; García-Romero et al. 2010 према Greenwood and Jump 2014). Иако се у условима савремених климатских промјена Хималаји загријавају много већом брзином од глобалног просјека, мало се зна о одговорима алпске вегетације на недавно брзо отопљавање Хималаја. Истраживање Namid et al. (2020) спроведено 2018. године на планинским врховима у кашмирском дијелу Хималаја (градијент надморске висине од границе дрвећа до нивалне зоне на 3.530–3.740 м) показало је да се богатство врста повећало на три нижа врха, али се смањило на највишем врху (нивална зона). Такође, утврдили су и значајно повећање биљног покривача који чине доминантно грмље, граминоиде и зељасто растиње. Резултати истраживања He et al. (2019) о помјерању ареала седам врста *Mesonopsis*, репрезентативног ендемичног рода у алпским ливадама у субнивалном региону планина Хенгдуан (Хималаји), као одговор на климатске промјене указују да је код свих седам анализираних врста дошло до помјерања према вишим надморским висинама просјечно за 302,3 м између периода 1922–1969. и 1970–2016. године.

На промјене распрострањења биљних врста и заједница дуж градијента надморске висине утицаће и утврђено помјерање навише надморске висине равнотежне линије формирања ледника и знатан губитак масе и запремине ледника усљед загријавања климатског система (Radić et al. 2014; Žebre et al. 2021; Hugonne et al. 2021). У алпским срединама повлачење ледника изазвано савременим климатским промјенама довело је до помјерања алпско-нивалног екотона навише и омогућило брзу примарну динамику сукцесије биљака током колонизације подручја око ледника (Carlson et al. 2014). Наведено истраживање, спроведено у долини ријеке Шамони у француским Алпима, показало да ће до 2051–2080. године доћи до континуираног повлачења ледника, помјерања границе дрвећа навише и примарне сукцесије у предјелима који граниче са ледницима (испод ледника). Дрвенасте врсте биле су једина група за коју се предвиђа да ће јој се укупан ареал повећати до периода 2051–2080. године. Иако ће алпске биљке изгубити дио ареала према сва три сценарија земљишног покривача, нова станишта која су

постала доступна повлачењем ледника у динамичном сценарију земљишног покривача баферишу губитак ареала услед климатских промјена.

Прогнозе статистичких модела (на примјер, модели дистрибуције врста) ријетко узимају у обзир да би промјене биљних заједница могле знатно да заостају за климатским промјенама. Alexander et al. (2018) анализирали су три врсте заостајања: „заостајање у распростирању“ које се односи на ширење биљних врста дуж елевацијских градијената, „заостајање у успостављању“ након њиховог доласка у заједнице примаоце и „заостајање изумирања“ резиденцијалних врста. Неколико процеса може утицати на величину кашњења ширења, успостављања и изумирања, а самим тим и на стопу измјене састава заједнице у планинским екосистемима након промјене животне средине. Они укључују: (1) особине врста, као што су способност распростирања, физиологија и демографске стопе, (2) биотичке интеракције и (3) карактеристике физичког окружења. Теоријска, емпиријска и експериментална истраживања нагласила су потенцијално пресудну улогу биотичких интеракција на динамику ареала, нарочито у планинама гдје стрми градијенти животне средине доводе до наглих прелаза између биоклиматских зона, најочигледнијих у субалпско-алпском екотону између шуме и алпске вегетације. Проширење ареала врста преко овог екотона ће стога убрзати интеракцију између алпских својти и нових конкурената и природних непријатеља, што би могло снажно утицати на постојаност алпских врста и својства екосистема. Ипак, могуће посљедице таквих измијењених интеракција и даље су слабо проучене и тешко их је интегрисати у предиктивне моделе биодиверзитета.

4.3.4. Утицаји на биљне заједнице и екосистеме

Вишеструко сложене климатске промјене утичу на све нивое биодиверзитета, од јединке, популације, врсте, биоценозе, екосистема до биома (Bellard et al. 2012; Boukal et al. 2019). Утицај климатских промјена на биљке може бити директан, који се манифестује кроз већ наведене утицаје на физиологију, фенологију и промјене распрострањења (ареала) индивидуа и популација, или индиректан, кроз промјене које се дешавају у екосистемима, а који се манифестује у измјенама састава врста у заједници или промјенама интеракција међу врстама у заједници (укључујући односе попут опрашивања, мутуализма, конкуренције, предаторства, паразитизма, преношења болести итд. (Gilman et al. 2010; Walther 2010; Bellard et al. 2012).

Синергија брзих промјена климатских услова и других неклиматских притисака и утицаја у екосистему (нарочито фрагментације и уништавања станишта) може довести до поремећаја (несинхроности) интеракција међу врстама у

заједници на истом или сусједним трофичким нивоима унутар екосистема и до стварања новог састава врста, јер врсте, у складу са својим еколошким потребама и физиолошким могућностима, различито реагују на наведене спољашње притиске и промјене у животној средини (Root et al. 2003; Rosenzweig et al. 2007; Walther 2010).

Биотичке интеракције у заједници покрећу кључне еколошке и еволуционе процесе и посредују у реакцијама екосистема на климатске промјене; с друге стране, смјер, учесталост и интензитет биотичких интеракција могу бити измијењени усљед климатских промјена (Blois et al. 2013). Разумијевање сложене интеракције између климатских промјена и биотичких интеракција стога је од суштинске важности за потпуно предвиђање како ће екосистеми одговорити на брзе стопе тренутног загријавања.

Климатске промјене могу промјеном фенологије врста промијенити и вријеме њихове интеракције са другим врстама. Помјерања у фенологији врста које су у међусобној интеракцији, а која су повезана са порастом температуре посљедњих деценија, могу довести до промјена у синхроности њихових интеракција, са каскадним посљедицама по заједнице и екосистеме (Kharouba et al. 2018). Пораст температуре ваздуха усљед загријавања климатског система резултирао је ранијим развојем и промјенама у понашању многих организама широм свијета; међутим, не реагују све врсте и/или фенофазе на повећање температуре истом брзином, стварајући тако поремећај у претходно синхронизованим међусобно зависним кључним фазама животног циклуса (Donnelly et al. 2011). Промијењена синхроност фенологија утиче на многе еколошке процесе. Неусаглашености у фенологији између узајамно зависних врста као резултат утицаја климатских промјена могу имати далекосежне посљедице у читавом екосистему и на вишем и на нижем трофичком нивоу. Истраживањима су до сада утврђени примјери фенолошке несинхроности између биљака и опрашивача, предатора и плијена, штеточина и домаћина: ранији развој плијена омогућава дјелимично избјегавање грабежљиваца, принос усјева потенцијално се може смањити ако се биљоједи штеточине појаве прије својих грабежљиваца, опадање морског биодиверзитета може бити условљено поремећајем у планктонско-рибљим фенологијама (Donnelly et al. 2011). Kharouba et al. (2018) упоређивали су фенолошка помјерања врста у узајамним интеракцијама (на примјер, грабежљивац–плијен) у воденим и копненим екосистемима на четири континента од 1951. године да би утврдили да ли су савремене промјене климе довеле до укупних промјена у синхроности. Утврђено је да се релативно вријеме кључних догађаја животног циклуса врста које су у међусобној интеракцији значајно промијенило током посљедњих 35 година. Упоређивањем периода прије климатских промјена (прије 1980-их година) и после, показали су да су процијењене промјене у фенологији

и синхроности веће током посљедњих деценија. Међутим, није присутан досљедан тренд у смјеру ових промјена. Од раних 1980-их, фенофаза врста су се јављале раније за 4,0 дана по деценији, знатно више него прије 1981. године (2,7 дана по деценији). Аутори су открили да се релативно вријеме интеракције врста значајно промијенило у поређењу са периодом прије 35 година. Синхронија се помјерала у величини за 6,1 дан по деценији (при чему нула указује да нема промјене у синхронизи), што је знатно више од величине синхроних помјерања процијењених прије 1981. године (свега 0,97 дана по деценији). Ипак, истраживање није утврдило досљедност у смјеру помјерања: док се вријеме за већину врста које су у међусобној интеракцији приближава (57% интеракција), фенологије многих врста се удаљавају (43% интеракција). Wang et al. (2016) на основу *in situ* фенолошких података у Европи открили су да су стандардне девијације (као мјера синхроности) почетка листања и почетка цвјетања међу локалним биљкама биле знатно мање у годинама и/или у регионима са већом брзином загријавања током прољећа (израженом као линеарни тренд дневне средње температуре у односу на дане током прољећа, у °C/дан), са коефицијентима корелације од -0,75 и -0,48 за почетак листања и -0,55 и -0,23 за почетак цвјетања.

Постоји забринутост да ће помјерања распрострањења врста утицати на мреже опрашивања биљака. Климатске промјене довеле су до фенолошких промјена и биљака и инсеката који их опрашују, узрокујући неусклађеност између њихових популација (неусклађеност цвјетања са присуством кључних опрашивача), што у коначници може довести до изумирања биљке и њеног опрашивача, са очекиваним посљедицама на структуру мрежа биљака и опрашивача (Gilman et al. 2010; Bellard et al. 2012; Gómez-Ruiz and Lacher 2019). Климатске промјене ће врло вјероватно негативно утицати на њихове интеракције било промјеном и/или нарушавањем временског, просторног, бихевиоралног, морфолошког или енергетског подударана, те промјеном конкуритивних услова (Schweiger et al. 2010). Kudo et al. (2004) наводе примјер да је неуобичајено топло прољеће у сјеверном Јапану довело до знатно ранијег цвјетања неколико прољећних ефемерних биљака у односу на вријеме присуства њихових опрашивача пчела, што је имало за резултат драстично смањење производње сјемена тих врста. Истраживање Koh et al. (2004), које је обухватило 9.650 интерспецијских система, укључујући опрашиваче и паразите, показало је да би око 6.300 врста могло нестати након изумирања врста с којима су у интеракцији. Моделовање Gómez-Ruiz and Lacher (2019) показало је да ће се преклапање између распрострањења агаве и угрожене миграторне врсте слијепих мишева *Leptonycteris nivalis*, која је опрашује током годишње миграције из централног Мексика на југ САД, смањити за најмање 75% у 2050. и 2070. години. Смањење погодних станишта за врсте

агаве ограничиће ресурсе за исхрану угрожених слијепих мишева, угрожавајући опстанак њихових популација и одржавање њихове функције опрашивања, а потенцијално изумирање слијепог миша *Leptonucleris nivalis* вјероватно ће имати негативне ефекте на полну репродукцију и генетску промјенљивост биљака агаве повећавајући њихову рањивост на будуће промјене у животној средини.

Renner and Zohner (2018) наводе да када врсте које су у међусобној интеракцији промијене вријеме редовно понављаних фаза у животним циклусима (тј. фенофаза) различитим брзинама, то доводи до фенолошке асинхроности међу њиховим популацијама. Овај континуирано трајни феномен познат је и као фенолошка неусклађеност или трофичка асинхроност. У антагонистичким трофичким интеракцијама, свака неусклађеност ће имати негативни утицај само на једну од врста, док се у међусобним интеракцијама очекује да оба партнера трпе. Очекује се да ће стога трофичка неусклађеност трајати еволуционо кратки период, можда само неколико сезона, што доводи до потешкоћа приписивања климатским промјенама, које захтијевају дугорочне податке. На примјер, очекује се да ће трофичка неусклађеност између биљоједа и биљака којима се хране или између предатора и њиховог плијена трајати еволуционо кратко. У њиховим међусобним интеракцијама, неусклађеност ће имати негативне посљедице на оба партнера и такође би требало да буде еволуцијски нестабилна. Наведено релативно кратко трајање, у зависности од генетске варијације релевантних особина, снаге селекције и дужине генерације, вјероватно додаје потешкоће у откривању, а затим приписивању фенолошке неусклађености климатским промјенама, које захтијева дугорочне податке. Додатна потешкоћа може бити то што ће неусклађене интеракције користити другим мутуалистима или антагонистима у мрежи интеракција у зависности од степена међузависности између партнера, који је обично асиметричан.

Савремене климатске промјене такође могу пореметити трофичке интеракције током периода у распону од године до миленијума на начин да могу довести до измјене или прекида постојећих, те стварања нових интеракција кроз (локално) изумирање, помјерање ареала и промјене у релативној абунданцији – на примјер, са порастом температуре појаву да више врста живе заједно може замијенити компетитивно расељавање, предаторство се може појачати или могу настати нове интеракције предатор–плијен (Blois et al. 2013).

Трофичка неусклађеност на нивоу популације узрокована диференцијалним фенолошким помјерањима (од краја 1990-их година) међу врстама које су у интеракцији детаљно је документована кроз различите парове конзумента (потрошача) и њихових ресурса, укључујући интеракције између кичмењака и биљака, бескичмењака и биљака, опрашивача и биљака, птица и риба, птица

и бескичмењака, морских и слатководних риба и бескичмењака и др. (Ohgushi et al. 2012). Трофичка неусклађеност може се десити на било ком трофичком нивоу прехрамбене мреже, па чак и на више нивоа истовремено, од примарних произвођача до грабежљиваца на врху пирамиде (Ohgushi et al. 2012).

Климатске промјене могу довести до несклада (асинхроности) времена потреба и доступности хране у ланцима исхране, јер сви појединачни организми укључени у различите трофичке нивое не реагују подједнако и/или не реагују на исти утицај фактора животне средине (Walther 2010). Истраживање Both et al. (2009) показало је да су климатске промјене другачије утицале на фенологију врста повезаних у ланцу исхране и нарушиле интеракције на четири трофичка нивоа. Утврдили су тренд ранијег јављања пупања храста (0,17 дана годишње) и ранијег достизања максималне биомасе гусјеница (0,75 дана годишње), као и ранијег датума излијегања врабаца (0,36–0,50 дана годишње) од средине 1980-их година у Холандији, док датум излијегања птичјих предатора није показивао изражен тренд. Дакле, вријеме максималне биомасе гусјеница остало је уско повезано са датумом пупања храста, као и вријеме излијегања врабаца са присуством максималне биомасе гусјеница (с тим да је реакција потрошача на климатске промјене била слабија него реакција врсте којом се хране). С друге стране, вријеме излијегања предатора није било у корелацији са максималним присуством врабаца, што је за резултат имало неусклађеност између времена потражње и доступности хране, који су се током времена погоршали и за врапце и за њихове предаторе.

За конзументе (потрошаче) који се хране биљкама, попут великих биљоједа, вријеме размножавања је период највеће потребе за енергијом за женке, те тај период треба да се подударе са оптималном расположивошћу ресурса (иначе, неусклађеност може смањити годишњи репродуктивни успјех и будуће репродуктивне перформансе и женки и новорођенчади). Rehnus et al. (2020) на основу података прикупљених у Швајцарској за период 1971–2015. године наводе да се неусклађеност између датума рођења срндаћа (*Capreolus capreolus*) и врхунца расположивости биљних ресурса повећала током овог периода (с тим да је неусклађеност била већа у нижим предјелима у поређењу са вишим дуж широког распона надморских висина од 288 м до 2.366 м). Истраживањем је утврђен досљедан, али слаб тренд ка ранијем датуму рођења срндаћа на свим надморским висинама, који је, међутим, био мањи од промјена показатеља фенологије биљака, што је резултирало све већом неусклађеношћу. Како аутори истраживања наводе, да би се избјегла трофичка неусклађеност, велики биљоједи треба да промијене вријеме размножавања да би били усклађени са ранијим појављивањем биљне фенологије изазваним климатским промјенама. Да би то учиниле, индивидуе срндаћа морају пратити биљне ресурсе по двије главне неискључиве осе: времену (промјена времена

размножавања) и простору (помјерање њиховог ареала). Истраживање Ekholm et al. (2019) у Шведској открило је да је на регионалном нивоу топлија клима одложила старење храстовог листа, што се одразило и на заједницу инсеката биљоједа: 6 од 15 таксона забиљежило је већу инциденцију, а 5 од 18 таксона имало је већу абунданцију на локацијама са топлијом климом. Boukal et al. (2019) анализирали су промјене интеракција инсеката и биљака којима се хране. Резултати су показали да пораст температуре ваздуха околине директно подстиче физиологију и понашање инсеката – загријавање повећава кинетичку енергију биохемијских реакција, повећава брзину физиолошких процеса до максимума на оптималној температури, изнад које перформансе нагло опадају. Испод оптималне температуре, загријавање доводи до бржег развоја, који често надмашује раст тијела и доводи до мање величине тијела одраслих јединки на вишим температурама. Бржи развој, подстакнут бржим метаболизмом, повећава индивидуалне енергетске потребе и обично се одражава у повећим стопама храњења. Веће брзине храњења на вишим температурама могу бити резултат брже стопе кретања, чешћих сусрета међу индивидуама или бржег хватања плијена. То показује да загријавање јача интеракције између биљака и биљоједа, као и интеракције грабежљиваца и плијена, укључујући предаторство и канибализам у различитим групама инсеката. Међутим, загријавање такође може смањити утицај предаторских инсеката на популације плијена. Енергетски захтјеви обично се повећавају брже са порастом температуре него стопе храњења, што дугорочно може довести до глади, продуженог развоја и изумирања популације, посебно на вишим трофичким нивоима. Виши трофички нивои могу бити најосјетљивији на промјене климе – и савремени и фосилни докази показују да нарушавање њихових трофичких интеракција може појачати климатске промјене у цијелој заједници (Blois et al. 2013).

Са промјеном климатских услова такође може доћи до промјене конкурентске способности одређених врста. На примјер, врста која раније започиње свој развој може узурпирати расположиве ресурсе и спријечити конкурентну врсту чији развој започиње касније да изврши колонизацију тих станишта, а с временом те пролазне промјене могу постати трајне (Gilman et al. 2010). Услед промијењених климатских услова алохтоне врсте могу савладати дотадашње препреке и постати нови члан у саставу одређене заједнице (Walther et al. 2002). Климатске промјене такође могу смањити ефикасност постојећих механизма контроле инвазивних врста, а може доћи и до ширења алохтоних врста штеточина (Reid 2006).

Утицај климатских промјена на учесталост и интензитет болести и на географско распрострањење биљних патогена изузетно је важан како за пољопривредну производњу, тако и за биодиверзитет и структуру природних заједница

(Burdon and Zhan 2020). У природним интеракцијама биљка–патоген, гдје је динамика заједнице сложена и неконтролисана од стране човјека, исход каскадних интеракција које климатске промјене могу убрзати још је нејасан и недовољно истражен. Ширење штеточина и патогена које угрожава глобалну сигурност снабдијевања храном првенствено је олакшано антропогеним преносом (њихово распрострањавање олакшава глобална трговина сјеменом и пољопривредним производима), али такође расте забринутост да климатске промјене омогућавају успостављање и у подручјима која су до сада за њих била неприкладна (са до сада неадекватним климатским условима) (Vebber et al. 2013). Vebber et al. (2013) анализом распрострањавања стотина штеточина и патогена утврдили су њихово просјечно помјерање према половима од 1960. године за $2,7 \pm 0,8$ км годишње, али са значајним варијацијама у трендовима међу таксономским групама. Аутори истраживања наводе да уочени позитивни латитудинални трендови многих таксона подржавају хипотезу о помјерању ареала штеточина изазваних глобалним загријавањем.

Абунданција (бројност) биљака зависи од надземних и подземних интеракција мултитрофичких нивоа, који укључују биљоједу, патогене, симбионте и њихове непријатеље. Van der Putten et al. (2010) наводе да промијењене интеракције међу врстама узроковане климатским промјенама могу имати врло разнолике посљедице на бројност врста, у распону од тога да ће врста постати ријетка до несразмјерно бројна. Аутори наводе да све већи број примјера показује да интеракције између биљака и надземних и подземних организама вишег трофичког нивоа могу бити, бар привремено, прекинуте усљед загријавања климе. Разумијевање тог процеса из еколошко-евољуционе перспективе кључно је за објашњење зашто неке биљке могу а друге не због климатских промјена постати ријетке или многобројне у свом аутохтоном или у свом новом ареалу. Како су биотичке интеракције на трофичким нивоима важан покретач селекционих процеса, прекид везе између плијена и предатора или између биљака и биљоједа који се њима хране, патогена или симбионата може побољшати или онемогућити способност врста да се прилагоде новим климатским условима или да мигрирају у нови ареал; с друге стране, проток гена из првобитног ареала може ограничити адаптацију у новом ареалу.

Измијењене интеракције између врста у заједници могу довести до смањења биодиверзитета, али и до стварања нових односа и интеракција међу врстама, као и до нових комбинација у саставу врста у заједници. Састав биљних врста у заједници одраз је интеракција између живих организама, као и између организама и абиотичке средине (Rosenzweig et al. 2007). Дакле, интеракције међу врстама су међу најважнијим снагама које обликују структуру заједнице. С обзиром на то да су интеракције углавном снажно зависне од климатских услова у средини, веома различити и дивергентни одговори појединих врста

на климатске промјене могу довести до измјене састава и структуре биљних заједница (Gilman et al. 2010).

Harrison (2020) наводи да региони и локалитети могу изгубити многе врсте под наглим климатским промјенама, али могу и стећи друге врсте које ће их колонизовати из оближњих топлијих средина. Аутор тврди да ће губици врста изазвани глобалним загријавањем углавном премашити добитке и да ће бити више нето смањења него нето повећања богатства биљних заједница. Смањење богатства врста посебно је вјероватно у клими ограниченој водом, гдје ће интензивирање аридности све више премашивати толеранцију биљака, али и у хладнијој клими ограниченој температуром. Истраживање Suggitt et al. (2019) показало је да се локална алфа разноликост (богатство врста) биљака највише повећала у хладнијим регионима свијета, који су доживјели највеће апсолутне промјене климе (тј. промјене у било ком смјеру). Највећи утицај имале су промјене падавина. У просјеку, алфа разноликост је благо смањена (4,2% по деценији) на трећини локалитета са најмањом промјеном падавина, али је повећана (10,8% по деценији) на трећини локалитета са највећом промјеном падавина. Њихови резултати сугеришу да „пертурбација“ локалних заједница током климатске транзиције повећава просјечни број врста, барем привремено.

Комбиновани утицаји климатских промјена и страних врста на перформансе и интеракције врста доведиће до стварања нових заједница (Schweiger et al. 2010). Унутар ових новостворених заједница постојеће интеракције могу бити поремећене, док се с друге стране могу створити нове интеракције. Због врло сложених повратних утицаја и спрега, тешко је засада процијенити да ли ће то имати нето негативан ефекат на биодиверзитет и функције екосистема. Ипак, вјероватније је да ће врсте генералиста профитирати, за разлику од специјалиста. Као посљедица тога, новим заједницама можда ће све више доминирати генералисти. Често се сматра да стране врсте негативно утичу на домаће врсте. Међутим, иако је то можда тачно за конкуренцију у оквиру истог трофичког нивоа, стране врсте могу заправо резултирати позитивним интеракцијама уколико олакшавају узајамне односе попут опрашивања или ако су извори нектара и полена. Стране врсте могу надокнадити изгубљене интеракције, брза еволуција омогућава прилагођавање, а мреже које чине биљке и опрашивачи, редунданција и флексибилност могу отежати каскадно изумирање.

Pauli et al. (2012) наводе да су помјерања ареала врста европских планинских ланаца навише (у просјеку за 2,7 м) у периоду од 2001. до 2008. године имала супротне ефекте на богатство врста планинских врхова у бореалним и умјереним планинским регионима (у просјеку +3,9 врсте) и медитеранским планинским

регионима (-1,4 врсте). Већина врхова у бореалним и умјереним регионима стекла је додатне врсте (43 од 52 планинска врха, са просјечним порастом са 38,0 на 41,9 врсте), а само два су изгубила по једну врсту. Супротно томе, од 14 планинских врхова у медитеранским регионима, већина је (8) имала нижи број врста у 2008. години него у 2001. години, а само 2 су стекла додатне врсте (просјечан пад са 23,6 на 22,2 врсте). Између 2001. и 2008. године укупан број врста забиљежених на свих 66 врхова повећао се са 821 на 869 врста (за око 6%), док се број ендема повећао по знатно нижој стопи, са 201 на 203 врсте (за око 1%). Аутори закључују да ће, дугорочно гледано, смањење удјела ендема имати тенденцију да хомогенизује састав врста заједница планинских врхова широм Европе.

Промијењени климатски услови могу с једне стране локално резултирати чешћим умирањем одређених врста, али с друге стране омогућавају другим врстама да успоставе своје популације, чиме потенцијално мијењају локалну разноликост врста. На примјер, очекује се да ће шуме у свијету претрпјети велике промјене под утицајем климатских промјена. Негативни утицаји на перформансе дрвећа углавном су повезани са топлим таласима и сушама, у комбинацији са патогенима, који узрокују већу рањивост стабала, а тиме и повећан морталитет. Пројекције Buras and Menzel (2019) показују да ће до краја XXI вијека (2061–2090) доћи до знатних промјена у саставу врста шума у Европи. Богатство врста углавном ће се смањити у медитеранским подручјима и у средњоевропским низијама, док се за скандинавске и средњоевропске шуме високих планина пројектује повећање биодиверзитета. Штавише, према сценарију RCP4.5 на 76% истражених локација, а према сценарију RCP8.5 на 80% истражених локација, доћи ће до смањења бројности локалних, али и најзаступљенијих врста дрвећа. Треба истакнути да економски најважније и просторно најзаступљеније врсте дрвећа европских шума – бијели бор (*Pinus sylvestris*) и обична смрча (*Picea abies*) регионално биљеже повећане стопе морталитета. Негативне ефекте климатских промјена вјероватно ће осјетити и широко распрострањена обична буква (*Fagus sylvatica*), док друге абундантне врсте попут храста китњака (*Quercus petraea*) и храста лужњака (*Quercus robur*) могу имати користи од климатских промјена. Све четири врсте показују да је вјероватно да ће доћи до смањења абунданције на јужним географским ширинама и нижим надморским висинама. На основу смањења вјероватноће абунданције, бијели бор би се могао повући из средње и југоисточне Европе у виша узвишења Алпа и Карпата, као и у сјеверну Европу. Исти образац промјена примјећује се и код обичне смрче, међутим, повлачење ове врсте биће још израженије, тј. под пројекцијама сценарија RCP8.5 она би потпуно нестала из средњоевропских низија, те би посљедње уточиште пронашла у Алпима и Карпатима, као и у Скандинавији сјеверно од 60° с. г. ш. Обична

буква ће такође мигрирати ка сјеверу, тј. њена абунданција ће се значајно смањити у великим дијеловима средње Европе, али ће се повећати у јужној Скандинавији. Храст ће се повлачити са својих најјужнијих положаја, попут великих дијелова Француске и Панонског басена, а повећаваће своју бројност у јужној Скандинавији.

У условима савремених климатских промјена потребно је преиспитати и адекватност постојећих мрежа заштићених подручја да очувају и заштите биодиверзитет од негативног утицаја промјена климе. Hoffmann et al. (2019) предвиђају да ће заштићена подручја, као важне рефугијуме биодиверзитета, у умјереним и сјеверним биомима високих географских ширина до краја XXI вијека карактерисати $41\pm 9\%$ и $54\pm 10\%$ нових климатских услова на локалном нивоу до 2070. године према сценаријима RCP4.5 и RCP8.5, што ће имати за посљедицу формирање нових станишта и нестајање постојећих. Када се у заштићеним подручјима формирају нова станишта, инвазивне врсте могу мигрирати у заштићена подручја, а када изгубе постојећа станишта, врсте ће вјероватно мигрирати из заштићених подручја у незаштићено окружење. У оба случаја, заједнице унутар заштићених подручја биће модификоване са непознатим посљедицама на функционисање екосистема. Будући да он зависи од биодиверзитета, интегритет екосистема унутар заштићених подручја биће угрожен када се разноликост врста смањи инвазијом и миграцијом врста. Araújo et al. (2011) утврдили су да ће до 2080. године $58\pm 2,6\%$ биљних врста и врста кичмењака изгубити погодне климатске услове у заштићеним подручјима Европе, као и $63\pm 2,1\%$ врста у NATURA 2000 подручјима. Резултати истраживања показују да ће заштићена подручја ипак и даље задржати веће климатске погодности за врсте од незаштићених подручја, али то више неће бити случај са NATURA 2000 подручјима. Дакле, постоји велики ризик да су досадашњи напори који се предузимају у циљу очувања биодиверзитета угрожени климатским промјенама. Због тога ће бити потребно имплементирати нове политике заштите биодиверзитета, које морају подразумевати и мјере за ублажавање и прилагођавање на климатске промјене.

Промјене климатских услова у животној средини које превазиђу физиолошке и еколошке могућности врста и/или наруше и поремете њихове функционалне односе са другим врстама, могу довести до изумирања врста или њиховог мигрирања у друге регионе, што може имати за посљедицу смањење биолошке разноликости у датом екосистему (Kappelle et al. 1999). Губици врста или одређених функционалних група из екосистема могу у одређеном тренутку пореметити функционисање екосистема, јер кључне врсте и функционалне групе биљака обављају јединствене функције у екосистему и не могу бити замијењене другим (Kappelle et al. 1999). Наведено може смањити отпорност и могућност екосистема да се прилагоди на климатске промјене.

Магнитуда и брзина антропогених климатских промјена у свијету повећавају вјероватноћу наглих промјена и у копненим и у слатководним и у морским екосистемима широм свијета (Turner et al. 2020). Како температуре расту, корални гребени доживљавају масовно избјељивање и морталитет, трајање зимског леда на језерима нагло опада, водени и копнени екосистеми на Арктику брзо се трансформишу. Како се суше буду интензивирале, морталитет дрвећа ће расти, понирање угљеника у шумама стрмоглаво ће опадати, пожари постати све чешћи и/или интензивнији, а копнени екосистеми за које се дуго сматрало да су отпорни на пожаре почеће да горе.

Иако су нагле еколошке промјене пратиле глобалне климатске промјене и током протеклих миленијума, потреба за разумијевањем како ће екосистеми одговорити на савремене антропогене климатске промјене расте како се загријавање убрзава. И други покретачи (на примјер, земљишни покривач и начин његове употребе, циклуси хранљивих материја, експлоатација ресурса) такође се мијењају. Промјене наведених покретача могу учинити екосистеме вулнерабилнијима и ступити у интеракцију са климатским промјенама на нове начине, што ће повећати стрес и притисак на биљни свијет.

4.3.5. Утицаји на изумирање врста

Екосистеми широм свијета убрзано губе таксономску, филогенетску, генетску и функционалну разноликост као резултат људске експлоатације природних ресурса, модификације станишта и климатских услова, те ширења патогених, алохтоних и аутохтоних биљака и животиња (Naeem et al. 2012).

Антропогене климатске промјене препознате су као главна пријетња глобалном биодиверзитету и предвиђа се да ће управо оне бити главни узрок изумирања врста у наредних стотину година (Cahill et al. 2013; Román-Palacios and Wiens 2020). Међутим, иако су до сада извршена важна истраживања механизма смањења бројности неких врста, углавном остаје нејасно које промјене климе заправо узрокују изумирање врста и колико ће врста вјероватно бити изгубљено (Román-Palacios and Wiens 2020). Обим губитака врста зависиће од тога како врсте одговарају на климатске промјене – на примјер, ако већина врста може претрпјети брзе промјене у својим климатским нишама, тада ће изумирање бити ограниченог интензитета (Wiens 2016).

Иако се може чинити да је ограничена физиолошка могућност толеранције високих температура ваздуха главни фактор који доводи до тога да климатске промјене угрожавају постојаност популација и врста; могу постојати многи други непосредни узроци изумирања, чак и када су крајњи узрок изумирања

антропогене климатске промјене. Наведене факторе Cahill et al. (2013) дијеле на абиотске (температура, падавине и остали абиотски неклиматски фактори) и биотичке факторе. Многи ефекти антропогених климатских промјена настају усљед повећања температуре ваздуха. Најочигледнији непосредни фактор који изазива изумирање су температуре које премашују физиолошку толеранцију врсте. Овај фактор може бити најважнији код сесилних (сједећих) организама и код оних са ограниченом способношћу терморегулације, као и код организама у регионима и на временским скалама у којима је пораст температуре највећи. Утицаји температуре такође могу бити индиректни, али и даље повезани са физиолошком толеранцијом. Код водених организама повећане температуре воде могу довести до повећане метаболичке потребе за кисеоником, а с друге стране истовремено смањити садржај кисеоника у води. Варијабилност температуре такође може бити важан непосредни узрок изумирања врста, укључујући и екстремне догађаје и велике амплитуде током године. У умјереним и поларним географским ширинама, неусклађеност између фотопериодних сигнала и температуре може бити важна. Овдје би и ниске и високе температуре могле повећати стопе смртности и довести до изумирања популације. Антропогене климатске промјене такође модификују обрасце падавина, а ове промјене могу довести до изумирања на различите начине. На примјер, смањење количине падавина може директно довести до воденог стреса, смрти и локалног изумирања копнених врста, као и до губитка станишта за слатководне врсте. Такође, могу постојати синергијски ефекти између топлоте и стреса узрокованог сушом (на примјер, код дрвећа). Промјена режима падавина може бити важнија за неке врсте од промјене температуре, што понекад доводи до помјерања ареала у смјеру супротном од оног предвиђеног порастом температуре. Остали абиотски неклиматски фактори могу довести до изумирања која су у коначници узрокована климатским промјенама. На примјер, климатске промјене могу повећати учесталост пожара, а ови пожари могу бити непосредни узроци изумирања. Слично томе, повећање температуре доводи до топљења леденог покривача и пораста нивоа мора, што може елиминисати обална станишта и измијенити салинитет слатководних станишта.

Према Cahill et al. (2013), биотички фактори који су непосредни узроци изумирања због климатских промјена могу се сврстати у три опште категорије: негативни утицаји на корисне врсте, позитивни утицаји на штетне врсте и привремена неусклађеност врста које су у међусобној интеракцији. Климатске промјене могу проузроковати локално изумирање дате врсте узрокујући опадање врсте од које она зависи. То могу бити парови пљивања и грабежљивци, домаћини паразита и специјализовани биљоједи, врсте које стварају неопходна микростаништа и врсте које су од суштинског значаја за репродукцију (на примјер, опрашивачи).

Климатске промјене могу проузроковати изумирање позитивним ефектима на врсте које имају негативне интеракције са кључним врстама у екосистему, укључујући конкуренте, предаторе и патогене. Пораст температура ваздуха такође може бити користан интродукованим врстама за ширење ареала и/или повећање бројности, што може имати негативне ефекте на аутохтону флору. Климатске промјене такође могу створити неусаглашеност између времена дјеловања врста у међусобној интеракцији. До ових фенолошких неусклађености може доћи када интеракције врста реагују на различите сигнале из околине на које климатске промјене не утичу подједнако.

Суочене са климатским промјенама, биљне врсте се морају аклиматизовати, прилагодити, мигрирати или умирати. Иако неке врсте већ мигрирају, њихова способност да прате брже промјене климе које се очекују у будућности није јасно утврђена. „Миграционо заостајање“ биљака посебно је забрињавајуће, јер би могло угрозити биодиверзитет и складиштење угљеника. Брзина климатских промјена је у ствари брзина којом се организми морају кретати површином Земље да би се одржали у датим климатским условима. Corlett and Westcott (2013) наводе да су глобалне средње брзине климатских промјена за средњу годишњу температуру и количину падавина од 2000. до 2100. године износиле 0,42 км, односно 0,22 км годишње. У екваторијалним низијама мали температурни градијенти резултирају брзинама промјене температуре које могу прећи 10 км годишње, док на стрмим падинама могу бити мање од 10 м годишње. За поређење, глобална средња брзина промјене температуре између посљедњег глацијалног максимума и данашњег периода износила је само 5,9 м годишње, мада је овај дуги интервал несумњиво обухватао и периоде са знатно већим брзинама од наведене. Међутим, у пракси је распрострањење биљака вјероватно ријетко када контролисано директно средњом годишњом температуром или количином падавина, него идиосинкратским комбинацијама и других климатских и неклиматских варијабли. Релевантна брзина климатских промјена ће стога бити специфична за одређену врсту. Штавише, климатске брзине су вектори, са величином и смјером, а правци кључних промјенљивих могу бити дивергентни.

Corlett and Westcott (2013) наводе да се успјешно распростирање одређује временом од ширења сјемена до прве репродукције, што код већине биљних врста износи 1–30 година. Аутори истичу да недавно објављени прегледи литературе сугеришу да се већина сјемена распршује на 10–1.500 м од матичне биљке, а да је релативно мали удио биљних врста које редовно распршују сјеме на веће удаљености. Рутинско распростирање на растојања знатно већа од 1.500 м присутно је код врста са малим сјеменом које расијава вјетар и код оних врста чије сјеме премјештају велике птице, воћни слијепи мишеви Старог свијета, мегахербивори или људи.

Треба имати на уму и чињеницу да се биљке неће кретати кроз вакуум. Очекује се да ће интерспецијска конкуренција знатно смањити брзине распрострањања, јер станишта која су постала новодоступна као резултат климатских промјена обично већ заузимају резиденцијалне врсте (Corlett and Westcott 2013). Чак и ако су садашњи становници лоше прилагођени новим климатским условима, могли би имати бољу локалну адаптацију на неклиматске факторе, а и у бројчаној су предности, тако да би им могло требати много времена да смање бројност своје популације и изумру, ослобађајући простор, свјетлост и хранљиве материје за освајаче. Локални поремећаји (на примјер, пожари или олује) могу смањити конкуренцију, при чему ће снажни конкуренти (на примјер, дрвеће које осваја травњаке), високоплодне врсте и врсте са добром способношћу распрострањања бити успорени мање него што ће то бити случај са слабијим конкурентима, мање плодним врстама или врстама са слабом способношћу распрострањања. Супротно томе, позитивна повезаност између двије или више биљака, гдје је присуство једне биљке корисно за раст, размножавање и опстанак друге биљке у њеној близини могла би да повећа брзину распрострањања повећавањем вјероватноће преживљавања сјемена и одраслих индивидуа.

Већина савремених биљних врста преживјела је периоде брзих климатских промјена током глацијално-интерглацијалне транзиције, али палеоеколошки записи о распрострањености биљака одражавају сасвим другачију ситуацију од оне са којом се суочавају исте врсте данас (Corlett and Westcott 2013). Људске активности су смањиле и уситниле (фрагментовале) већину природних станишта, истовремено проширујући и повећавајући континуитет других. Генерално се очекује да ће фрагментација погодног станишта знатно смањити брзине кретања биљака, иако би напуштање коришћења земљишта могло имати позитиван утицај на брзине неких врста пружајући „цепове“ са слабом конкуренцијом постојећих биљака. Људске активности такође су утицале на ширење сјемена. Селективни лов је драстично смањио или чак истријебио популације птица и сисара које су природно распирале сјемена биљака на највећа растојања. Супротно томе, сама људска кретања пружају ефективно неограничене могућности распрострањања мањини биљних врста које су у стању да их искористе, а животињске врсте које су у екосистеме увели људи понекад могу да замијене истријебљене изворне агенсе за распрострањање сјемена.

Антропогене климатске промјене и повишени нивои атмосферске концентрације CO₂ могли би утицати на већину промјенљивих које утичу на брзину кретања биљака, укључујући ширење сјемена вјетром, плодност, вријеме до зрења, конкуренцију, интеракције са другим врстама, те учесталост и интензитет поремећаја у екосистему, попут пожара. Иако је могуће одабрати комбинације

промјенљивих које би знатно убрзале кретање биљака (већа плодност, брже сазријевање, распростирање на веће удаљености, смањена конкуренција и повећана примјена у поремећеним подручјима), одговори на климатске промјене вјероватно ће бити нелинеарни (на примјер, плодност би се у почетку могла повећати, а затим накнадно смањити када се прекорачи толеранција на топлоту) и у великој мјери ће варирати између врста и локација. Генерално, антропогени утицаји на кретање биљака вјероватно ће фаворизовати неке врсте, а успорити друге, али ће број „губитника“ вјероватно знатно надмашити број „побједника“, посебно у доминантно антропогеним пејзажима.

Врсте потенцијално могу одговорити на климатске промјене на неколико начина. Најважнији случај који треба размотрити јесте када се данашња (реализована) климатска ниша врсте више не буде појављивала у тренутном географском ареалу врсте (због великог потенцијала за глобално изумирање врсте под таквим условима). У овом случају, могући одговори врсте укључују: (1) промјену климатских ниша тако што се реализована ниша врсте мијења како би се обухватили нови климатски услови (на примјер, кроз пластичне промјене и/или еволуционом адаптацијом на модификоване абиотске и/или биотичке услове), (2) распростирање (дисперзија) да би пратили првобитне климатске услове у простору (на примјер, мигрирање у више географске ширине или више надморске висине) и (3) изумирање (Wiens 2016). Иако је сваки од ових одговора утврђен у неким случајевима (барем код локалних популација), релативна учесталост сваког од њих још није јасно и прецизно утврђена. Међутим, промјене у географском распрострањењу (ареалу) врста посебно су добро документоване. Ови подаци о помјерању географског ареала садрже важне, али недовољно коришћене информације о томе како врсте одговарају на климатске промјене. Помјерање ареала примијећено усљед климатских промјена обично укључује свеукупни помак ка вишим географским ширинама или вишим надморским висинама. Ови помаци се могу састојати од двије врсте промјена: (1) проширења ареала на „хладној“ ивици ареала врста (веће географске ширине и узвишења) и (2) контракције ареала на „топлој“ ивици (ниже географске ширине и узвишења) (Wiens 2016). Присуство контракција топлих ивица је пресудно важно. До контракције топлих ивица ареала долази када популације са једног или више локалитета на најнижим географским ширинама или најнижим надморским висинама регионалне распрострањености врсте нестану, што доводи до укупног помјерања ареала врста у више географске ширине или узвишења. Ове контракције указују на то да врсте не успијевају да помјере своје нише довољно да подносе ове нове услове и да ове популације умјесто тога изумиру (екстирпација – „локално изумирање“).

Природне климатске промјене доста мањег интензитета и споријих стопа промјене од савремених, изазвале су знатне промјене биљног свијета и

узроковале изумирање врста током протеклих неколико милиона година (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014). Од четири милијарде врста за које се процјењује да су се развиле на Земљи током посљедњих 3,5 милијарди година, око 99% је нестало (Barnosky et al. 2011). То показује колико је изумирање врло често, али обично је уравнотежено специјацијом (еволуцијским процесом којим настају нове биолошке врсте).

Геолошки записи пружају недвосмислене доказе да су неке прошле епизоде климатских промјена измијениле биотичке интеракције подстичући изумирање и специјацију и мијењајући распрострањење и бројност врста – ове епизоде су добро познати догађаји масовног изумирања, од којих се чини да је неколико посљедица климатских промјена и с њима повезаних промјена као што су закисељавање океана, еутрофикација и аноксија (Blois et al. 2013). Палеонтолози карактеришу масовна изумирања као периоде када Земља у геолошки кратком интервалу (обично краћем од 2 милиона година, у неким случајевима и много краћем) изгуби више од три четвртине врста, као што се то догодило само пет пута у посљедњих око 540 милиона година: пред крај ордовицијског, девонског, пермског, тријаског и кредног периода. То су „великих пет“⁵ масовних изумирања врста (иако су два технички „масовна исцрпљења“) (Barnosky et al. 2011). Различити узроци убрзавали су изумирање у наведеним периодима, а обим сваког од ових изумирања био је изнад позадинске стопе

⁵ Одлике „великих пет“ масовних изумирања наводе Barnosky et al. (2011). Ордовицијско изумирање завршено је прије око 443 милиона година. У року од 3,3 до 1,9 милиона година изгубљено је 57% родова и 86% врста. Могућим узроцима изумирања сматра се почетак наизмјеничних глацијалних и интерглацијалних епизода, понављане морске трансгресије и регресије, распадање издигнутих Апалача које је утицало на атмосферску и океанску хемију и секвестрација CO₂. Девонско изумирање завршено је прије око 359 милиона година. Изгубљено је 35% родова и 75% врста. Могућим узроцима изумирања сматра се глобално захлађење (праћено глобалним загријавањем), могуће повезано са диверзификацијом копнених биљака, са повезаним распадањем стијена, педогенезом и смањењем глобалног CO₂. Постоје докази о широко распрострањеној дубокој воденој аноксији и ширењу аноксичних вода трансгресијом. О времену и значају утицаја болида још се расправља. Пермско изумирање завршено је прије око 251 милиона година. Изгубљено је 56% родова и 96% врста. Могућим узроцима изумирања сматрају се сибирски вулканизам, глобално загријавање, ширење дубоких морских аноксичних вода, повишене концентрације H₂S и CO₂ у морском и копненом царству и закисељавање океана. О доказима о утицају болида још се расправља. Тријаско изумирање завршено је прије око 200 милиона година. Изгубљено је 47% родова и 80% врста. Сматра се да је активност у Централноатлантској магматској провинцији имала повишене атмосферске нивое CO₂, што је повећало глобалне температуре и довело до кризе калцификације у свјетским океанима. Кредно изумирање завршено је прије око 65 милиона година. Изгубљено је 40% родова и процјењује се 76% врста. Сматра се да је удар болида у Јукатану довео до глобалне катаклизме и проузроковао брзо хлађење. Претходно овом утицају, биота је можда опадала из различитих разлога: вулканизам на Декану са истовременим глобалним загријавањем; тектонско издизање које мијења биогеографију и убрзава ерозију потенцијално доприносићи еутрофикацији океана и аноксичним епизодама. Скок CO₂ непосредно прије изумирања опадао је током изумирања.

изумирања, која представља број изумрлих врста у времену, без интензивног покретача изумирања попут утицаја човјека или промјена у животној средини (Barnosky et al. 2011).

Биолози сугеришу да људи сада можда узрокују шесто масовно изумирање (експлоатацијом ресурса, фрагментацијом станишта, уношењем алохтоних врста, ширењем патогена, директним убијањем врста и промјеном глобалне климе), с обзиром на познате губитке врста током посљедњих неколико вјекова и миленијума и чињеницу да су тренутне стопе изумирања далеко изнад позадинске стопе изумирања код претходних пет великих масовних изумирања (Barnosky et al. 2011; Ceballos et al. 2015; Strona and Bradshaw 2018). Тренутне стопе изумирања су око 1.000 пута веће од вјероватне позадинске стопе изумирања (Pimm et al. 2014). На примјер, просјечна стопа губитка врста кичмењака током прошлог вијека је и до 100 пута већа од позадинске стопе изумирања – према позадинској стопи од 2 E/MSY (број изумрлих врста по милион врста годишње), броју врста које су изумрле у прошлом вијеку требало би, у зависности од таксона кичмењака, између 800 и 10.000 година да нестану (Ceballos et al. 2015). Ове процјене откривају изузетно брз губитак биодиверзитета током посљедњих неколико вјекова, што указује да је шесто масовно изумирање већ у току. Ипак, до сада ниједно изумирање биљних врста није приписано савременим климатским промјенама (познато је да је само једна врста, *Picea critchfieldii*, током касног плеистоцена глобално изумрла усљед природних климатских промјена) (Corlett and Westcott 2013). Међународна унија за заштиту природе (*International Union for Conservation of Nature*, IUCN) сматра да је само 20 од 864 изумирања врста потенцијално резултат климатских промјена, било у цјелини или дјелимично, а докази који их повезују са климатским промјенама обично су врло слаби (Cahill et al. 2013).

Међутим, постоји обиље доказа о локалном изумирању усљед контракција ареала на топлим рубовима области распрострањења врста (Cahill et al. 2013). Популације на топлим ивицама ареала су логично мјесто за тражење узрока изумирања повезаних са климом, посебно зато што су можда већ на границама својих климатских толеранција. Cahill et al. (2013) наводе да је од 136 студија фокусираних на локална изумирања повезана са климатским промјенама које су анализирали, само седам студија идентификовало непосредне узроке тих изумирања, а изненађујуће ниједна од тих седам студија не показује директну везу између локалног изумирања и ограничених толеранција врсте на високу температуру. На примјер, за двије студије које изумирање најдиректније повезују са промјеном температуре, непосредни фактор је повезан или са тим како температура ваздуха ограничава вријеме површинске активности током сезоне размножавања или са сложеним односом између екстремних

температура (и хладних и врућих), падавина и физиологије. Већина студија (четири од седам) сматра измијењене интеракције између врста као непосредни узрок, посебно смањење доступности хране, заједно са болестима. Исушивање водених станишта је узрок локалног изумирања у једној студији. Двије студије показују физиолошке толеранције на абиотске факторе као одговорне за опадање популације.

Иако су климатске промјене узроковале изумирање врста и раније током своје еволуционе историје, данас примарну забринутост за биљне врсте представљају садашњи интензитет и брзина промјена климатских услова, који превазилазе све природне варијације у посљедњих 1.000 година (можда и даље прошлост), па могу узроковати повећане стопе изумирања биљних врста (Reid 2006). Тренутна предвиђања ризика од изумирања због климатских промјена варирају у великој мјери у зависности од географског и таксономског фокуса сваке студије. Thomas et al. (2004) наводе да ће просјечно 24% врста и таксона (према различитим сценаријима глобалног загријавања та стопа се креће од 15% до 37%) у пет анализираних региона свијета бити на путу истребљења до 2050. године уколико се садашње стопе климатских промјена наставе и даље у будућности. Према сценарију глобалног загријавања од 1,5 °C изнад преиндустријске средње глобалне температуре, Међународни панел за климатске промјене предвиђа да ће 8% биљака, 6% инсеката и 4% кичмењака изгубити преко половине свог климатски одређеног географског ареала, а за глобално загријавање од 2 °C и 3,2 °C, упоредиви проценти износе 16% биљака, 18% инсеката и 8% кичмењака, односно 44% биљака, 49% инсеката и 26% кичмењака, респективно (IPCC 2018; Warren et al. 2018 према Pörtner et al. 2021). Urban (2015) на основу метаанализе 131 објављеног истраживања о изумирању врста предвиђа да ће 7,9% врста изумријети због климатских промјена. Фактор који најбоље објашњава промјене у ризику од изумирања јесте ниво будућих климатских промјена. Предвиђа да ће се будући глобални ризик од изумирања због климатских промјена не само повећавати већ и убрзати са порастом глобалних температура. Глобални ризици од изумирања ће се повећати са тренутних 2,8% на 5,2% уколико се оствари циљ међународних политика да се постиндустријски пораст температуре ограничи на 2 °C, за који многи стручњаци вјерују да више није достижан. Ако се Земља загрије за 3 °C, ризик од изумирања расте на 8,5%. Ако слиједимо тренутну, *business-as-usual* путању (репрезентативни пут концентрације RCP8.5; пораст температуре од 4,3 °C), климатске промјене пријете једној од шест врста (16%). Најмањи ризици од изумирања присутни су у Сјеверној Америци (5%) и Европи (6%), а највећи у Јужној Америци (23%), те у Аустралији и на Новом Зеланду (14%) (које карактерише већи број ендемских врста са малим ареалима, а ризике од изумирања додатно погоршавају малене копнене масе, које ограничавају

распростирање у нова станишта). Предвиђа се да ће се ендемске врсте са мањим ареалом и одређене таксономске групе попут водоземаца и гмизаваца суочити са већим ризицима од изумирања. Аутор је процијенио да се ендемске врсте суочавају са 6% већим ризиком од изумирања у односу на моделе који укључују и ендемске и нендемичне врсте у истраживаном региону.

Thuiller et al. (2005) су на основу анализе пројектованог распрострањења 1.350 биљних врста у Европи до краја XXI вијека и седам сценарија климатских промјена утврдили да ће ризици од изумирања врста бити велики, чак и према умјереним сценаријима климатских промјена. Резултати истраживања су показали да би више од половине анализираних биљних врста могло бити сврстано у категорију рањиве врсте или угрожене врсте према критеријумима Црвене листе Међународне уније за очување природе до 2080. године. Ипак, пројектовани губитак врста је изузетно промјенљив у зависности од сценарија климатских промјена (27–42%) и региона (2,5–86,0%). Високопланинске врсте биће најосјетљивије и најугроженије на промјене климатских услова (60% губитка врста), док ће бореална зона изгубити само неколико врста (али ће стицати друге врсте имиграцијом). Највеће промјене очекују се на прелазу између медитеранског и евросибирског биогеографског региона.

Резултати Wiens (2016) показују да су се локална изумирања повезана са климом већ догодила на стотинама врста, тј. код 47% од 976 анализираних врста. Наведена учесталост локалних изумирања била је углавном слична у климатским зонама, регионима и стаништима, али је била знатно већа код тропских врста него код умјерених врста (55% наспрам 39%), код животиња него код биљака (50% наспрам 39%) и у слатководним стаништима у односу на копнена и морска станишта (74% наспрам 46% наспрам 51%). Све у свему, наведени резултати сугеришу да су локална изумирања повезана са климатским промјенама већ широко распрострањена, иако су нивои климатских промјена до сада скромни у односу на оне предвиђене до краја вијека. Претпоставља се да ће наведена изумирања постати много распрострањенија са повећањем глобалног загријавања у наредним деценијама (отприлике 2 до 5 пута). Román-Palacios and Wiens (2020) су на основу података из истраживања 538 биљних и животињских врста распрострањених широм свијета, од којих је 44% већ забиљежило локална изумирања на једном или више локалитета, открили да су локалитете са локалним изумирањем карактерисале веће и брже промјене у најтоплијим годишњим температурама ваздуха од оних гдје изумирања нису забиљежена. Изненађујуће је да су се локалитети са локалним изумирањем карактерисали знатно мањим промјенама средњих годишњих температура (али већим порастима највиших температура у години). На основу њихових прошлих стопа распрострањања, аутори процјењују да се 57–70% од ових 538 врста неће раширити довољно брзо да би избјегле изумирање. Међутим,

резултати истраживања показали су да су промјене у еколошким нишама изгледа много важније за избегавање изумирања од распрострањавања, иако се већина студија фокусира само на ширење. Конкретно, узимајући у обзир и распрострањавање и помјерање еколошких ниша, предвиђа се да само 20–30% анализираних врста може да изумре до 2070. године.

Изумирање врста након било каквих поремећаја није тренутно. Неке популације и метапопулације могу се задржати током дужег периода испод минималне одрживе величине популације или прага изумирања. Ова одложена изумирања представљају тзв. дуг изумирања (Tilman et al. 1994). Дуг изумирања односи се на одложено изумирање врста које се очекују као посљедица поремећаја у екосистему. Локално изумирање биљних врста може се десити са знатним закашњењем након губитка или деградације станишта. Истраживања сугеришу да такви дугови изумирања представљају значајан, али често препознат изазов за очување биодиверзитета у широком спектру таксона и екосистема (Kuussaari et al. 2009). Квантификовање таквих изумирања и истраживање дугорочних посљедица пертурбација показало се изазовним, јер оне нису изоловане и јављају се на различитим просторним и временским скалама, од губитака локалних станишта до глобалног загријавања (Figueiredo et al. 2019).

Дакле, дуг изумирања у еколошким заједницама представља број или удио постојећих специјалистичких врста жаришних (фокалних) станишта за које се очекује да ће с временом изумријети, како заједница достигне нову равнотежу (еквилибријум) након поремећаја у животној средини, попут уништавања станишта, климатских промјена или инвазије алотоних врста; код појединачних врста, дуг изумирања је број или проценат популација за које се очекује да ће с временом изумријети након промјене станишта (Kuussaari et al. 2009). Праг изумирања представља минималну површину, повезаност и квалитет станишта потребну да би врста опстала (Kuussaari et al. 2009).

Врсте са дугим временом генерације и популације близу прага изумирања највјероватније ће имати дуг изумирања (Kuussaari et al. 2009). Међутим, све док врста за коју се предвиђа да ће изумријети и даље постоји, има времена за спровођење мјера очувања (конзервације) попут обнављања станишта и управљања пејзажом.

Дуг изумирања откривен је у читавом низу екосистема и таксономских група, са процјенама у распону од 9% до 90% садашњег богатства врста (Figueiredo et al. 2019). Трајање дуга изумирања варира од 5 до 570 година, а пројекције укупног периода потребног за намирење дуга могу се проширити на 1.000 година (Figueiredo et al. 2019). Утврђени узроци одложеног изумирања су првенствено особине врсте које продужавају индивидуално преживљавање и динамика популације и метапопулације која одржава популације под

погоршаним условима; а остали потенцијални фактори који могу продужити вријеме преживљавања су микроеволуциона динамика и одложено изумирање партнера у интеракцији (Figueiredo et al. 2019; Kuussaari et al. 2009). Изумирање укључује одговоре индивидуа које се прилагођавају обрасцима и процесима на нивоу популације, метапопулације и врсте. На нивоу заједнице (као и метазаједнице), биотске интеракције додају додатне повратне спреге између ових процеса. Разноликост процеса, еколошки ниво на којем дјелују и интеракције међу њима компликују способност предвиђања које, када и зашто врсте изумиру. Разумијевање ове динамике изумирања и основних процеса је најважније, с обзиром на то да тренутни дугови изумирања представљају знатан дио од предвиђених милион врста којима пријети изумирање. Dullinger et al. (2012) на основу анализе климатски условљене просторно-временске динамике 150 планинских биљака широм европских Алпа предвиђају смањење просјечног ареала 44–50% до краја XXI вијека. Примијењени хибридни модел указује да ће динамика популације заостајати за климатским промјенама и да ће у просјеку 40% подручја које је још било заузето на крају XXI вијека постати климатски неприкладно за дотичне врсте, стварајући дуг изумирања. Статички модели засновани на еколошким нишама предвиђају да ће до 2100. године 34% изгубити више од 80% своје погодне површине под претпоставкама неограниченог распрострањања, односно 73% врста без узимања у обзир могућност распрострањања врста. Хибридни модел предвиђа ниже проценте чак и од статичког модела са неограниченим распрострањем ако су прорачуни губитка ареала засновани на свим заузетим локалитетима (25–31% врста), али веће проценте ако прорачуни чине само климатски погодна станишта (38–52% врста). Хибридни модел такође предвиђа да ће више алпских врста него субалпских врста изгубити више од 80% свог ареала, али су разлике у очекиваном губитку распрострањености и даље израженије између ендемских врста (72–76%) и врста које нису ендеми (39–48%). Предвиђања потпуног губитка ареала углавном су варијала на сличан начин: хибридни модел предвиђа да 68% укупног скупа врста, 5–6% субалпских врста, 8–12% алпских врста, 3–4% неендемске врсте, као и 20–28% ендемских врста више неће заузимати ниједно климатски погодно налазиште до 2100. године.

Климатске промјене и људске активности уништавају врсте у обиму који је без преседана у историјском развоју кроз мноштво директних и индиректних, често синергијских механизма. Међу њима, примарна изумирања услед промјена у животној средини могла би бити само врх огромног леденог бријега изумирања. Покретачи који су директно повезани са антропогеним модификацијама биосфере очигледни су и добро познати: уништавање станишта, прекомјерна експлоатација и биотске инвазије. Слично томе, ефекти промјене животне средине (на примјер, пораст температуре, повећана

учесталост и интензитет суша, закисељавање и загријавање океана итд.) могу се лако протумачити – када услови животне средине одређеног локалитета постану некомпатибилни са границама толеранције врста које га насељавају, у многим случајевима оне ће локално изумријети. Ипак, постоје и други, сложенији механизми који могу погоршати губитак врста. Конкретно, постаје све очигледније како биотске интеракције, осим што омогућавају појаву и одржавање биоразноликости, такође граде сложене мреже путем којих губитак једне врсте може довести до тога да нестане више врста (процес познат као коекстинкција или „суизумирање“), и можда довести читаве екосистеме до неочекиване, изненадне промјене режима или чак до потпуног колапса (Strona and Bradshaw 2018). Климатски индукована изумирања локалних врста могу изазвати каскадне коекстинкције, што доводи до изумирања много више врста (Bascompte et al. 2019).

Коекстинкција се односи на губитак врсте услед изумирања друге врсте – на примјер изумирање паразитских инсеката услед губитка домаћина, изумирање врсте која изгуби своје опрашиваче или изумирање када предатор у ланцу исхране изгуби пљиген. Коекстинкција је нарочито честа када изумире кључна врста у екосистему. Schleuning et al. (2016), комбинујући моделе распрострањења врста са анализама еколошких мрежа, тестирали су потенцијалне утицаје климатских промјена на више од 700 биљних и животињских врста у мрежама за опрашивање и ширење сјемена у средњој Европи. Резултати истраживања су открили да животињске врсте које комуницирају са малом разноликошћу биљних врста имају уске климатске нише и најосјетљивије су на климатске промјене. Супротно томе, биотичка специјализација биљака није повезана са ширином и рањивошћу климатских ниша. Симулациони модел који укључује различите сценарије коекстинкције врста показује да ће пројектовано изумирање биљака услед климатских промјена вјероватније изазвати коекстинкцију животиња него обрнуто. Овај резултат показује да се утицаји климатских промјена на биодиверзитет могу појачати каскадама изумирања од биљака до животиња у еколошким мрежама.

Bascompte et al. (2019) су анализирајући седам мрежа опрашивања широм Европе показали да постоји значајна варијабилност међу мрежама у климатски условљеним стопама изумирања биљака и посебно посљедичних коекстинкција, са много вишим вриједностима стопа у медитеранским него евросибирским мрежама. То је очекивано не само због тога што се претпоставља да су климатске промјене израженије у медитеранској зони већ прије свега зато што медитеранске мреже садрже биљне врсте са ужим распрострањењем, а самим тим и већом вјероватноћом изумирања. Иако географски положај најбоље предвиђа вјероватноћу да ће биљне врсте због климатских промјена

бити доведене до изумирања, каскадну коекстинкцију најбоље предвиђа локална мрежа интеракција међу врстама.

Strona and Bradshaw (2018) истраживањем су показали како еколошке зависности појачавају директне ефекте промјена животне средине на колапс планетарног биодиверзитета и до десет пута. Како наше разумијевање важности еколошких интеракција у обликовању екосистема напредује, постаје све јасније како је нестанак конзумента услед исцрпљивања њихових ресурса (коекстинкција) вјероватније главни покретач губитка биодиверзитета. Аутори истичу да, иако општу важност коекстинкција поткрепљује чврста теоријска подлога, изазови у добијању емпиријских информација о текућим (и прошлим) догађајима коекстинкција компликују процјену њиховог релативног доприноса брзом опадању разноликости врста чак и у добро познатим екосистемима, а камоли на глобалном нивоу. У поједностављеном погледу, идеја заједничког изумирања своди се на очигледан закључак да потрошач не може преживјети без својих ресурса. Будући да су интеракције ресурса и потрошача у природним системима (на примјер, прехрамбене мреже) организоване у различитим хијерархијским нивоима сложености (на примјер, трофички нивои), произлази да би уклањање ресурса могло имати за резултат каскадни нестанак неколико потрошача вишег реда. Неколико студија сугерише да треба очекивати да ће већина догађаја губитка врста узроковати коекстинкцију, што поткрепљује забрињавајућа, неприродна брзина којом популације и врсте сада нестају, и која иде далеко више од онога што човјек очекује као једноставну посљедицу антропогеног дјеловања. У ствари, чак и најиздржљивије врсте неизбежно ће постати жртве синергије међу покретачима изумирања, јер екстремни стрес доводи до нарушавања биолошких заједница. Даље, коекстинкција се често покреће много прије потпуног губитка читаве врсте, тако да би чак и осцилације у величини популације неке врсте могле резултирати локалним нестанком других врста које зависе од ње.

Без усклађених напора за ублажавање и прилагођавање, притисци климатских промјена и неклиматских утицаја ће се појачавати у будућности и на тај начин интензивирати изумирање врста, посебно с обзиром на повратне спреге између појединих стресора. Неопходно је хитно усвајање и имплементација стратегија које ограничавају даље климатске промјене ако се жели избјећи убрзање глобалног изумирања (Ceballos et al. 2015; Urban 2015). Успјех се може постићи усклађивањем циљева за заштиту биодиверзитета са заштитом и обнављањем станишта неопходним за смањење концентрације гасова са ефектом стаклене баште и промовисањем природне и друштвене адаптације на климатске промјене (Roberts et al. 2020). Међутим, за успјех ће бити потребни много амбициознији циљеви заштите животне средине од садашњих 10% мора и 17% копна – разматра се нови циљ од 30% мора са високим нивоом

заштите од експлоатације и нарушавања до 2030. године, а о сличним циљевима се расправља и за копнена станишта (Roberts et al. 2020).

Да би природа знатно допринијела ублажавању климатских промјена, већа покривеност ненарушених екосистема биће од суштинске важности због њиховог пружања услуга екосистема, попут секвестрације и складиштења угљеника (Roberts et al. 2020). С обзиром на то да су многи екосистеми већ деградирани, осигуравање континуираног пружања услуга екосистема захтијева не само заштиту из предострожности тренутно нетакнутих станишта, већ и велике размјере рестаурације нарушених станишта.

4.4. Закључак

Климатски услови играју круцијалну улогу у одвијању свих процеса биљака (фото-синтезе, дисања, раста и развоја итд.) и њиховог сезонског циклуса (фенологије), те у одређивању граница њиховог распрострањења. Климатски услови имају велики утицај како на биљне јединке, популације и врсте, тако и на њихове заједнице, екосистеме и биоме у цјелини. Због тога посљедњих деценија расте забринутост због потенцијалних утицаја глобалних климатских промјена на биљни свијет.

Савремене климатске промјене првенствено се огледају у антропогено условљеном порасту атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште (угљен-диоксида, метана, азот-субоксида итд.), глобалном загријавању климатског система, промјенама режима падавина и промјенама учесталости, интензитета и/или просторног обухвата екстремних временских и климатских догађаја.

Савремене климатске промјене довеле су до знатних промјена биљног врста, које се огледају у промјенама области распрострањења – ареала (помјерање ка вишим географским ширинама и према вишим надморским висинама), физиологије (повећане стопе процеса фото-синтезе, побољшање ефикасности употребе воде, смањење стаматалне проводљивости и повећање нето примарне производње екосистема), фенологије (ранији почетак вегетационог периода у прољеће, раније јављање фенофаза у прољеће и љето, одлагање јесењих фенофаза којима се завршава вегетациони период, продужавање вегетационог периода). Промијењени климатски услови такође су већ довели до измјена биљних заједница (промјене састава заједница, измијењене интеракције између врста попут опрашивања, конкуренције, предаторства, паразитизма, мутуализма, преношења болести, ланаца исхране и др.) и локалног изумирања одређених биљних врста.

Иако је и у прошлости губитак биодиверзитета првенствено приписиван промјенама интензитета коришћења копна и мора и директној експлоатацији врста, а тек затим климатским промјенама, предвиђа се да ће утицај климатских промјена надмашити друге пријетње губитку биодиверзитета током XXI вијека, како директним утицајима, тако и интензивирањем интеракција са другим неклиматским покретачима.

Уочени утицаји климатских промјена на биодиверзитет укључују директну промјену абиотских услова, као што су промјене климатских карактеристика (на примјер, температуре, падавина, екстремних временских и климатских догађаја), физичког окружења (на примјер, нивоа мора, обима ледничког покривача и ледника, учесталости пожара, температуре и киселости океана, концентрације кисеоника) и атмосферске концентрације гасова са ефектом стаклене баште (на примјер, CO₂). Осим тога, климатске промјене се јављају у интеракцији неклиматским факторима угрожавања биодиверзитета (на примјер, деградацијом, фрагментацијом и уништавањем станишта, повећањем осјетљивости на болести, промјеном начина кретања алохтоних инвазивних врста, дефаунацијом и све већим ослањањем људи на експлоатацију ресурса), често погоршавајући њихове пријетње. Дакле, климатске промјене се налазе у веома сложеној међусобној интеракцији са другим покретачима губитка биодиверзитета, дајући резултате који могу бити синергијски (што значи да ће исход бити већи него што би се то очекивало од појединачног дјеловања покретача), антагонистички, постепени или нагли. Климатске промјене такође могу потенцијално проузроковати нагле и неповратне (или тешко реверзибилне) промјене екосистема уколико дјеловање пређе преко критичних прагова. Дакле, са заједничким и истовременим дјеловањем више покретача, њихови утицаји на биодиверзитет и функционисање екосистема могу бити израженији, али и разноврснији, па њихов исход неће бити лако предвидљив. У циљу спречавања и/или ублажавања даљих негативних утицаја климатских промјена на губитак биодиверзитета, потребно је разумијети еколошку динамику ових климатских утицаја, утврдити жаришта рањивости и отпорности, те утврдити интервенције које могу помоћи повећању отпорности биосфере на климатске промјене; с друге стране, истовремено екосистема такође могу помоћи у ублажавању и прилагођавању климатским промјенама.

Промјенљиви атмосферски услови (нагли пораст атмосферске концентрације CO₂ и других гасова са ефектом стаклене баште) и загријавање климатског система веће од уобичајених међуглацијалних температура, фрагментација станишта, загађење, прекомјерни риболов и лов, инвазивне врсте и патогени, те раст људске популације све су екстремнији еколошки стрес, много већи него што је већина живих врста раније искусила. Без усклађених мјера и активности за ублажавање, такви притисци ће се појачавати у будућности и на

тај начин интензивирати изумирање врста. Стога је неопходно хитно усвајање и имплементација стратегија које ограничавају даље промјене климе у циљу избјегавања убрзаног глобалног изумирања биљних врста.

Литература

- Abatzoglou JT, Park Williams A, Boschetti L, Zubkova M, Kolden CA (2018) Global Patterns of Interannual Climate–Fire Relationships. *Global Change Biology* 24(11):5164–5175. doi.10.1111/gcb.14405
- Abatzoglou JT, Williams AP, Barbero R (2019) Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophysical Research Letters* 46(1):326–336. doi.10.1029/2018GL080959
- Aguilar E, Peterson TC, Obando PR, Frutos R, Retana JA, Solera M, Soley J, González García I, Araujo RM, Santos AR, Valle VE, Brunet M, Aguilar L, Álvarez L, Bautista M, Castañón C, Herrera L, Ruano E, Sinay JJ, Sánchez E, Hernández Oviedo GI, Obed F, Salgado JE, Vázquez JL, Baca M, Gutiérrez M, Centella C, Espinosa J, Martínez D, Olmedo B, Ojeda Espinoza CE, Núñez R, Haylock M, Benavides H, Mayorga R (2005) Changes in Precipitation and Temperature Extremes in Central America and Northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research* 110:D23. doi.10.1029/2005jd006119
- Aguiléea R, Raoul G, Rousset F, Ronce O (2016) Pollen Dispersal Slows Geographical Range Shift and Accelerates Ecological Niche Shift Under Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(39):E5741–E5748. doi.10.1073/pnas.1607612113
- Adler RF, Gu G, Sapiano M, Wang J-J, Huffman GJ (2017) Global Precipitation: Means, Variations and Trends During the Satellite Era (1979–2014). *Surveys in Geophysics* 38(4):679–699. doi.10.1007/s10712-017-9416-4
- Ainsworth EA, Stephen PL (2005) What Have We Learned from 15 Years of Free-Air CO₂ Enrichment (FACE)? A Meta-Analytic Review of the Responses of Photosynthesis, Canopy Properties and Plant Production to Rising CO₂. *New Phytologist* 165(2):351–372. doi.10.1111/j.1469-8137.2004.01224.x
- Alessandri A, De Felice M, Zeng N, Mariotti A, Pan Y, Cherchi A, Lee J-Y, Wang B, Ha K-J, Ruti P, Artale V (2014) Robust Assessment of the Expansion and Retreat of Mediterranean Climate in the 21st Century. *Scientific Reports* 4(1):7211. doi.10.1038/srep07211
- Alexander JM, Chalmandrier L, Lenoir J, Burgess TI, Essl F, Haider S, Kueffer C, McDougall K, Milbau A, Nuñez MA, Pauchard A, Rabitsch W, Rew LJ, Sanders NJ, Pellissier L (2018) Lags in the Response of Mountain Plant Communities to Climate Change. *Global Change Biology* 24(2):563–579. doi.10.1111/gcb.13976
- Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J,

- Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aguirre JL (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111(D5):D05109. doi.10.1029/2005JD006290
- Amatulli G, Camia A, San-Miguel-Ayanz J (2013) Estimating Future Burned Areas Under Changing Climate in the EU-Mediterranean Countries. *Science of the Total Environment* 450:209–222. doi.10.1016/j.scitotenv.2013.02.014
- Araújo MB, Alagador D, Cabeza M, Nogués-Bravo D, Thuiller W (2011) Climate Change Threatens European Conservation Areas. *Ecology Letters* 14(5):484–492. doi.10.1111/j.1461-0248.2011.01610.x
- Armal S, Devineni N, Khanbilvardi R (2018) Trends in Extreme Rainfall Frequency in the Contiguous United States: Attribution to Climate Change and Climate Variability Modes. *Journal of Climate* 31(1):369–385. doi.10.1175/JCLI-D-17-0106.1
- Arnell NW, Lowe JA, Challinor AJ, Osborn TJ (2019) Global and Regional Impacts of Climate Change at Different Levels of Global Temperature Increase. *Climatic Change* 155:377–391. doi.10.1007/s10584-019-02464-z
- Arneth A, Shin Y-J, Leadley P, Rondinini C, Bukvareva E, Kolb M, Midgley GF, Oberdorff T, Palomo I, Saito O (2020) Post-2020 Biodiversity Targets Need to Embrace Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(49):30882–30891. doi.10.1073/pnas.2009584117
- Arora VK, Katavouta A, Williams RG, Jones CD, Brovkin V, Friedlingstein P, Schwinger J, Bopp L, Boucher O, Cadule P, Chamberlain MA, Christian JR, Delire C, Fisher RA, Hajima T, Ilyina T, Joetzer E, Kawamiya M, Koven CD, Krasting JP, Law RM, Lawrence DM, Lenton A, Lindsay K, Pongratz J, Raddatz T, Séférian R, Tachiiri K, Tjiputra JF, Wiltshire A, Wu T, Ziehn T (2020) Carbon–Concentration and Carbon–Climate Feedbacks in CMIP6 Models and Their Comparison to CMIP5 Models. *Biogeosciences* 17(16):4173–4222. doi.10.5194/bg-17-4173-2020
- Asse D, Chuine I, Vitasse Y, Gilles Yoccoz N, Delpierre N, Badeau V, Delestrade A, Randin CF (2018) Warmer Winters Reduce the Advance of Tree Spring Phenology Induced by Warmer Springs in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology* 252:220–230. doi.10.1016/j.agrformet.2018.01.030
- Augspurger CK (2013) Reconstructing Patterns of Temperature, Phenology, and Frost Damage over 124 Years: Spring Damage Risk is Increasing. *Ecology* 94(1):41–50. doi.10.1890/12-0200.1
- Bach W (1979) Impact of Increasing Atmospheric CO₂ Concentrations on Global Climate: Potential Consequences and Corrective Measures. *Environment International* 2:215–228
- Badr O, Probert SD, O’Callaghan PW (1991) Atmospheric Methane: Its Contribution to Global Warming. *Applied Energy* 40:273–313
- Badr O, Probert SD (1992) Nitrous Oxide in the Earth’s Atmosphere. *Applied Energy* 41:177–200

- Ballantyne AP, Alden CB, Miller JB, Tans PP, White JW (2012) Increase in Observed Net Carbon Dioxide Uptake by Land and Oceans during the Past 50 Years. *Nature* 488(7409):70–72. doi.10.1038/nature11299
- Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB, Marshall C, McGuire JL, Lindsey EL, Maguire KC, Mersey B, Ferrer EA (2011) Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived? *Nature* 471(7336):51–57. doi.10.1038/nature09678
- Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J, Trigo RM, Garcia-Herrera R (2011) The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. *Science* 332(6026):220–224. doi.10.1126/science.1201224
- Barry AA, Caesar J, Klein Tank AMG, Aguilar E, McSweeney C, Cyrille AM, Nikiema MP, Narcisse KB, Sima F, Stafford G, Touray LM, Ayilari-Naa JA, Mendes CL, Tounkara M, Gar-Glahn EVS, Coulibaly MS, Dieh MF, Mouhaimouni M, Oyegade JA, Samboup E, Laogbessi ET (2018) West Africa Climate Extremes and Climate Change Indices. *International Journal of Climatology* 38(S1):e921–e938. doi.10.1002/joc.5420
- Bartholy J, Pongrácz R (2007) Regional Analysis of Extreme Temperature and Precipitation Indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change* 57(1–2):83–95. doi.10.1016/j.gloplacha.2006.11.002
- Bartolomeu S, Carvalho MJ, Marta-Almeida M, Melo-Gonçalves P, Rocha A (2016) Recent Trends of Extreme Precipitation Indices in the Iberian Peninsula Using Observations and WRF Model Results. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 94:10–21. doi.10.1016/j.pce.2016.06.005
- Bascompte J, García MB, Ortega R, Rezende EL, Pironon S (2019) Mutualistic Interactions Reshuffle the Effects of Climate Change on Plants Across the Tree of Life. *Science Advances* 5(5):eaav2539. doi.10.1126/sciadv.aav2539
- Baslam M, Mitsui T, Hodges M, Priesack E, Herritt MT, Aranjuelo I, Sanz-Sáez Á (2020) Photosynthesis in a Changing Global Climate: Scaling Up and Scaling Down in Crops. *Frontiers in Plant Science* 11:882. doi.10.3389/fpls.2020.00882
- Bathiany S, Dakos V, Scheffer M, Lenton TM (2018) Climate Models Predict Increasing Temperature Variability in Poor Countries. *Science Advances* 4(5):eaar5809. doi.10.1126/sciadv.aar5809
- Battipaglia G, Saurer M, Cherubini P, Calfapietra C, McCarthy HR, Norby RJ, Francesca Cotrufo M (2013) Elevated CO₂ Increases Tree-Level Intrinsic Water Use Efficiency: Insights from Carbon and Oxygen Isotope Analyses in Tree Rings Across Three Forest FACE Sites. *New Phytologist* 197(2):544–554. doi.10.1111/nph.12044
- Bebber DP, Ramotowski MAT, Gurr SJ (2013) Crop Pests and Pathogens Move Polewards in a Warming World. *Nature Climate Change* 3(11):985–988. doi.10.1038/nclimate1990
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) Impacts of Climate Change on the Future of Biodiversity. *Ecology Letters* 15(4):365–377. doi.10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x

- Bellassen V, Viovy N, Luysaert S, Le Marie G, Schelhaas MJ, Ciais P (2011) Reconstruction and Attribution of the Carbon Sink of European Forests between 1950 and 2000. *Global Change Biology* 17(11):3274–3292. doi.10.1111/j.1365-2486.2011.02476.x
- Belmecheri S, Maxwell RS, Taylor AH, Davis KJ, Guerrieri R, Moore DJP, Rayback SA (2021) Precipitation Alters the CO₂ Effect on Water-Use Efficiency of Temperate Forests. *Global Change Biology* 27(8):1560–1571. doi.10.1111/gcb.15491
- Berdugo M, Delgado-Baquerizo M, Soliveres S, Hernández-Clemente R, Zhao Y, Gaitán JJ, Gross N, Saiz H, Maire V, Lehmann A, Rillig MC, Solé RV, Maestre FT (2020) Global Ecosystem Thresholds Driven by Aridity. *Science* 367(6479): 787–790. doi.10.1126/science.aay5958
- Bezak N, Mikoš M (2020) Changes in the Compound Drought and Extreme Heat Occurrence in the 1961–2018 Period at the European Scale. *Water* 12:3543. doi.10.3390/w12123543
- Bigler C, Bugmann H (2018) Climate-Induced Shifts in Leaf Unfolding and Frost Risk of European Trees and Shrubs. *Scientific Reports* 8:9865. doi.10.1038/s41598-018-27893-1 1
- Bisbis MB, Gruda N, Blanke M (2018) Potential Impacts of Climate Change on Vegetable Production and Product Quality: A Review. *Journal of Cleaner Production* 170:1602–1620. doi.10.1016/j.jclepro.2017.09.224
- Blois JL, Zarnetske PL, Fitzpatrick MC, Finnegan S (2013) Climate Change and the Past, Present, and Future of Biotic Interactions. *Science* 341(6145):499–504. doi.10.1126/science.1237184
- Bond-Lamberty B, Bailey VL, Chen M, Gough CM, Vargas R (2018) Globally Rising Soil Heterotrophic Respiration over Recent Decades. *Nature* 560(7716):80–83. doi.10.1038/s41586-018-0358-x
- Both C, Van Asch M, Bijlsma RG, Van Den Burg AB, Visser ME (2009) Climate Change and Unequal Phenological Changes Across Four Trophic Levels: Constraints or Adaptations? *Journal of Animal Ecology* 78(1):73–83. doi.10.1111/j.1365-2656.2008.01458.x
- Boukal DS, Bideault A, Carreira BM, Sentis A (2019) Species Interactions Under Climate Change: Connecting Kinetic Effects of Temperature on Individuals to Community Dynamics. *Current Opinion in Insect Science* 35:88–95. doi.10.1016/j.cois.2019.06.014
- Breuer H, Ács F, Skarbit N (2018) Observed and Projected Climate Change in the European Region During the Twentieth and Twenty-First Centuries According to Feddema. *Climatic Change* 150:377–390. doi.10.1007/s10584-018-2271-6
- Brienen RJW, Phillips OL, Feldpausch TR, Gloor E, Baker TR, Lloyd J, Lopez-Gonzalez G, Monteagudo-Mendoza A, Malhi Y, Lewis SL, Vásquez Martínez R, Alexiades M, Álvarez Dávila E, Alvarez-Loayza P, Andrade A, Aragão LEOC, Araujo-Murakami A, Arets EJMM, Arroyo L, Aymard GAC, Bánki OS, Baraloto C, Barroso J, Bonal D, Boot RGA, Camargo JLC, Castilho CV, Chama V, Chao KJ,

- Chave J, Comiskey JA, Cornejo Valverde F, da Costa L, de Oliveira EA, Di Fiore A, Erwin TL, Fauset S, Forsthofer M, Galbraith DR, Grahame ES, Groot N, Hérault B, Higuchi N, Honorio Coronado EN, Keeling H, Killeen TJ, Laurance WF, Laurance S, Licona J, Magnussen WE, Marimon BS, Marimon-Junior BH, Mendoza C, Neill DA, Nogueira EM, Núñez P, Pallqui Camacho NC, Parada A, Pardo-Molina G, Peacock J, Peña-Claros M, Pickavance GC, Pitman NCA, Poorter L, Prieto A, Quesada CA, Ramírez F, Ramírez-Angulo H, Restrepo Z, Roopsind A, Rudas A, Salomão RP, Schwarz M, Silva N, Silva-Espejo JE, Silveira M, Stropp J, Talbot J, Steege H, Teran-Aguilar J, Terborgh J, Thomas-Caesar R, Toledo M, Torello-Raventos M, Umetsu RK, van der Heijden GMF, van der Hout P, Guimarães Vieira IC, Vieira SA, Vilanova E, Vos VA, Zagt RJ (2015) Long-Term Decline of the Amazon Carbon Sink. *Nature* 519(7543):344–348. doi.10.1038/nature14283
- Brouder SM, Volenec JJ (2008) Impact of Climate Change on Crop Nutrient and Water Use Efficiencies. *Physiologia Plantarum* 133(4):705–724. doi.10.1111/j.1399-3054.2008.01136.x
- Brugnara Y, Auchmann R, Brönnimann S, Bozzo A, Berro DC, Mercalli L (2016) Trends of Mean and Extreme Temperature Indices Since 1874 at Low-Elevation Sites in the Southern Alps. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121(7):3304–3325. doi.10.1002/2015JD024582
- Buitenwerf R, Rose L, Higgins SI (2015) Three Decades of Multi-Dimensional Change in Global Leaf Phenology. *Nature Climate Change* 5:364–368. doi.10.1038/nclimate2533
- Buras A, Menzel A (2019) Projecting Tree Species Composition Changes of European Forests for 2061–2090 Under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios. *Frontiers in Plant Science* 9:1986. doi.10.3389/fpls.2018.01986
- Burdon JJ, Zhan J (2020) Climate Change and Disease in Plant Communities. *PLoS Biology* 18(11):e3000949. doi.10.1371/journal.pbio.3000949
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Luković J, Dragojlović J (2015) Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 95(4):53–66. doi.10.2298/GSGD140626002B
- van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC, Kram T, Krey V, Lamarque J-F, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith SJ, Rose SK (2011) The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change* 109(1):5. doi.10.1007/s10584-011-0148-z
- van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Buishand TA (2013) Trends in European Precipitation Extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology* 33(12):2682–2689. doi.10.1002/joc.3619
- Van der Putten WH, Macel M, Visser ME (2010) Predicting Species Distribution and Abundance Responses to Climate Change: Why It Is Essential to Include Biotic Interactions Across Trophic Levels. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences* 365(1549):2025–2034. doi.10.1098/rstb.2010.0037

- van der Sleen P, Groenendijk P, Vlam M, Anten NPR, Boom A, Bongers F, Pons TL, Terburg G, Zuidema PA (2015) No Growth Stimulation of Tropical Trees by 150 Years of CO₂ Fertilization but Water-Use Efficiency Increased. *Nature Geoscience* 8(1):24–28. doi.10.1038/ngeo2313
- van der Schrier G, van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Verver G (2013) Monitoring European Average Temperature Based on the E-OBS Gridded Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(11):5120–5135. doi.10.1002/jgrd.50444
- van der Walt AJ, Fitchett JM (2021) Exploring Extreme Warm Temperature Trends in South Africa: 1960–2016. *Theoretical and Applied Climatology* 143:1341–1360. doi.10.1007/s00704-020-03479-8
- Vicente-Serrano SM, Domínguez-Castro F, Murphy C, Hannaford J, Reig F, Peña-Angulo D, Trambly Y, Trigo RM, MacDonald N, Yolanda Luna M, McCarthy M, Van der Schrier G, Turco M, Camuffo D, Noguera I, García-Herrera R, Becherini F, Della Valle A, Tomas-Burguera M, El Kenawy A (2021) Long-Term Variability and Trends in Meteorological Droughts in Western Europe (1851–2018). *International Journal of Climatology* 41(S1):E690–E717. doi.10.1002/joc.6719
- Vitasse Y, Signarbieux C, Fu YH (2018) Global Warming Leads to More Uniform Spring Phenology Across Elevations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(5):1004–1008. doi.10.1073/pnas.1717342115
- Vogel MM, Zscheischler J, Wartenburger R, Dee D, Seneviratne SI (2019) Concurrent 2018 Hot Extremes Across Northern Hemisphere Due to Human-Induced Climate Change. *Earth's Future* 7(7):692–703. doi.10.1029/2019EF001189
- Gaire NP, Koirala M, Bhuju DR, Borgaonkar HP (2014) Treeline Dynamics with Climate Change at the Central Nepal Himalaya. *Climate of the Past* 10:1277–1290. doi.10.5194/cp-10-1277-2014
- Garonna I, de Jong R, de Wit AJW, Múcher CA, Schmid B, Schaepman ME (2014) Strong Contribution of Autumn Phenology to Changes in Satellite-Derived Growing Season Length Estimates Across Europe (1982–2011). *Global Change Biology* 20(11):3457–3470. doi.10.1111/gcb.12625
- Garonna I, de Jong R, Schaepman ME (2016) Variability and Evolution of Global Land Surface Phenology over the Past Three Decades (1982–2012). *Global Change Biology* 22(4):1456–1468. doi.10.1111/gcb.13168
- Gea-Izquierdo G, Cherubini P, Cañellas I (2011) Tree-Rings Reflect the Impact of Climate Change on *Quercus ilex* L. Along a Temperature Gradient in Spain over the Last 100 Years. *Forest Ecology and Management* 262(9):1807–1816. doi.10.1016/j.foreco.2011.07.025
- Gebrechorkos SH, Hülsmann S, Bernhofer C (2019) Long-Term Trends in Rainfall and Temperature Using High-Resolution Climate Datasets in East Africa. *Scientific Reports* 9:11376. doi.10.1038/s41598-019-47933-8 1

- Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) Tree Line Shifts in the Swiss Alps: Climate Change or Land Abandonment? *Journal of Vegetation Science* 18(4):571–582. doi.10.1111/j.1654-1103.2007.tb02571.x
- Gill AL, Gallinat AS, Sanders-DeMott R, Rigden AJ, Short Gianotti DJ, Mantooth JA, Templer PH (2015) Changes in Autumn Senescence in Northern Hemisphere Deciduous Trees: A Meta-Analysis of Autumn Phenology Studies. *Annals of Botany* 116(6):875–888. doi.10.1093/aob/mcv055
- Gillett NP, Shiogama H, Funke B, Hegerl G, Knutti R, Matthes K, Santer BD, Stone D, Tebaldi C (2016) The Detection and Attribution Model Intercomparison Project (DAMIP v1.0) Contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development* 9:3685–3697. doi.10.5194/gmd-9-3685-2016
- Gilman SE, Urban MC, Tewksbury J, Gilchrist GW, Holt RD (2010) A Framework for Community Interactions Under Climate Change. *Trends in Ecology & Evolution* 25(6):325–331. doi.10.1016/j.tree.2010.03.002
- Gnjato S, Popov T, Ivanišević M, Trbić G (2021) Changes in Extreme Climate Indices in Sarajevo (Bosnia and Herzegovina). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 101(2):1–21. doi.10.2298/GSGD2102001G
- Golubyatnikov LL, Denisenko EA (2007) Model Estimates of Climate Change Impact on Habitats of Zonal Vegetation for the Plain Territories of Russia. *Biology Bulletin* 34(2):170–184. doi.10.1134/S1062359007020100
- Gómez-Ruiz EP, Lacher Jr TE (2019) Climate Change, Range Shifts, and the Disruption of a Pollinator–Plant Complex. *Scientific Reports* 9:14048. doi.10.1038/s41598-019-50059-6 1
- Gray SB, Brady SM (2016) Plant Developmental Responses to Climate Change. *Developmental Biology* 419(1):64–77. doi.10.1016/j.ydbio.2016.07.023
- Greenwood S, Jump AS (2014) Consequences of Treeline Shifts for the Diversity and Function of High Altitude Ecosystems. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 46(4):829–840. doi.10.1657/1938-4246-46.4.829
- Groisman PY, Knight RW, Easterling DR, Karl TR, Hegerl GC, Razuvaev VN (2005) Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *Journal of Climate* 18(9):1326–1350. doi.10.1175/JCLI3339.1
- Gu F, Zhang Y, Huang M, Tao B, Guo R, Yan C (2017) Effects of Climate Warming on Net Primary Productivity in China During 1961–2010. *Ecology and Evolution* 7(17):6736–6746. doi.10.1002/ece3.3029
- Gudmundsson L, Seneviratne SI (2016) Anthropogenic Climate Change Affects Meteorological Drought Risk in Europe. *Environmental Research Letters* 11(4):044005. doi.10.1088/1748-9326/11/4/044005
- Guiot J, Corona C, ESCARSEL Members (2010) Growing Season Temperatures in Europe and Climate Forcings over the Past 1400 Years. *PLoS ONE* 5(4):e9972. doi.10.1371/journal.pone.0009972
- Guisan A, Theurillat J-P (2000) Assessing Alpine Plant Vulnerability to Climate Change: A Modeling Perspective. *Integrated Assessment* 1:307–320

- Güsewell S, Furrer R, Gehrig R, Pietragalla B (2017) Changes in Temperature Sensitivity of Spring Phenology with Recent Climate Warming in Switzerland are Related to Shifts of the Preseason. *Global Change Biology* 23(12):5189–5202. doi.10.1111/gcb.13781
- Davidson EA, Kanter D (2014) Inventories and Scenarios of Nitrous Oxide Emissions. *Environmental Research Letters* 9:105012. doi.10.1088/1748-9326/9/10/105012
- Dai A (2011) Drought Under Global Warming: A Review. *WIREs Climate Change* 2(1):45–65. doi.10.1002/wcc.81
- Dai A (2013) Increasing Drought Under Global Warming in Observations and Models. *Nature Climate Change* 3:52–58. doi.10.1038/nclimate1633
- DaMatta FM, Grandis A, Arenque BC, Buckeridge MS (2010) Impacts of Climate Changes on Crop Physiology and Food Quality. *Food Research International* 43(7):1814–1823. doi.10.1016/j.foodres.2009.11.001
- de Lima MIP, Santo FE, Ramos AM, Trigo RM (2015) Trends and Correlations in Annual Extreme Precipitation Indices for Mainland Portugal, 1941–2007. *Theoretical and Applied Climatology* 119(1–2):55–75. doi.10.1007/s00704-013-1079-6
- de los Milagros Skansi M, Brunet M, Sigró J, Aguilar E, Arevalo Groening JA, Bentancur OJ, Castellón Geier YR, Correa Amaya RL, Jácome H, Malheiros Ramos A, Oria Rojas C, Max Pasten A, Sallons Mitro S, Villaroel Jiménez C, Martínez R, Alexander LV, Jones PD (2013) Warming and Wetting Signals Emerging from Analysis of Changes in Climate Extreme Indices over South America. *Global and Planetary Change* 100:295–307. doi.10.1016/j.gloplacha.2012.11.004
- Devi NM, Kukarskih VV, Galimova AA, Mazepa VS, Grigoriev AA (2020) Climate Change Evidence in Tree Growth and Stand Productivity at the Upper Treeline Ecotone in the Polar Ural Mountains. *Forest Ecosystems* 7:7. doi.10.1186/s40663-020-0216-9
- Del Grosso SJ, Parton WJ (2012) Climate Change Increases Soil Nitrous Oxide Emissions. *New Phytologist* 196(2):327–328. doi.10.1111/j.1469-8137.2012.04334.x
- Dier M, Sickora J, Erbs M, Weigel H-J, Zörb C, Manderscheid R (2019) Positive Effects of Free Air CO₂ Enrichment on N Remobilization and Postanthesis N Uptake in Winter Wheat. *Field Crops Research* 234:107–118. doi.10.1016/j.fcr.2019.02.013
- Dlugokencky EJ, Nisbet EG, Fisher R, Lowry D (2011) Global Atmospheric Methane: Budget, Changes and Dangers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369(1943):2058–2072. doi.10.1098/rsta.2010.0341
- Dlugokencky E, NOAA/GML (2021a) Trends in Atmospheric Methane. Доступно на: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/, Приступљено: 30. јануар 2022
- Dlugokencky E, NOAA/GML (2021b) Trends in Atmospheric Nitrous Oxide. Доступно на: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_n2o/, Приступљено: 30. јануар 2022

- Dlugokencky E, Tans P, NOAA/GML (2021) Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Доступно на: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>, Приступљено: 30. јануар 2022
- Domínguez-Castro F, Reig F, Vicente-Serrano SM, Aguilar E, Peña-Angulo D, Noguera I, Revuelto J, van der Schrier G, El Kenawy AM (2020) A Multidecadal Assessment of Climate Indices over Europe. *Scientific Data* 7:125. doi.10.1038/s41597-020-0464-0
- Donat MG, Alexander LV (2012) The Shifting Probability Distribution of Global Daytime and Night-Time Temperatures. *Geophysical Research Letters* 39(14):L14707. doi.10.1029/2012GL052459
- Donat MG, Alexander LV, Yang H, Durre I, Vose R, Dunn RJH, Willett KM, Aguilar E, Brunet M, Caesar J, Hewitson B, Jack C, Klein Tank AMG, Kruger AC, Marengo J, Peterson TC, Renom M, Oria Rojas C, Rusticucci M, Salinger J, Elrayah AS, Sekele SS, Srivastava AK, Trewin B, Villarroel C, Vincent LA, Zhai P, Zhang X, Kitching S (2013) Updated Analyses of Temperature and Precipitation Extreme Indices Since the Beginning of the Twentieth Century: The Hadex2 Dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(5):2098–2118. doi.10.1002/jgrd.50150
- Donat MG, Lowry AL, Alexander LV, O’Gorman PA, Maher N (2016) More Extreme Precipitation in the World’s Dry and Wet Regions. *Nature Climate Change* 6(5):508–513. doi.10.1038/nclimate2941
- Dong J, Gruda N, Lam SK, Li X, Duan Z (2018) Effects of Elevated CO₂ on Nutritional Quality of Vegetables: A Review. *Frontiers in Plant Science* 9:924. doi.10.3389/fpls.2018.00924
- Dong S, Sun Y, Aguilar E, Zhang X, Peterson TC, Song L, Zhang Y (2018) Observed Changes in Temperature Extremes over Asia and Their Attribution. *Climate Dynamics* 51:339–353. doi.10.1007/s00382-017-3927-z
- Donnelly A, Caffarra A, O’Neill BF (2011) A Review of Climate-Driven Mismatches Between Interdependent Phenophases in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. *International Journal of Biometeorology* 55(6):805–817. doi.10.1007/s00484-011-0426-5
- Dore MHI (2005) Climate Change and Changes in Global Precipitation Patterns: What Do We Know? *Environment International* 31(8):1167–1181. doi.10.1016/j.envint.2005.03.004
- Drake JE, Gallet-Budynek A, Hofmockel KS, Bernhardt ES, Billings SA, Jackson RB, Johnsen KS, Lichter J, McCarthy HR, McCormack ML, Moore DJP, Oren R, Palmroth S, Phillips RP, Phippen JS, Pritchard SG, Treseder KK, Schlesinger WH, Delucia EH, Finzi AC (2011) Increases in the Flux of Carbon Belowground Stimulate Nitrogen Uptake and Sustain the Long-Term Enhancement of Forest Productivity Under Elevated CO₂. *Ecology Letters* 14(4):349–357. doi.10.1111/j.1461-0248.2011.01593.x
- Drkenda P, Musić O, Marić S, Jevremović D, Radičević S, Hudina M, Hodžić S, Kunz A, Blanke MM (2018) Comparison of Climate Change Effects on Pome and Stone

- Fruit Phenology Between Balkan Countries and Bonn/Germany. *Erwerbs-Obstbau* 60(4):295–304. doi.10.1007/s10341-018-0373-y
- Duveneck MJ, Thompson JR (2017) Climate Change Imposes Phenological Trade-Offs on Forest Net Primary Productivity. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122(9):2298–2313. doi.10.1002/2017JG004025
- Dullinger S, Gattringer A, Thuiller W, Moser D, Zimmermann NE, Guisan A, Willner W, Plutzer C, Leitner M, Mang T, Caccianiga M, Dirnböck T, Ertl S, Fischer A, Lenoir J, Svenning J-C, Psomas A, Schmatz DR, Silc U, Vittoz P, Hülber K (2012) Extinction Debt of High-Mountain Plants Under Twenty-First-Century Climate Change. *Nature Climate Change* 2(8):619–622. doi.10.1038/nclimate1514
- Dumitrescu A, Bojariu R, Birsan MV, Marin L, Manea A (2015) Recent Climatic Changes in Romania from Observational Data (1961–2013). *Theoretical and Applied Climatology* 122(1–2):111–119. doi.10.1007/s00704-014-1290-0
- Dunn RJH, Alexander LV, Donat MG, Zhang X, Bador M, Herold N, Lippmann T, Allan R, Aguilar E, Barry AA, Brunet M, Caesar J, Chagnaud G, Cheng V, Cinco T, Durre I, de Guzman R, Mar Htay T, Ibadullah WMW, Ibrahim MKIB, Khoshkam M, Kruger A, Kubota H, Leng TW, Lim G, Li-Sha L, Marengo J, Mbatha S, McGree S, Menne M, de los Milagros Skansi M, Ngwenya S, Nkrumah F, Oonariya C, Pabon-Caicedo JD, Panthou G, Pham C, Rahimzadeh F, Ramos A, Salgado E, Salinger J, Sané Y, Sopaheluwakan A, Srivastava A, Sun Y, Timbal B, Trachow N, Trewin B, van der Schrier G, Vazquez-Aguirre J, Vasquez R, Villarroel C, Vincent L, Vischel T, Vose R, Yussuf MNABH (2020) Development of an Updated Global Land in Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125:e2019JD032263. doi.10.1029/2019JD032263
- Dunn RJH, Aldred F, Gobron N, Miller JB, Willett KM (eds) (2022) Global Climate. In: Blunden J, Boyer T (eds) *State of the Climate in 2021*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 103(8):S11–S142. doi.10.1175/BAMS-D-22-0092.1
- Ekholm A, Tack AJM, Bolmgren K, Roslin T (2019) The Forgotten Season: The Impact of Autumn Phenology on a Specialist Insect Herbivore Community on Oak. *Ecological Entomology* 44(3):425–435. doi.10.1111/een.12719
- Estiarte M, Peñuelas J (2015) Alteration of the Phenology of Leaf Senescence and Fall in Winter Deciduous Species by Climate Change: Effects on Nutrient Proficiency. *Global Change Biology* 21(3):1005–1017. doi.10.1111/gcb.12804
- Žebre M, Colucci RR, Giorgi F, Glasser NF, Racoviteanu AE, Del Gobbo C (2021) 200 Years of Equilibrium-Line Altitude Variability Across the European Alps (1901–2100). *Climate Dynamics* 56:1183–1201. doi.10.1007/s00382-020-05525-7
- Zeder J, Fischer EM (2020) Observed Extreme Precipitation Trends and Scaling in Central Europe. *Weather and Climate Extremes* 29:100266. doi.10.1016/j.wace.2020.100266

- Zolina O, Simmer C, Gulev SK, Kollet S (2010) Changing Structure of European Precipitation: Longer Wet Periods Leading to More Abundant Rainfalls. *Geophysical Research Letters* 37:L06704. doi.10.1029/2010GL042468
- Zscheischler J, Westra S, Van Den Hurk BJJM, Seneviratne SI, Ward PJ, Pitman A, Aghakouchak A, Bresch DN, Leonard M, Wahl T, Zhang X (2018) Future Climate Risk from Compound Events. *Nature Climate Change* 8(6):469–477. doi.10.1038/s41558-018-0156-3
- Zhang P, Ren G, Xu Y, Wang XL, Qin Y, Sun X, Ren Y (2019) Observed Changes in Extreme Temperature over the Global Land Based on a Newly Developed Station Daily Dataset. *Journal of Climate* 32(24):8489–8509. doi.10.1175/JCLI-D-18-0733.1
- Zhang R, Sun C, Zhu J, Zhang R, Li W (2020) Increased European Heat Waves in Recent Decades in Response to Shrinking Arctic Sea Ice and Eurasian Snow Cover. *npj Climate and Atmospheric Science* 3:7. doi.10.1038/s41612-020-0110-8
- Zhang X, Wan H, Zwiers FW, Hegerl GC, Min S-K (2013) Attributing Intensification of Precipitation Extremes to Human Influence. *Geophysical Research Letters* 40(19):5252–5257. doi.10.1002/grl.51010
- Zhang X, Cong Z (2014) Trends of Precipitation Intensity and Frequency in Hydrological Regions of China from 1956 to 2005. *Global and Planetary Change* 117:40–51. doi.10.1016/j.gloplacha.2014.03.002
- Zhao Y, Qian C, Zhang W, He D, Qi Y (2021) Extreme Temperature Indices in Eurasia in a CMIP6 Multi-Model Ensemble: Evaluation and Projection. *International Journal of Climatology* 41(11):5368–5385. doi.10.1002/joc.7134
- Zhou B, Wen QH, Xu Y, Song L, Zhang X (2014) Projected Changes in Temperature and Precipitation Extremes in China by the CMIP5 Multimodel Ensembles. *Journal of Climate* 27(17):6591–6611. doi.10.1175/JCLI-D-13-00761.1
- Zhu Z, Piao S, Myneni RB, Huang M, Zeng Z, Canadell JG, Ciais P, Sitch S, Friedlingstein P, Arneeth A, Cao C, Cheng L, Kato E, Koven C, Li Y, Lian X, Liu Y, Liu R, Mao J, Pan Y, Peng S, Peñuelas J, Poulter B, Pugh TAM, Stocker BD, Viovy N, Wang X, Wang Y, Xiao Z, Yang H, Zaehle S, Zeng N (2016) Greening of the Earth and Its Drivers. *Nature Climate Change* 6(8):791–795. doi.10.1038/nclimate3004
- Ibanez I, Primack RB, Miller-Rushing AJ, Ellwood E, Higuchi H, Lee SD, Kobori H, Silander JA (2010) Forecasting Phenology Under Global Warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1555):3247–3260. doi.10.1098/rstb.2010.0120
- Idso CD (2012) The State of Earth's Terrestrial Biosphere: How is It Responding to Rising Atmospheric CO₂ and Warmer Temperatures? Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change. Доступно на: <http://www.co2-science.org/education/reports/greening/TheStateofEarthsTerrestrialBiosphere.pdf>., Приступљено: 16. новембар 2016

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1535
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp 151
- Ionita M, Tallaksen LM, Kingston DG, Stagge JH, Laaha G, Van Lanen HAJ, Scholz P, Chelcea SM, Haslinger K (2017) The European 2015 Drought from a Climatological Perspective. *Hydrology and Earth System Sciences* 21:1397–1419. doi.10.5194/hess-21-1397-2017
- Javadinejad S, Eslamian S, Ostad-Ali-Askari K (2019) Investigation of Monthly and Seasonal Changes of Methane Gas with Respect to Climate Change Using Satellite Data. *Applied Water Science* 9(8):180. doi.10.1007/s13201-019-1067-9
- Jeong SJ, Ho CH, Gim HJ, Brown ME (2011) Phenology Shifts at Start vs. End of Growing Season in Temperate Vegetation over the Northern Hemisphere for the Period 1982–2008. *Global Change Biology* 17(7):2385–2399. doi.10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x
- Ji Y, Zhou G, Luo T, Dan Y, Zhou L, Lv X (2020) Variation of Net Primary Productivity and Its Drivers in China's Forests During 2000–2018. *Forest Ecosystems* 7(1):15. doi.10.1186/s40663-020-00229-0
- Jones GS, Stott PA, Mitchell JFB (2016) Uncertainties in the Attribution of Greenhouse Gas Warming and Implications for Climate Prediction. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121(12):6969–6992. doi.10.1002/2015JD024337
- Juknys R, Kanapickas A, Šveikauskaitė I, Sujetovienė G (2016) Response of Deciduous Trees Spring Phenology to Recent and Projected Climate Change in Central Lithuania. *International Journal of Biometeorology* 60(10):1589–1602. doi.10.1007/s00484-016-1149-4
- Kappelle M, Van Vuuren MMI, Baas P (1999) Effects of Climate Change on Biodiversity: A Review and Identification of Key Research Issues. *Biodiversity and Conservation* 8(10):1383–1397. doi.10.1023/A:1008934324223
- Karmalkar AV, Bradley RS (2017) Consequences of Global Warming of 1.5°C and 2°C for Regional Temperature and Precipitation Changes in the Contiguous United States. *PLoS ONE* 12(1):e0168697. doi.10.1371/journal.pone.0168697
- Keenan TF, Hollinger DY, Bohrer G, Dragoni D, Munger JW, Schmid HP, Richardson AD (2013) Increase in Forest Water-Use Efficiency as Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations Rise. *Nature* 499(7458):324–327. doi.10.1038/nature12291

- Keenan TF, Riley WJ (2018) Greening of the Land Surface in the World's Cold Regions Consistent with Recent Warming. *Nature Climate Change* 8(9):825–828. doi.10.1038/s41558-018-0258-y
- Keenan TF, Williams CA (2018) The Terrestrial Carbon Sink. *Annual Review of Environment and Resources* 43:219–243. doi.10.1146/annurev-environ-102017-030204
- Kelly AE, Goulden ML (2008) Rapid Shifts in Plant Distribution with Recent Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(33):11823–11826. doi.10.1073/pnas.0802891105
- Kim I-W, Oh J, Woo S, Kripalani RH (2019) Evaluation of Precipitation Extremes over the Asian Domain: Observation and Modelling Studies. *Climate Dynamics* 52:1317–1342. doi.10.1007/s00382-018-4193-4
- Kim WM, Raible CC (2021) Dynamics of the Mediterranean Droughts from 850 to 2099 CE in the Community Earth System Model. *Climate of the Past* 17(2):887–911. doi.10.5194/cp-17-887-2021
- Kioutsoukis I, Melas D, Zerefos C (2010) Statistical Assessment of Changes in Climate Extremes over Greece (1955–2002) *International Journal of Climatology* 30(11):1723–1737. doi.10.1002/joc.2030
- Klein Tank AMG, Können GP (2003) Trends Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate* 16(22):3665–3680. doi.10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIODT>2.0.CO;2
- Koh LP, Dunn RR, Sodhi NS, Colwell RK, Proctor HC, Smith VS (2004) Species Coextinctions and the Biodiversity Crisis. *Science* 305(5690):1632–1634. doi.10.1126/science.1101101
- Kolářová E, Nekovář J, Adamík P (2014) Long-Term Temporal Changes in Central European Tree Phenology (1946–2010) Confirm the Recent Extension of Growing Seasons. *International Journal of Biometeorology* 58:1739–1748. doi.10.1007/s00484-013-0779-z
- Krauskopf T, Huth R (2020) Temperature Trends in Europe: Comparison of Different Data Sources. *Theoretical and Applied Climatology* 139:1305–1316. doi.10.1007/s00704-019-03038-w
- Kruger AC, Nxumalo M (2017) Surface Temperature Trends from Homogenized Time Series in South Africa: 1931–2015. *International Journal of Climatology* 37(5):2364–2377. doi.10.1002/joc.4851
- Kudo G, Nishikawa Y, Kasagi T, Kosuge S (2004) Does Seed Production of Spring Ephemerals Decrease When Spring Comes Early? *Ecological Research* 19(2):255–259. doi.10.1111/j.1440-1703.2003.00630.x
- Kullman L (2010) One Century of Treeline Change and Stability – Experiences from the Swedish Scandes. *Landscape Online* 17:1–31. doi.10.3097/LO.2010-17
- Kuussaari M, Bommarco R, Heikkinen RK, Helm A, Krauss J, Lindborg R, Öckinger E, Pärtel M, Pino J, Rodà F, Stefanescu C, Teder T, Zobel M, Steffan-Dewenter I (2009) Extinction Debt: A Challenge for Biodiversity Conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 24(10):564–571. doi.10.1016/j.tree.2009.04.011

- Kharouba HM, Ehrlén J, Gelmand A, Bolmgren K, Allen JM, Travers SE, Wolkovich EM (2018) Global Shifts in the Phenological Synchrony of Species Interactions over Recent Decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(20):5211–5216. doi.10.1073/pnas.1714511115
- Kwiatkowski L, Torres O, Bopp L, Aumont O, Chamberlain M, Christian JR, Dunne JP, Gehlen M, Ilyina T, John JG, Lenton A, Li H, Lovenduski N, Orr JC, Palmieri J, Santana-Falcón Y, Schwinger J, Séférian R, Stock C, Tagliabue A, Takano Y, Tjiputra J, Toyama K, Tsujino H, Watanabe M, Yamamoto A, Yool A, Ziehn T (2020) Twenty-First Century Ocean Warming, Acidification, Deoxygenation, and Upper-Ocean Nutrient and Primary Production Decline from CMIP6 Model Projections. *Biogeosciences* 17:3439–3470. doi.10.5194/bg-17-3439-2020
- Lakatos M, Bihari Z, Szentimrey T, Spinoni J, Szalai S (2016) Analyses of Temperature Extremes in the Carpathian Region in the Period 1961–2010. *Időjárás* 120(1):41–51
- Lamprecht A, Semenchuk PR, Steinbauer K, Winkler M, Pauli H (2018) Climate Change Leads to Accelerated Transformation of High-Elevation Vegetation in the Central Alps. *New Phytologist* 220:447–459. doi.10.1111/nph.15290
- Lapenis A, Henry H, Vuille M, Mower J (2014) Climatic Factors Controlling Plant Sensitivity to Warming. *Climatic Change* 122:723–734. doi.10.1007/s10584-013-1010-2
- Le Quéré C, Raupach MR, Canadell JG, Marland G, Bopp L, Ciais P, Conway TJ, Doney SC, Feely RA, Foster P, Friedlingstein P, Gurney K, Houghton RA, House JI, Huntingford C, Levy PE, Lomas MR, Majkut J, Metzl N, Ometto JP, Peters GP, Prentice IC, Randerson JT, Running SW, Sarmiento JL, Schuster U, Sitch S, Takahashi T, Viovy N, van der Werf GR, Woodward FI (2009) Trends in the Sources and Sinks of Carbon Dioxide. *Nature Geoscience* 2(12):831–836. doi.10.1038/ngeo689
- Le Quéré C, Jackson RB, Jones MW, Smith AJP, Abernethy S, Andrew RM, De-Gol AJ, Willis DR, Shan Y, Canadell JG, Friedlingstein P, Creutzig F, Peters GP (2020) Temporary Reduction in Daily Global CO₂ Emissions During the COVID-19 Forced Confinement. *Nature Climate Change* 10(7):647–653. doi.10.1038/s41558-020-0797-x
- Leakey ADB, Ainsworth EA, Bernacchi CJ, Rogers A, Long SP, Ort DR (2009) Elevated CO₂ Effects on Plant Carbon, Nitrogen, and Water Relations: Six Important Lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany* 60(10):2859–2876. doi.10.1093/jxb/erp096
- Lévesque M, Saurer M, Siegwolf R, Eilmann B, Brang P, Bugmann H, Rigling A (2013) Drought Response of Five Conifer Species Under Contrasting Water Availability Suggests High Vulnerability of Norway Spruce and European Larch. *Global Change Biology* 19(10):3184–3199. doi.10.1111/gcb.12268
- Lenoir J, Gégout JC, Marquet PA, de Ruffray P, Brisse H (2008) A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science* 320(5884):1768–1771. doi.10.1126/science.1156831

- Leonelli G, Pelfini M, Morra di Cella U, Garavaglia V (2011) Climate Warming and the Recent Treeline Shift in the European Alps: The Role of Geomorphological Factors in High-Altitude Sites. *Ambio* 40(3):264–273. doi.10.1007/s13280-010-0096-2
- Leuenberger M, Siegenthaler U (1992) Ice-Age Atmospheric Concentration of Nitrous Oxide from an Antarctic Ice Core. *Nature* 360(6403):449–451. doi.10.1038/360449a0
- Li C, Fang Y, Caldeira K, Zhang X, Diffenbaugh NS, Michalak AM (2018) Widespread Persistent Changes to Temperature Extremes Occurred Earlier Than Predicted. *Scientific Reports* 8:1007. doi.10.1038/s41598-018-19288-z
- Li C, Zwiers F, Zhang X, Li G, Sun Y, Wehner M (2021) Changes in Annual Extremes of Daily Temperature and Precipitation in CMIP6 Models. *Journal of Climate* 34(9):3441–3460. doi.10.1175/JCLI-D-19-1013.1
- Li P, Peng C, Zhang J, Wang M, Zhang J, Ding J, Zhou X, Zhu Q (2020) Change in Autumn Vegetation Phenology and the Climate Controls from 1982 to 2012 on the Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Plant Science* 10:1677. doi.10.3389/fpls.2019.01677
- Li Q, Sun W, Huang B, Dong W, Wang X, Zhai P, Jones P (2020) Consistency of Global Warming Trends Strengthened Since 1880s. *Science Bulletin* 65(20):1685–1774. doi.10.1016/j.scib.2020.06.009
- Liberato MLR, Montero I, Gouveia C, Russo A, Ramos AM, Trigo RM (2021) Rankings of Extreme and Widespread Dry and Wet Events in the Iberian Peninsula Between 1901 and 2016. *Earth System Dynamics* 12:197–210. doi.10.5194/esd-12-197-2021
- Liu L, Zhang X (2020) Effects of Temperature Variability and Extremes on Spring Phenology Across the Contiguous United States from 1982 to 2016. *Scientific Reports* 10:17952. doi.10.1038/s41598
- Liu Q, Piao S, Janssens IA, Fu Y, Peng S, Lian X, Ciais P, Myneni RB, Peñuelas J, Wang T (2018) Extension of the Growing Season Increases Vegetation Exposure to Frost. *Nature Communications* 9:426. doi.10.1038/s41467-017-02690-y
- Liu YY, van Dijk AIJM, de Jeu RAM, Canadell JG, McCabe MF, Evans JP, Wang G (2015) Recent Reversal in Loss of Global Terrestrial Biomass. *Nature Climate Change* 5(5):470–474. doi.10.1038/nclimate2581
- Loeb NG, Johnson GC, Thorsen TJ, Lyman JM, Rose FG, Kato S (2021) Satellite and Ocean Data Reveal Marked Increase in Earth's Heating Rate. *Geophysical Research Letters* 48(13):e2021GL093047. doi.10.1029/2021GL093047
- Lorenz R, Stalhandske Z, Fischer EM (2019) Detection of a Climate Change Signal in Extreme Heat, Heat Stress, and Cold in Europe from Observations. *Geophysical Research Letters* 46(14):8363–8374. doi.10.1029/2019GL082062
- Łupikasza EB (2017) Seasonal Patterns and Consistency of Extreme Precipitation Trends in Europe, December 1950 to February 2008. *Climate Research* 72(3):217–237. doi.10.3354/cr01467

- Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (2004) European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500. *Science* 303(5663):1499–1503. doi.10.1126/science.1093877
- Luterbacher J, Werner JP, Smerdon JE, Fernández-Donado L, González-Rouco FJ, Barriopedro D, Ljungqvist FC, Büntgen U, Zorita E, Wagner S, Esper J, McCarroll D, Toreti A, Frank D, Jungclaus JH, Barriendos M, Bertolin C, Bothe O, Brázdil R, Camuffo D, Dobrovolný P, Gagen M, García-Bustamante E, Ge Q, Gómez-Navarro JJ, Guiot J, Hao Z, Hegerl GC, Holmgren K, Klimentko VV, Martín-Chivelet J, Pfister C, Roberts N, Schindler A, Schurer A, Solomina O, von Gunten L, Wahl E, Wanner H, Wetter O, Xoplaki E, Yuan N, Zanchettin D, Zhang H, Zerefos C (2016) European Summer Temperatures Since Roman Times. *Environmental Research Letters* 11(2):024001. doi.10.1088/1748-9326/11/2/024001
- Ma Q, Huang JG, Hänninen H, Berninger F (2019) Divergent Trends in the Risk of Spring Frost Damage to Trees in Europe with Recent Warming. *Global Change Biology* 25(1):351–360. doi.10.1111/gcb.14479
- MacDonald GM, Kremenetski KV, Beilman DW (2008) Climate Change and the Northern Russian Treeline Zone. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:2285–2299. doi.10.1098/rstb.2007.2200
- Maibach E, Myers T, Leiserowitz A (2014) Climate Scientists Need to Set the Record Straight: There is a Scientific Consensus That Human-Caused Climate Change is Happening. *Earth's Future* 2(5):295–298. doi.10.1002/2013EF000226
- Malhi Y, Franklin J, Seddon N, Solan M, Turner MG, Field CB, Knowlton N (2020) Climate Change and Ecosystems: Threats, Opportunities and Solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375:20190104. doi.10.1098/rstb.2019.0104
- Malinovic-Milicevic S, Radovanovic MM, Stanojevic G, Milovanovic B (2016) Recent Changes in Serbian Climate Extreme Indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology* 124(3):1089–1098. doi.10.1007/s00704-015-1491-1
- Mann ME, Rahmstorf S, Steinman BA, Miller SK (2016) The Likelihood of Recent Record Warmth. *Nature Scientific Reports* 6:19831. doi.10.1038/srep19831
- Mann ME, Miller SK, Rahmstorf S, Steinman BA, Tingley M (2017) Record Temperature Streak Bears Anthropogenic Fingerprint. *Geophysical Research Letters* 44(15):7936–7944. doi.10.1002/2017GL074056
- Mao J, Ribes A, Yan B, Shi X, Thornton PE, Séférian R, Ciais P, Myneni RB, Douville H, Piao S, Zhu Z, Dickinson RE, Dai Y, Ricciuto DM, Jin M, Hoffman FM, Wang B, Huang M, Lian X (2016) Human-Induced Greening of the Northern Extratropical Land Surface. *Nature Climate Change* 6(10):959–963. doi.10.1038/nclimate3056
- Mathbout S, Lopez-Bustins JA, Royé D, Martin-Vide J, Bech J, Rodrigo FS (2018) Observed Changes in Daily Precipitation Extremes at Annual Timescale over the Eastern Mediterranean During 1961–2012. *Pure and Applied Geophysics* 175:3875–3890. doi.10.1007/s00024-017-1695-7

- Meehl GA, Tebaldi C, Adams-Smith D (2016) US Daily Temperature Records Past, Present, and Future. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(49):13977–13982. doi.10.1073/pnas.1606117113
- Meinshausen M, Vogel E, Nauels A, Lorbacher K, Meinshausen N, Etheridge DM, Fraser PJ, Montzka SA, Rayner PJ, Trudinger CM, Krummel PB, Beyerle U, Canadell JG, Daniel JS, Enting IG, Law RM, Lunder CR, O’Doherty S, Prinn RG, Reimann S, Rubino M, Velders GJM, Vollmer MK, Wang RHJ, Weiss R (2017) Historical Greenhouse Gas Concentrations for Climate Modelling (CMIP6). *Geoscientific Model Development* 10(5):2057–2116. doi.10.5194/gmd-10-2057-2017
- Meinshausen M, Nicholls ZRJ, Lewis J, Gidden MJ, Vogel E, Freund M, Beyerle U, Gessner C, Nauels A, Bauer N, Canadell JG, Daniel JS, John A, Krummel PB, Luderer G, Meinshausen N, Montzka SA, Rayner PJ, Reimann S, Smith SJ, van den Berg M, Velders GJM, Vollmer MK, Wang RHJ (2020) The Shared Socio-Economic Pathway (SSP) Greenhouse Gas Concentrations and Their Extensions to 2500. *Geoscientific Model Development* 13(8):3571–3605. doi.10.5194/gmd-13-3571-2020
- Meng L, Mao J, Zhou Y, Richardson AD, Lee X, Thornton PE, Ricciuto DM, Li X, Dai Y, Shi X, Jia G (2020) Urban Warming Advances Spring Phenology but Reduces the Response of Phenology to Temperature in the Conterminous United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117(8):4228–4233. doi.10.1073/pnas.1911117117
- Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatczak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remišová V, Scheifinger H, Striz M, Susnik A, Van Vliet AJH, Wielgolaski F-E, Zach S, Züst A (2006) European Phenological Response to Climate Change Matches the Warming Pattern. *Global Change Biology* 12(10):1969–1976. doi.10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
- Menzel A, Yuan Y, Matiu M, Sparks T, Scheifinger H, Gehrig R, Estrella N (2020) Climate Change Fingerprints in Recent European Plant Phenology. *Global Change Biology* 26(4):2599–2612. doi.10.1111/gcb.15000
- Milošević DD, Savić SM, Stankov U, Žiberna I, Pantelić MM, Dolinaj D, Leščešen I (2017) Maximum Temperatures over Slovenia and Their Relationship with Atmospheric Circulation Patterns. *Geografie* 122(1):1–20. doi.10.37040/geografie2017122010001
- Min SK, Zhang X, Zwiers F, Hegerl GC (2011) Human Contribution to More-Intense Precipitation Extremes. *Nature* 470(7334):378–381. doi.10.1038/nature09763
- McDowell NG, Allen CD, Anderson-Teixeira K, Aukema BH, Bond-Lamberty B, Chini L, Clark JS, Dietze M, Grossiord C, Hanbury-Brown A, Hurtt GC, Jackson RB, Johnson DJ, Kueppers L, Lichstein JW, Ogle K, Poulter B, Pugh TAM, Seidl R, Turner MG, Uriarte M, Walker AP, Xu C (2020) Pervasive Shifts in Forest

- Dynamics in a Changing World. *Science* 368(6494):eaaz9463. doi.10.1126/science.aaz9463
- McKinnon KA, Rhines A, Tingley MP, Huybers P (2016) The Changing Shape of Northern Hemisphere Summer Temperature Distributions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121(15):8849–8868. doi.10.1002/2016JD025292
- Naeem S, Duffy JE, Zavaleta E (2012) The Functions of Biological Diversity in an Age of Extinction. *Science* 336(6087):1401–1406. doi.10.1126/science.1215855
- New M, Hewitson B, Stephenson DB, Tsiga A, Kruger A, Manhique A, Gomez B, Coelho CAS, Masisi DN, Kululanga E, Mbambalala E, Adesina F, Saleh H, Kanyanga J, Adosi J, Bulane L, Fortunata L, Mdoka ML, Lajoie R (2006) Evidence of Trends in Daily Climate Extremes over Southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research* 111:D14102. doi.10.1029/2005JD006289
- Nisbet EG, Manning MR, Dlugokencky EJ, Fisher RE, Lowry D, Michel SE, Lund Myhre C, Platt SM, Allen G, Bousquet P, Brownlow R, Cain M, France JL, Hermansen O, Hossaini R, Jones AE, Levin I, Manning AC, Myhre G, Pyle JA, Vaughn BH, Warwick NJ, White JWC (2019) Very Strong Atmospheric Methane Growth in the 4 Years 2014–2017: Implications for the Paris Agreement. *Global Biogeochemical Cycles* 33(3):318–342. doi.10.1029/2018GB006009
- Niskanen AKJ, Niittynen P, Aalto J, Väre H, Luoto M (2019) Lost at High Latitudes: Arctic and Endemic Plants Under Threat as Climate Warms. *Diversity and Distributions* 25(5):809–821. doi.10.1111/ddi.12889
- NOAA National Centers for Environmental Information (2021) State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020. Доступно на: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>, Приступљено: 28. фебруар 2022
- Paik S, Min S-K, Zhang X, Donat MG, King AD, Sun Q (2020) Determining the Anthropogenic Greenhouse Gas Contribution to the Observed Intensification of Extreme Precipitation. *Geophysical Research Letters* 47(12):e2019GL086875. doi.10.1029/2019GL086875
- Pan S, Pan N, Tian H, Friedlingstein P, Sitch S, Shi H, Arora VK, Haverd V, Jain AK, Kato E, Lienert S, Lombardozzi D, Nabel JEMS, Ottlé C, Poulter B, Zaehle S, Running SW (2020) Evaluation of Global Terrestrial Evapotranspiration Using State-Of-The-Art Approaches in Remote Sensing, Machine Learning and Land Surface Modeling. *Hydrology and Earth System Sciences* 24:1485–1509. doi.10.5194/hess-24-1485-2020
- Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Pacala SW, David McGuire A, Piao S, Rautiainen A, Sitch S, Hayes D (2011) A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science* 333(6045):988–993. doi.10.1126/science.1201609
- Park IW, Ramirez-Parada T, Mazer SJ (2021) Advancing Frost Dates Have Reduced Frost Risk Among Most North American Angiosperms Since 1980. *Global Change Biology* 27(1):165–176. doi.10.1111/gcb.15380

- Parmesan C, Yohe G (2003) A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts Across Natural Systems. *Nature* 421(6918):37–42. doi.10.1038/nature01286
- Parmesan C (2007) Influences of Species, Latitudes and Methodologies on Estimates of Phenological Response to Global Warming. *Global Change Biology* 13(9):1860–1872. doi.10.1111/j.1365-2486.2007.01404.x
- Parmesan C, Hanley ME (2015) Plants and Climate Change: Complexities and Surprises. *Annals of Botany* 116(6):849–864. doi.10.1093/aob/mcv169
- Pauli H, Gottfried M, Dullinger S, Abdaladze O, Akhalkatsi M, Luis Benito Alonso J, Coldea G, Dick J, Erschbamer B, Fernández Calzado R, Ghosn D, Holten JI, Kanka R, Kazakis G, Kollár J, Larsson P, Moiseev P, Moiseev D, Molau U, Molero Mesa J, Nagy L, Pelino G, Puşcaş M, Rossi G, Stanisci A, Syverhuset AO, Theurillat J-P, Tomaselli M, Unterluggauer P, Villar L, Vittoz P, Grabherr G (2012) Recent Plant Diversity Changes on Europe’s Mountain Summits. *Science* 336(6079):353–355. doi.10.1126/science.1219033
- Pearson KD (2019) Spring- and Fall-Flowering Species Show Diverging Phenological Responses to Climate in the Southeast USA. *International Journal of Biometeorology* 63:481–492. doi.10.1007/s00484-019-01679-0
- Peña-Angulo D, Reig-Gracia F, Domínguez-Castro F, Revuelto J, Aguilar E, van der Schrier G, Vicente-Serrano SM (2020) ECTACI: European Climatology and Trend Atlas of Climate Indices (1979–2017). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125(16):e2020JD032798. doi.10.1029/2020JD032798
- Peña-Ortiz C, Barriopedro D, García-Herrera R (2015) Multidecadal Variability of the Summer Length in Europe. *Journal of Climate* 28(13):5375–5388. doi.10.1175/JCLI-D-14-00429.1
- Penuelas J, Fernández-Martínez M, Vallicrosa H, Maspons J, Zuccarini P, Carnicer J, Sanders TGM, Krüger I, Obersteiner M, Janssens IA, Ciais P, Sardans J (2020) Increasing Atmospheric CO₂ Concentrations Correlate with Declining Nutritional Status of European Forests. *Communications Biology* 3:125. doi.10.1038/s42003-020-0839-y
- Perkins-Kirkpatrick SE, Lewis SC (2020) Increasing Trends in Regional Heatwaves. *Nature Communications* 11(1):3357. doi.10.1038/s41467-020-16970-7
- Piao S, Liu Q, Chen A, Janssens IA, Fu Y, Dai J, Liu L, Lian X, Shen M, Zhu X (2019) Plant Phenology and Global Climate Change: Current Progresses and Challenges. *Global Change Biology* 25(6):1922–1940. doi.10.1111/gcb.14619
- Pimm SL, Jenkins CN, Abell R, Brooks TM, Gittleman JL, Joppa LN, Raven PH, Roberts CM, Sexton JO (2014) The Biodiversity of Species and Their Rates of Extinction, Distribution, and Protection. *Science* 344(6187):1246752. doi.10.1126/science.1246752
- Pokorná L, Kučerová M, Huth R (2018) Annual Cycle of Temperature Trends in Europe, 1961–2000. *Global and Planetary Change* 170:146–162. doi.10.1016/j.gloplacha.2018.08.015

- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017a) Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina: A Case Study of Mostar. Гласник/Herald 21:107–132. doi.10.7251/HER2117107P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017b) Trends in Frost Days in Bosnia and Herzegovina. Bulletin of the Serbian Geographical Society 97(1):35–55. doi.10.2298/GSGD1701035P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2017в) Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in Bosnia and Herzegovina. Collection of Papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade 65(1):5–24. doi.10.5937/zrgfub1765005P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Analysis of Changes in Extreme Climate Indices in Mostar. Гласник/Herald 22:79–102. doi.10.7251/HER2218079P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018б) Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. Időjárás 122(4):433–452. doi.10.28974/idojaras.2018.4.5
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018в) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-Based Index Analysis. Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018r) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Popov T, Delić D (2019) Recent Climate Change in the Semberija Region – Impact on Agricultural Production. Гласник/Herald 23:35–58. doi.10.7251/HER1923035P
- Popov T, Gnjato S, Vajić D, Trbić G (2019a) Spatial Patterns of Precipitation in Bosnia and Herzegovina. Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA 69(3):185–195. doi.10.2298/IJGI1903185P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019б) Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. Geografie 124(1):19–40. doi.10.37040/geografie2019124010019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019в) Changes in Precipitation over the East Herzegovina Region. Bulletin of the Serbian Geographical Society 99(1):29–44. doi.10.2298/GSGD1901029P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019r) Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change, pp 213–228. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_15
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019д) Extreme Temperature and Precipitation Months in the East Herzegovina Region. Гласник/Herald 23:73–94. doi.10.7251/HER1923073P

- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2019) Analysis of Extreme Precipitation Indices in the East Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 69(1):1–16. doi.10.2298/IJGI1901001P
- Попов Т (2020) Утицај савремених климатских промјена на фитогеографска обиљежја Републике Српске. *Географско друштво Републике Српске, Бања Лука*, стр 291
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2021) Changes in Air Temperature over the East Herzegovina in the 1961–2016 Periods. *Гласник/Herald* 25:1–24. doi.10.7251/HER2125001P
- Pörtner HO, Scholes RJ, Agard J, Archer E, Arneeth A, Bai X, Barnes D, Burrows M, Chan L, Cheung WL, Diamond S, Donatti C, Duarte C, Eisenhauer N, Foden W, Gasalla MA, Handa C, Hickler T, Hoegh-Guldberg O, Ichii K, Jacob U, Insarov G, Kiessling W, Leadley P, Leemans R, Levin L, Lim M, Maharaj S, Managi S, Marquet PA, McElwee P, Midgley G, Oberdorff T, Obura D, Osman E, Pandit R, Pascual U, Pires APF, Popp A, Reyes-García V, Sankaran M, Settele J, Shin YJ, Sintayehu DW, Smith P, Steiner N, Strassburg B, Sukumar R, Trisos C, Val AL, Wu J, Aldrian E, Parmesan C, Pichs-Madruga R, Roberts DC, Rogers AD, Díaz S, Fischer M, Hashimoto S, Lavorel S, Wu N, Ngo HT (2021) Scientific Outcome of the IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change. *IPBES Secretariat, Bonn*, pp 230
- Pretzsch H, Biber P, Schütze G, Uhl E, Rötzer T (2014) Forest Stand Growth Dynamics in Central Europe Have Accelerated Since 1870. *Nature Communications* 5(1):4967. doi.10.1038/ncomms5967
- Pretzsch H, Biber P, Schütze G, Kemmerer J, Uhl E (2018) Wood Density Reduced While Wood Volume Growth Accelerated in Central European Forests Since 1870. *Forest Ecology and Management* 429:589–616. doi.10.1016/j.foreco.2018.07.045
- Qian G, Li Q, Li C, Li H, Wang XL, Dong W, Jones P (2021) A Novel Statistical Decomposition of the Historical Change in Global Mean Surface Temperature. *Environmental Research Letters* 16(5):054057. doi.10.1088/1748-9326/abea34
- Radić V, Bliss A, Beedlow AC, Hock R, Miles E, Cogley JG (2014) Regional and Global Projections of Twenty-First Century Glacier Mass Changes in Response to Climate Scenarios from Global Climate Models. *Climate Dynamics* 42:37–58. doi.10.1007/s00382-013-1719-7
- Rajczak J, Schär C (2017) Projections of Future Precipitation Extremes over Europe: A Multimodel Assessment of Climate Simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 122(20):10773–10800. doi.10.1002/2017JD027176
- Raymond C, Horton RM, Zscheischler J, Martius O, AghaKouchak A, Balch J, Bowen SG, Camargo SJ, Hess J, Kornhuber K, Oppenheimer M, Ruane AC, Wahl T, White K (2020) Understanding and Managing Connected Extreme Events. *Nature Climate Change* 10(7):611–621. doi.10.1038/s41558-020-0790-4

- Raymond F, Ullmann A, Trambly Y, Drobinski P, Camberlin P (2019) Evolution of Mediterranean Extreme Dry Spells During the Wet Season Under Climate Change. *Regional Environmental Change* 19(8):2339–2351. doi.10.1007/s10113-019-01526-3
- Reay DS, Davidson EA, Smith KA, Smith P, Melillo JM, Dentener F, Crutzen PJ (2012) Global Agriculture and Nitrous Oxide Emissions. *Nature Climate Change* 2:410–416. doi.10.1038/nclimate1458
- Reid H (2006) Climate Change and Biodiversity in Europe. *Conservation and Society* 4(1):84–101
- Renner SS, Zohner CM (2018) Climate Change and Phenological Mismatch in Trophic Interactions Among Plants, Insects, and Vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 49(1):165–182. doi.10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535
- Rehnus M, Peláez M, Bollmann K (2020) Advancing Plant Phenology Causes an Increasing Trophic Mismatch in an Income Breeder Across a Wide Elevational Range. *Ecosphere* 11(6):e03144. doi.10.1002/ecs2.3144
- Reyer C, Lasch-Born P, Suckow F, Gutsch M, Murawski A, Pilz T (2013) Projections of Regional Changes in Forest Net Primary Productivity for Different Tree Species in Europe Driven by Climate Change and Carbon Dioxide. *Annals of Forest Science* 71(2):211–225. doi.10.1007/s13595-013-0306-8
- Ribes A, Zwiers FW, Azaïs J-M, Naveau P (2017) A New Statistical Approach to Climate Change Detection and Attribution. *Climate Dynamics* 48:367–386. doi.10.1007/s00382-016-3079-6
- Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M (2013) Climate Change, Phenology, and Phenological Control of Vegetation Feedbacks to the Climate System. *Agricultural and Forest Meteorology* 169:156–173. doi.10.1016/j.agrformet.2012.09.012
- Richardson AD, Hufkens K, Milliman T, Aubrecht DM, Furze ME, Seyednasrollah B, Krassovski MB, Latimer JM, Nettles WR, Heiderman RR, Warren JM, Hanson PJ (2018) Ecosystem Warming Extends Vegetation Activity but Heightens Vulnerability to Cold Temperatures. *Nature* 560(7718):368–371. doi.10.1038/s41586-018-0399-1
- Roberts CM, O’Leary BC, Hawkins JP (2020) Climate Change Mitigation and Nature Conservation Both Require Higher Protected Area Targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375(1794):20190121. doi.10.1098/rstb.2019.0121
- Román-Palacios C, Wiens JJ (2020) Recent Responses to Climate Change Reveal the Drivers of Species Extinction and Survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117(8):4211–4217. doi.10.1073/pnas.1913007117
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA (2003) Fingerprints of Global Warming on Wild Animals and Plants. *Nature* 421(6918):57–60. doi.10.1038/nature01333

- Rosenzweig C, Casassa G, Karoly DJ, Imeson A, Liu C, Menzel A, Rawlins S, Root TL, Seguin B, Tryjanowski P (2007) Assessment of Observed Changes and Responses in Natural and Managed Systems. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 79–131. Cambridge University Press
- Rubel F, Kottek M (2010) Observed and Projected Climate Shifts 1901–2100 Depicted by World Maps of the Köppen–Geiger Climate Classification. *Meteorologische Zeitschrift* 19(2):135–141. doi.10.1127/0941-2948/-2010/0430
- Ruml M, Gregorić E, Vujadinović M, Radovanović S, Matović G, Vuković A, Počuča V, Stojičić DJ (2017) Observed Changes of Temperature Extremes in Serbia over the Period 1961–2010. *Atmospheric Research* 183:26–41. doi.10.1016/j.atmosres.2016.08.013
- Russo S, Dosio A, Graversen RG, Sillmann J, Carrao H, Dunbar MB, Singleton A, Montagna P, Barbola P, Vogt JV (2014) Magnitude of Extreme Heat Waves in Present Climate and Their Projection in a Warming World. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119(22):12500–12512. doi.10.1002/2014JD022098
- Russo S, Sillmann J, Fischer EM (2015) Top Ten European Heat Waves Since 1950 and Their Occurrence in the Coming Decades. *Environmental Research Letters* 10(12):124003. doi.10.1088/1748-9326/10/12/124003
- Ruffault J, Curt T, Moron V, Trigo RM, Mouillot F, Koutsias N, Pimont F, Martin-StPaul N, Barbero R, Dupuy J-L, Russo A, Belhadj-Khedher C (2020) Increased Likelihood of Heat-Induced Large Wildfires in the Mediterranean Basin. *Scientific Reports* 10:13790. doi.10.1038/s41598-020-70069-z
- Samaniego L, Thober S, Kumar R, Wanders N, Rakovec O, Pan M, Zink M, Sheffield J, Wood EF, Marx A (2018) Anthropogenic Warming Exacerbates European Soil Moisture Droughts. *Nature Climate Change* 8(5):421–426. doi.10.1038/s41558-018-0138-5
- Sang W, Wang Y, Su H, Lu Z (2007) Response of Tree-Ring Width to Rainfall Gradient Along the Tianshan Mountains of Northwestern China. *Chinese Science Bulletin* 52(21):2954–2962. doi.10.1007/s11434-007-0443-2
- Saurer M, Spahni R, Frank DC, Joos F, Leuenberger M, Loader NJ, McCarroll D, Gagen M, Poulter B, Siegwolf RTW, Andreu-Hayles L, Boettger T, Dorado Liñán I, Fairchild IJ, Friedrich M, Gutierrez E, Haupt M, Hiltunen E, Heinrich I, Helle G, Grudd H, Jalkanen R, Levanič T, Linderholm HW, Robertson I, Sonninen E, Treydte K, Waterhouse JS, Woodley EJ, Wynn PM, Young GHF (2014) Spatial Variability and Temporal Trends in Water-Use Efficiency of European Forests. *Global Change Biology* 20(12):3700–3712. doi.10.1111/gcb.12717

- Saxe H, Cannell MGR, Johnsen Ø, Ryan MG, Vourlitis G (2001) Tree and Forest Functioning in Response to Global Warming. *New Phytologist* 149(3):369–400. doi.10.1046/j.1469-8137.2001.00057.x
- Selwood KE, McGeoch MA, MacNally R (2015) The Effects of Climate Change and Land-Use Change on Demographic Rates and Population Viability. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 90(3):837–853. doi.10.1111/brv.12136
- Seong M-G, Min S-K, Kim Y-H, Zhang X, Sun Y (2021) Anthropogenic Greenhouse Gas and Aerosol Contributions to Extreme Temperature Changes During 1951–2015. *Journal of Climate* 34(3):857–870. doi.10.1175/JCLI-D-19-1023.1
- Skarbit N, Ács F, Breuer H (2018) The Climate of the European Region During the 20th and 21st Centuries According to Feddema. *International Journal of Climatology* 38(5):2435–2448. doi.10.1002/joc.5346
- Smith CJ, Kramer RJ, Myhre G, Alterskjær K, Collins W, Sima A, Boucher O, Dufresne J-L, Nabat P, Michou M, Yukimoto S, Cole J, Paynter D, Shiogama H, O'Connor FM, Robertson E, Wiltshire A, Andrews T, Hannay C, Miller R, Nazarenko L, Kirkevåg A, Olivíe D, Fiedler S, Lewinschal A, Mackallah C, Dix M, Pincus R, Forster PM (2020) Effective Radiative Forcing and Adjustments in CMIP6 Models. *Atmospheric Chemistry and Physics* 20(16):9591–9618. doi.10.5194/acp-20-9591-2020
- Smith TT, Zaitchik BF, Gohlke JM (2013) Heat Waves in the United States: Definitions, Patterns and Trends. *Climatic Change* 118(3–4):811–825. doi.10.1007/s10584-012-0659-2
- Song X, Song Y, Chen Y (2020) Secular Trend of Global Drought Since 1950. *Environmental Research Letters* 15:094073. doi.10.1088/1748-9326/aba20d
- Spinoni J, Naumann G, Vogt JV (2017) Pan-European Seasonal Trends and Recent Changes of Drought Frequency and Severity. *Global and Planetary Change* 148:113–130. doi.10.1016/j.gloplacha.2016.11.013
- Spinoni J, Vogt JV, Naumann G, Barbosa P, Dosio A (2018) Will Drought Events Become More Frequent and Severe in Europe? *International Journal of Climatology* 38(4):1718–1736. doi.10.1002/joc.5291
- Spinoni J, Barbosa P, De Jager A, McCormick N, Naumann G, Vogt JV, Magni D, Masante D, Mazzeschi M (2019) A New Global Database of Meteorological Drought Events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 22:100593. doi.10.1016/j.ejrh.2019.100593
- Staddon PL, Reinsch S, Olsson PA, Ambus P, Lüscher A, Jakobsen I (2014) A Decade of Free-Air CO₂ Enrichment Increased the Carbon Throughput in a Grass-Clover Ecosystem but Did Not Drastically Change Carbon Allocation Patterns. *Functional Ecology* 28:538–545. doi.10.1111/1365-2435.12183
- Stöckli R, Vidale PL (2004) European Plant Phenology and Climate as Seen in a 20-Year AVHRR Land-Surface Parameter Dataset. *International Journal of Remote Sensing* 25(17):3303–3330. doi.10.1080/01431160310001618149

- Stott P, Good P, Jones G, Gillett N, Hawkins E (2013) The Upper end of Climate Model Temperature Projections is Inconsistent with Past Warming. *Environmental Research Letters* 8:014024. doi.10.1088/1748-9326/8/1/014024
- Strona G, Bradshaw CJA (2018) Co-Extinctions Annihilate Planetary Life During Extreme Environmental Change. *Scientific Reports* 8(1):16724. doi.10.1038/s41598-018-35068-1
- Studer S, Appenzeller C, Defila C (2005) Inter-Annual Variability and Decadal Trends in Alpine Spring Phenology: A Multivariate Analysis Approach. *Climatic Change* 73:395–414. doi.10.1007/s10584-005-6886-z
- Subotić J, Dukić V, Popov T, Trbić G, Maunaga Z, Petrović D (2020) Relationships Between Climatic Variables and Tree-Ring Width of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) in Kozara National Park (Bosnia and Herzegovina). *SEEFOR – South-East European Forestry* 11(1):17–27. doi.10.15177/seeфор.20-05
- Suggitt AJ, Lister DG, Thomas CD (2019) Widespread Effects of Climate Change on Local Plant Diversity. *Current Biology* 29(17):2905–2911. doi.10.1016/j.cub.2019.06.079
- Sulikowska A, Wypych A (2021) Seasonal Variability of Trends in Regional Hot and Warm Temperature Extremes in Europe. *Atmosphere* 12(5):612. doi.10.3390/atmos12050612
- Sun G, Mu M (2018) Assessing the Characteristics of Net Primary Production Due to Future Climate Change and CO₂ Under RCP4.5 in China. *Ecological Complexity* 34:58–68. doi.10.1016/j.ecocom.2018.04.001
- Sun Q, Zhang X, Zwiers F, Westra S, Alexander LV (2021) A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation. *Journal of Climate* 34(1):243–258. doi.10.1175/JCLI-D-19-0892.1
- Sun WB, Li Q, Huang B, Cheng J, Song Z, Li H, Dong W, Zhai P, Jones P (2021) The Assessment of Global Surface Temperature Change from 1850s: The C-LSAT2.0 Ensemble and the CMST-Interim Datasets. *Advances in Atmospheric Sciences* 38(5):875–888. doi.10.1007/s00376-021-1012-3
- Sung HM, Kim J, Shim S, Seo J, Kwon S-H, Sun M-A, Moon H, Lee J-H, Lim Y-J, Boo K-O, Kim Y, Lee J, Lee J, Kim J-S, Marzin C, Byun Y-H (2021) Climate Change Projection in the Twenty-First Century Simulated by NIMS-KMA CMIP6 Model Based on New GHGs Concentration Pathways. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 57(4):851–862. doi.10.1007/s13143-021-00225-6
- Supari, Tangang F, Juneng L, Aldrian E (2017) Observed Changes in Extreme Temperature and Precipitation over Indonesia. *International Journal of Climatology* 37(4):1979–1997. doi.10.1002/joc.4829
- Sutanto SJ, Vitolo C, Di Napoli C, D’Andrea M, Van Lanen HAJ (2020) Heatwaves, Droughts, and Fires: Exploring Compound and Cascading Dry Hazards at the Pan-European Scale. *Environment International* 134:105276. doi.10.1016/j.envint.2019.105276

- Sheffield J, Wood EF (2008) Projected Changes in Drought Occurrence Under Future Global Warming from Multi-Model, Multi-Scenario, IPCC AR4 Simulations. *Climate Dynamics* 31:79–105. doi.10.1007/s00382-007-0340-z
- Sheffield J, Wood EF, Roderick ML (2012) Little Change in Global Drought over the Past 60 Years. *Nature* 491(7424):435–438. doi.10.1038/nature11575
- Schimel D, Stephens BB, Fisher JB (2015) Effect of Increasing CO₂ on the Terrestrial Carbon Cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(2):436–441. doi.10.1073/pnas.1407302112
- Schleuning M, Fründ J, Schweiger O, Welk E, Albrecht J, Albrecht M, Beil M, Benadi G, Blüthgen N, Bruelheide H, Böhning-Gaese K, Dehling DM, Dormann CF, Exeler N, Farwig N, Harpke A, Hickler T, Kratochwil A, Kuhlmann M, Kühn I, Michez D, Mudri-Stojnić S, Plein M, Rasmont P, Schwabe A, Settele J, Vujić A, Weiner CN, Wiemers M, Hof C (2016) Ecological Networks Are More Sensitive to Plant Than to Animal Extinction Under Climate Change. *Nature Communications* 7(1):13965. doi.10.1038/ncomms13965
- Schröder W, Schmidt G, Schönrock S (2014) Modelling and Mapping of Plant Phenological Stages as Bio-Meteorological Indicators for Climate Change. *Environmental Sciences Europe* 26:5. doi.10.1186/2190-4715-26-5
- Schwartz MD, Ahas R, Aasa A (2006) Onset of Spring Starting Earlier Across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology* 12(2):343–351. doi.10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x
- Schweiger O, Biesmeijer JC, Bommarco R, Hickler T, Hulme PE, Klotz S, Kühn I, Moora M, Nielsen A, Ohlemüller R, Petanidou T, Potts SG, Pyšek P, Stout JC, Sykes MT, Tscheulin T, Vilà M, Walther GR, Westphal C, Winter M, Zobel M, Settele J (2010) Multiple Stressors on Biotic Interactions: How Climate Change and Alien Species Interact to Affect Pollination. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 85(4):777–795. doi.10.1111/j.1469-185X.2010.00125.x
- Swann ALS, Hoffman FM, Koven CD, Randerson JT (2016) Plant Responses to Increasing CO₂ Reduce Estimates of Climate Impacts on Drought Severity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(36):10019–10024. doi.10.1073/pnas.1604581113
- Tans P (2009) An Accounting of the Observed Increase in Oceanic and Atmospheric CO₂ and an Outlook for the Future. *Oceanography* 22(4):26–35. doi.10.5670/oceanog.2009.94
- Taub DR, Seeman JR, Coleman JS (2000) Growth in Elevated CO₂ Protects Photosynthesis Against High-Temperature Damage. *Plant, Cell and Environment* 23(6):649–656. doi.10.1046/j.1365-3040.2000.00574.x
- Tebaldi C, Debeire K, Eyring V, Fischer E, Fyfe J, Friedlingstein P, Knutti R, Lowe J, O'Neill B, Sanderson B, van Vuuren D, Riahi K, Meinshausen M, Nicholls Z, Tokarska KB, Hurtt G, Kriegler E, Lamarque J-F, Meehl G, Moss R, Bauer SE, Boucher O, Brovkin V, Byun Y-H, Dix M, Gualdi S, Guo H, John JG, Kharin S, Kim Y, Koshiro T, Ma L, Olivie D, Panickal S, Qiao F, Rong X, Rosenbloom N,

- Schupfner M, Séférian R, Sellar A, Semmler T, Shi X, Song Z, Steger C, Stouffer R, Swart N, Tachiiri K, Tang Q, Tatebe H, Voldoire A, Volodin E, Wyser K, Xin X, Yang S, Yu Y, Ziehn T (2021) Climate Model Projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics* 12:253–293. doi.10.5194/esd-12-253-2021
- Terrer C, Jackson RB, Prentice IC, Keenan TF, Kaiser C, Vicca S, Fisher JB, Reich PB, Stocker BD, Hungate BA, Peñuelas J, McCallum I, Soudzilovskaia NA, Cernusak LA, Talhelm AF, Van Sundert K, Piao S, Newton PCD, Hovenden MJ, Blumenthal DM, Liu YY, Müller C, Winter K, Field CB, Viechtbauer W, Van Lissa CJ, Hoosbeek MR, Watanabe M, Koike T, Leshyk VO, Polley HW, Franklin O (2019) Nitrogen and Phosphorus Constrain the CO₂ Fertilization of Global Plant Biomass. *Nature Climate Change* 9(9):684–689. doi.10.1038/s41558-019-0545-2
- Tian H, Chen G, Lu C, Xu X, Ren W, Zhang B, Banger K, Tao B, Pan S, Liu M, Zhang C, Bruhwiler L, Wofsy S (2015) Global Methane and Nitrous Oxide Emissions from Terrestrial Ecosystems Due to Multiple Environmental Changes. *Ecosystem Health and Sustainability* 1(1):4. doi.10.1890/EHS14-0015.1
- Tian H, Lu C, Ciais P, Michalak AM, Canadell JG, Saikawa E, Huntzinger DN, Gurney KR, Sitch S, Zhang B, Yang J, Bousquet P, Bruhwiler L, Chen G, Dlugokencky E, Friedlingstein P, Melillo J, Pan S, Poulter B, Prinn R, Saunois M, Schwalm CR, Wofsy SC (2016) The Terrestrial Biosphere as a Net Source of Greenhouse Gases to the Atmosphere. *Nature* 531(7593):225–228. doi.10.1038/nature16946
- Tian H, Xu R, Canadell JG, Thompson RL, Winiwarter W, Suntharalingam P, Davidson EA, Ciais P, Jackson RB, Janssens-Maenhout G, Prather MJ, Regnier P, Pan N, Pan S, Peters GP, Shi H, Tubiello FN, Zaehle S, Zhou F, Arneeth A, Battaglia G, Berthet S, Bopp L, Bouwman AF, Buitenhuis ET, Chang J, Chipperfield MP, Dangal SRS, Dlugokencky E, Elkins JW, Eyre BD, Fu B, Hall B, Ito A, Joos F, Krummel PB, Landolfi A, Laruelle GG, Lauerwald R, Li W, Lienert S, Maavara T, MacLeod M, Millet DB, Olin S, Patra PK, Prinn RG, Raymond PA, Ruiz DJ, van der Werf GR, Vuichard N, Wang J, Weiss RF, Wells KC, Wilson C, Yang J, Yao Y (2020) A Comprehensive Quantification of Global Nitrous Oxide Sources and Sinks. *Nature* 586(7828):248–256. doi.10.1038/s41586-020-2780-0
- Tilman D, May RM, Lehman CL, Nowak MA (1994) Habitat Destruction and the Extinction Debt. *Nature* 371(6492):65–66. doi.10.1038/371065a0
- Tramblay Y, Koutroulis A, Samaniego L, Vicente-Serrano SM, Volaire F, Boone A, Le Page M, Llasat MC, Albergel C, Burak S, Cailleret M, Cindrić Kalin K, Davi H, Dupuy J-L, Greve P, Grillakis M, Hanich L, Jarlan L, Martin-St Paul N, Martínez-Vilalta J, Mouillot F, Pulido-Velazquez D, Quintana-Seguí P, Renard D, Turco M, Türkeş M, Trigo R, Vidal J-P, Vilagrosa A, Zribi M, Polcher J (2020) Challenges for Drought Assessment in the Mediterranean Region Under Future Climate Scenarios. *Earth-Science Reviews* 210:103348. doi.10.1016/j.earscirev.2020.103348

- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01
- Trenberth KE, Dai A, Rasmussen RM, Parsons DB (2003) The Changing Character of Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84(9):1205–1218. doi.10.1175/BAMS-84-9-1205
- Trenberth KE (2011) Changes in Precipitation with Climate Change. *Climate Research* 47:123–138. doi.10.3354/cr00953
- Trewin B, Braganza K, Fawcett R, Grainger S, Jovanovic B, Jones D, Martin D, Smalley R, Webb V (2020) An Updated Long-Term Homogenized Daily Temperature Data Set for Australia. *Geoscience Data Journal* 7(2):149–169. doi.10.1002/gdj3.95
- Tuel A, Eltahir EAB (2020) Why Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot? *Journal of Climate* 33(14):5829–5843. doi.10.1175/JCLI-D-19-0910.1
- Turco M, Rosa-Cánovas JJ, Bedia J, Jerez S, Montávez JP, Llasat MC, Provenzale A (2018). Exacerbated Fires in Mediterranean Europe Due to Anthropogenic Warming Projected with Non-Stationary Climate-Fire Models. *Nature Communications* 9(1):3821. doi.10.1038/s41467-018-06358-z
- Turner MG, Calder WJ, Cumming GS, Hughes TP, Jentsch A, LaDeau SL, Lenton TM, Shuman BN, Turetsky MR, Ratajczak Z, Williams JW, Williams AP, Carpenter SR (2020) Climate Change, Ecosystems and Abrupt Change: Science Priorities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375(1794):20190105. doi.10.1098/rstb.2019.0105
- Turnera AJ, Frankenberg C, Kort EA (2019) Interpreting Contemporary Trends in Atmospheric Methane. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116(8):2805–2813. doi.10.1073/pnas.1814297116
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BF, De Siqueira MF, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, Van Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Peterson AT, Phillips OL, Williams SE (2004) Extinction Risk from Climate Change. *Nature* 427(6970): 145–148. doi.10.1038/nature02121
- Thompson RL, Lassaletta L, Patra PK, Wilson C, Wells KC, Gressent A, Koffi EN, Chipperfield MP, Winiwarter W, Davidson EA, Tian H, Canadell JG (2019) Acceleration of Global N₂O Emissions Seen from Two Decades of Atmospheric Inversion. *Nature Climate Change* 9:993–998. doi.10.1038/s41558-019-0613-7
- Thorne PW, Donat MG, Dunn RJH, Williams CN, Alexander LV, Caesar J, Durre I, Harris I, Hausfather Z, Jones PD, Menne MJ, Rohde R, Vose RS, Davy R, Klein-Tank AMG, Lawrimore JH, Peterson TC, Rennie JJ (2016) Reassessing Changes in Diurnal Temperature Range: Intercomparison and Evaluation of Existing Global Data Set Estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121(10):5138–5158. doi.10.1002/2015JD024584
- Thuiller W, Lavorel S, Araújo MB, Sykes MT, Prentice IC (2005) Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of*

- Sciences of the United States of America 102(23):8245–8250. doi.10.1073/pnas.0409902102
- Ueyama M, Ichii K, Kobayashi H, Kumagai T, Beringer J, Merbold L, Euskirchen ES, Hirano T, Marchesini LB, Baldocchi D (2020) Inferring CO₂ Fertilization Effect Based on Global Monitoring Land–Atmosphere Exchange with a Theoretical Model. *Environmental Research Letters* 15(8):084009. doi.10.1088/1748-9326/ab79e5
- Urban MC (2015) Accelerating Extinction Risk from Climate Change. *Science* 348(6234):571–573. doi.10.1126/science.aaa4984
- Feeley KJ, Silman MR, Bush MB, Farfan W, Garcia Cabrera K, Malhi Y, Meir P, Salinas Revilla N, Natividad Raurau Quisiyupanqui M, Saatchi S (2011) Upslope Migration of Andean Trees. *Journal of Biogeography* 38(4):783–791. doi.10.1111/j.1365-2699.2010.02444.x
- Fei S, Desprez JM, Potter KM, Jo I, Knott JA, Oswald CM (2017) Divergence of Species Responses to Climate Change. *Science Advances* 3(5):e1603055. doi.10.1126/sciadv.1603055
- Feng S, Fu Q (2013) Expansion of Global Drylands Under a Warming Climate. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13:10081–10094. doi.10.5194/acp-13-10081-2013
- Fernández-Martínez M, Sardans J, Chevallier F, Ciais P, Obersteiner M, Vicca S, Canadell JG, Bastos A, Friedlingstein P, Sitch S, Piao SL, Janssens IA, Peñuelas J (2019) Global Trends in Carbon Sinks and Their Relationships with CO₂ and Temperature. *Nature Climate Change* 9(1):73–79. doi.10.1038/s41558-018-0367-7
- Figueiredo L, Krauss J, Steffan-Dewenter I, Sarmiento Cabral J (2019) Understanding Extinction Debts: Spatio–Temporal Scales, Mechanisms and a Roadmap for Future Research. *Ecography* 42:1973–1990. doi.10.1111/e c og.0 474 0
- Flannigan M, Cantin AS, de Groot WJ, Wotton M, Newbery A, Gowman LM (2013) Global Wildland Fire Season Severity in the 21st Century. *Forest Ecology and Management* 294:54–61. doi.10.1016/j.foreco.2012.10.022
- Folland CK, Boucher O, Colman A, Parker DE (2018) Causes of Irregularities in Trends of Global Mean Surface Temperature Since the Late 19th Century. *Science Advances* 4(6):eaao5297. doi.10.1126/sciadv.aao5297
- Fonseca D, Carvalho MJ, Marta-Almeida M, Melo-Gonçalves P, Rocha A (2016) Recent Trends of Extreme Temperature Indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 94:66–76. doi.10.1016/j.pce.2015.12.005
- Forzieri G, Feyen L, Rojas R, Flörke M, Wimmer F, Bianchi A (2014) Ensemble Projections of Future Streamflow Droughts in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences* 18(1):85–108. doi.10.5194/hess-18-85-2014
- Fowler HJ, Lenderink G, Prein AF, Westra S, Allan RP, Ban N, Barbero R, Berg P, Blenkinsop S, Do HX, Guerreiro S, Haerter JO, Kendon EJ, Lewis E, Schaer C, Sharma A, Villarini G, Wasko C, Zhang X (2021) Anthropogenic Intensification

- of Short-Duration Rainfall Extremes. *Nature Reviews Earth & Environment* 2:107–122. doi.10.1038/s43017-020-00128-6
- Fox N, Jönsson AM (2019) Climate Effects on the Onset of Flowering in the United Kingdom. *Environmental Sciences Europe* 31:89. doi.10.1186/s12302-019-0271-4
- Frank DC, Poulter B, Saurer M, Esper J, Huntingford C, Helle G, Treydte K, Zimmermann NE, Schleser GH, Ahlström A, Ciais P, Friedlingstein P, Levis S, Lomas M, Sitch S, Viovy N, Andreu-Hayles L, Bednarz Z, Berninger F, Boettger T, D'Alessandro CM, Daux V, Filot M, Grabner M, Gutierrez E, Haupt M, Hilasvuori E, Jungner H, Kalela-Brundin M, Krapiec M, Leuenberger M, Loader NJ, Marah H, Masson-Delmotte V, Pazdur A, Pawelczyk S, Pierre M, Planells O, Pukiene R, Reynolds-Henne CE, Rinne KT, Saracino A, Sonninen E, Stievenard M, Switsur VR, Szczepanek M, Szychowska-Krapiec E, Todaro L, Waterhouse JS, Weigl-Show M (2015) Water-Use Efficiency and Transpiration Across European Forests During the Anthropocene. *Nature Climate Change* 5(6):579–583. doi.10.1038/nclimate2614
- Friedlingstein P, Meinshausen M, Arora VK, Jones CD, Anav A, Liddicoat SK, Knutti R (2014) Uncertainties in CMIP5 Climate Projections Due to Carbon Cycle Feedbacks. *Journal of Climate* 27(2):511–526. doi.10.1175/JCLI-D-12-00579.1
- Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones MW, Andrew RM, Hauck J, Olsen A, Peters GP, Peters W, Pongratz J, Sitch S, Le Quéré C, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Alin S, Aragão LEOC, Arneeth A, Arora V, Bates NR, Becker M, Benoit-Cattin A, Bittig HC, Bopp L, Bultan S, Chandra N, Chevallier F, Chini LP, Evans W, Florentie L, Forster PM, Gasser T, Gehlen M, Gilfillan D, Gkritzalis T, Gregor L, Gruber N, Harris I, Hartung K, Haverd V, Houghton RA, Ilyina T, Jain AK, Joetzjer E, Kadono K, Kato E, Kitidis V, Korsbakken JI, Landschützer P, Lefèvre N, Lenton A, Lienert S, Liu Z, Lombardozzi D, Marland G, Metzl N, Munro DR, Nabel JEMS, Nakaoka S-I, Niwa Y, O'Brien K, Ono T, Palmer PI, Pierrot D, Poulter B, Resplandy L, Robertson E, Rödenbeck C, Schwinger J, Séférian R, Skjelvan I, Smith AJP, Sutton AJ, Tanhua T, Tans PP, Tian H, Tilbrook B, van der Werf G, Vuichard N, Walker AP, Wanninkhof R, Watson AJ, Willis D, Wiltshire AJ, Yuan W, Yue X, Zaehle S (2020) Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data* 12:3269–3340. doi.10.5194/essd-12-3269-2020
- Fu W, Randerson JT, Moore JK (2016) Climate Change Impacts on Net Primary Production (NPP) and Export Production (EP) Regulated by Increasing Stratification and Phytoplankton Community Structure in the CMIP5 Models. *Biogeosciences* 13:5151–5170. doi.10.5194/bg-13-5151-2016
- Fu YH, Piao S, Op de Beeck M, Cong N, Zhao H, Zhang Y, Menzel A, Janssens IA (2014) Recent Spring Phenology Shifts in Western Central Europe Based on Multiscale Observations. *Global Ecology and Biogeography* 23(11):1255–1263. doi.10.1111/geb.12210
- Fu YH, Zhao H, Piao S, Peaucelle M, Peng S, Zhou G, Ciais P, Huang M, Menzel A, Peñuelas J, Song Y, Vitasse Y, Zeng Z, Janssens IA (2015) Declining Global

- Warming Effects on the Phenology of Spring Leaf Unfolding. *Nature* 526(7571):104–107. doi.10.1038/nature15402
- Fu YH, Piao S, Delpierre N, Hao F, Hänninen H, Liu Y, Sun W, Janssens IA, Campioli M (2018) Larger Temperature Response of Autumn Leaf Senescence Than Spring Leaf-Out Phenology. *Global Change Biology* 24(5):2159–2168. doi.10.1111/gcb.14021
- Haverd V, Smith B, Canadell JG, Cuntz M, Mikaloff-Fletcher S, Farquhar G, Woodgate W, Briggs PR, Trudinger CM (2020) Higher Than Expected CO₂ Fertilization Inferred from Leaf to Global Observations. *Global Change Biology* 26(4):2390–2402. doi.10.1111/gcb.14950
- Hamid M, Khuroo AA, Malik AH, Ahmad R, Singh CP, Dolezal J, Haq SM (2020) Early Evidence of Shifts in Alpine Summit Vegetation: A Case Study from Kashmir Himalaya. *Frontiers in Plant Science* 11:421. doi.10.3389/fpls.2020.00421
- Hanel M, Rakovec O, Markonis Y, Máca P, Samaniego L, Kyselý J, Kumar R (2018) Revisiting the Recent European Droughts from a Long-Term Perspective. *Scientific Reports* 8:9499. doi.10.1038/s41598-018-27464-4
- Hao Z, Hao F, Singh VP, Zhang X (2018) Changes in the Severity of Compound Drought and Hot Extremes over Global Land Areas. *Environmental Research Letters* 13(12):124022. doi.10.1088/1748-9326/aaee96
- Harrison S (2020) Plant Community Diversity Will Decline More Than Increase Under Climatic Warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375(1794):20190106. doi.10.1098/rstb.2019.0106
- Hatfield JL, Boote KJ, Kimball BA, Ziska LH, Izaurralde RC, Ort D, Thomson AM, Wolfe D (2011). *Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production*. *Agronomy Journal* 103(2):351–370. doi.10.2134/agronj2010.0303
- Hatfield JL, Prueger JH (2015) Temperature Extremes: Effect on Plant Growth and Development. *Weather and Climate Extremes* 10:4–10. doi.10.1016/j.wace.2015.08.001
- Hatfield JL, Dold C (2019) Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science* 10:103. doi.10.3389/fpls.2019.00103
- Haustein K, Otto FEL, Venema V, Jacobs P, Cowtan K, Hausfather Z, Way RG, White B, Subramanian A, Schurer AP (2019) A Limited Role for Unforced Internal Variability in Twentieth-Century Warming. *Journal of Climate* 32(16):4893–4917. doi.10.1175/JCLI-D-18-0555.1
- Hawkins E, Ortega P, Suckling E, Schurer A, Hegerl G, Jones P, Joshi M, Osborn T, Masson-Delmotte V, Mignot J, Thorne P, van Oldenborgh G (2017) Estimating Changes in Global Temperature Since the Pre-Industrial Period. *Bulletin of the American Meteorological Society* 98(9):1841–1856. doi.10.1175/BAMS-D-16-0007.1
- He X, Burgess KS, Yang X-F, Ahrends A, Gao L-M, Li D-Z (2019) Upward Elevation and Northwest Range Shifts for Alpine *Mecconopsis* Species in the Himalaya–

- Hengduan Mountains Region. *Ecology and Evolution* 9(7):4055–4064. doi.10.1002/ece3.5034
- Heede R (2014) Tracing Anthropogenic Carbon Dioxide and Methane Emissions to Fossil Fuel and Cement Producers, 1854–2010. *Climate Change* 122(1–2):229–241. doi.10.1007/s10584-013-0986-y
- Hegerl GC, Brönnimann S, Cowan T, Friedman AR, Hawkins E, Iles C, Müller W, Schurer A, Undorf S (2019) Causes of Climate Change over the Historical Record. *Environmental Research Letters* 14:123006. doi.10.1088/1748-9326/ab4557
- Heilig GK (1994) The Greenhouse Gas Methane (CH₄): Sources and Sinks, the Impact of Population Growth, Possible Interventions. *Population and Environment* 16(2):109–137
- Heim Jr RR (2015) An Overview of Weather and Climate Extremes – Products and Trends. *Weather and Climate Extremes* 10(Part B):1–9
- Hoffmann S, Irl SDH, Beierkuhnlein C (2019) Predicted Climate Shifts Within Terrestrial Protected Areas Worldwide. *Nature Communications* 10:4787. doi.10.1038/s41467-019-12603-w
- Hu T, Sun Y, Zhang X, Min S-K, Kim Y-H (2020) Human Influence on Frequency of Temperature Extremes. *Environmental Research Letters* 15:064014. doi.10.1088/1748-9326/ab8497
- Huang B, Menne MJ, Boyer T, Freeman E, Gleason BE, Lawrimore JH, Liu C, Jared Rennie J, Schreck III CJ, Sun F, Vose R, Williams CN, Yin X, Zhang H-M (2020) Uncertainty Estimates for Sea Surface Temperature and Land Surface Air Temperature in NOAA GlobalTemp Version 5. *Journal of Climate* 33(4):1351–1379. doi.10.1175/JCLI-D-19-0395.1
- Huang J, Yu H, Guan X, Wang G, Guo R (2016) Accelerated Dryland Expansion Under Climate Change. *Nature Climate Change* 6:166–171. doi.10.1038/nclimate2837
- Huang JG, Bergeron Y, Denneler B, Berninger F, Tardif J (2007) Response of Forest Trees to Increased Atmospheric CO₂. *Critical Reviews in Plant Sciences* 26(5–6):265–283. doi.10.1080/07352680701626978
- Hughes L (2000) Biological Consequences of Global Warming: Is the Signal Already Apparent? *TREE* 15(2):56–61. doi.10.1016/S0169-5347(99)01764-4
- Hugonnet R, McNabb R, Berthier E, Menounos B, Nuth C, Girod L, Farinotti D, Huss M, Dussaillant I, Brun F, Käab A (2021) Accelerated Global Glacier Mass Loss in the Early Twenty-First Century. *Nature* 592(7856):726–731. doi.10.1038/s41586-021-03436-z
- Caesar J, Alexander LV, Trewin B, Tse-ring K, Sorany L, Vuniyayawa V, Keosavang N, Shimana A, Htay MM, Karmacharya J, Jayasinghearachchi DA, Sakkamart J, Soares E, Hung LT, Thuong LT, Hue CT, Dung NTT, Hung PV, Cuong HD, Cuong NM, Sirabaha S (2011) Changes in Temperature and Precipitation Extremes over the Indo-Pacific Region from 1971 to 2005. *International Journal of Climatology* 31(6):791–801. doi.10.1002/joc.2118

- Cazzolla Gatti R, Callaghan T, Velichevskaya A, Dudko A, Fabbio L, Battipaglia G, Liang J (2019) Accelerating Upward Treeline Shift in the Altai Mountains Under Lastcentury Climate Change. *Scientific Reports* 9:7678. doi.10.1038/s41598-019-44188-1 1
- Caloiero T (2017) Trend of Monthly Temperature and Daily Extreme Temperature During 1951–2012 in New Zealand. *Theoretical and Applied Climatology* 129(1–2):111–127. doi.10.1007/s00704-016-1764-3
- Campbell JE, Berry JA, Seibt U, Smith SJ, Montzka SA, Launois T, Belviso S, Bopp L, Laine M (2017) Large Historical Growth in Global Terrestrial Gross Primary Production. *Nature* 544(7648):84–87. doi.10.1038/nature22030
- Cannone N, Sgorbati S, Guglielmin M (2007) Unexpected Impacts of Climate Change on Alpine Vegetation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7):360–364
- Cardell MF, Amengual A, Romero R, Ramis C (2020) Future Extremes of Temperature and Precipitation in Europe Derived from a Combination of Dynamical and Statistical Approaches. *International Journal of Climatology* 40(11):4800–4827. doi.10.1002/joc.6490
- Carlson BZ, Georges D, Rabatel A, Randin CF, Renaud J, Delestrade A, Zimmermann NE, Choler P, Thuiller W (2014) Accounting for Tree Line Shift, Glacier Retreat and Primary Succession in Mountain Plant Distribution Models. *Diversity and Distributions* 20(12):1379–1391. doi.10.1111/ddi.12238
- Carnicer J, Colla M, Ninyerola M, Pons X, Sánchez G, Peñuelasa J (2011) Widespread Crown Condition Decline, Food Web Disruption, and Amplified Tree Mortality with Increased Climate Change-Type Drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(4):1474–1478. doi.10.1073/pnas.1010070108
- Cahill AE, Aiello-Lammens ME, Fisher-Reid MC, Hua X, Karanewsky CJ, Yeong Ryu H, Sbeglia GC, Spagnolo F, Waldron JB, Warsi O, Wiens JJ (2013) How Does Climate Change Cause Extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280(1750):28020121890. doi.10.1098/rspb.2012.1890
- Ceballos G, Ehrlich PR, Barnosky AD, García A, Pringle RM, Palmer TM (2015) Accelerated Modern Human–Induced Species Losses: Entering the Sixth Mass Extinction. *Science Advances* 1(5):e1400253. doi.10.1126/sciadv.1400253
- Ciais P, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogee J, Allard V, Aubinet M, Buchmann N, Bernhofer C, Carrara A, Chevallier F, De Noblet N, Friend AD, Friedlingstein P, Grünwald T, Heinesch B, Keronen P, Knohl A, Krinner G, Loustau D, Manca G, Matteucci G, Miglietta F, Ourcival JM, Papale D, Pilegaard K, Rambal S, Seufert G, Soussana JF, Sanz MJ, Schulze ED, Vesala T, Valentini R (2005) Europe-Wide Reduction in Primary Productivity Caused by the Heat and Drought in 2003. *Nature* 437(7058):529–533. doi.10.1038/nature03972
- Covey K, Soper F, Pangala S, Bernardino A, Pagliaro Z, Basso L, Cassol H, Fearnside P, Navarrete D, Novoa S, Sawakuchi H, Lovejoy T, Marengo J, Peres CA, Baillie J, Bernasconi P, Camargo J, Freitas C, Hoffman B, Nardoto GB, Nobre I, Mayorga J, Mesquita R, Pavan S, Pinto F, Rocha F, de Assis Mello R, Thuault A, Bahl AA,

- Elmore A (2021) Carbon and Beyond: The Biogeochemistry of Climate in a Rapidly Changing Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change* 4(11):618401. doi.10.3389/ffgc.2021.618401
- Collins JM (2011) Temperature Variability over Africa. *Journal of Climate* 24(14): 3649–3666. doi.10.1175/2011JCLI3753.1
- Collins WJ, Webber CP, Cox PM, Huntingford C, Lowe J, Sitch S, Chadburn SE, Comyn-Platt E, Harper AB, Hayman G, Powell T (2018) Increased Importance of Methane Reduction for a 1.5 Degree Target. *Environmental Research Letters* 13:054003. doi.10.1088/1748-9326/aab89c
- Contractor S, Donat MG, Alexander LV (2021) Changes in Observed Daily Precipitation over Global Land Areas Since 1950. *Journal of Climate* 34(1):3–19. doi.10.1175/JCLI-D-19-0965.1
- Cook BI, Wolkovich EM, Parmesan C (2012) Divergent Responses to Spring and Winter Warming Drive Community Level Flowering Trends. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(23):9000–9005. doi.10.1073/pnas.1118364109
- Cook BI, Mankin JS, Marvel K, Williams AP, Smerdon JE, Anchukaitis KJ (2020) Twenty-First Century Drought Projections in the CMIP6 Forcing Scenarios. *Earth's Future* 8(6):e2019EF001461. doi.10.1029/2019EF001461
- Cook J, Nuccitelli D, Green SA, Richardson M, Winkler B, Painting R, Way R, Jacobs P, Skuce A (2013) Quantifying the Consensus on Anthropogenic Global Warming in the Scientific Literature. *Environmental Research Letters* 8(2):024024. doi.10.1088/1748-9326/8/2/024024
- Cook J, Oreskes N, Doran PT, Anderegg WRL, Verheggen B, Maibach EW, Stuart Carlton J, Lewandowsky S, Skuce AG, Green SA, Nuccitelli D, Jacobs P, Richardson M, Winkler B, Painting R, Rice K (2016) Consensus on Consensus: A Synthesis of Consensus Estimates on Human-Caused Global Warming. *Environmental Research Letters* 11:048002. doi.10.1088/1748-9326/11/4/048002
- Corlett RT, Westcott DA (2013) Will Plant Movements Keep Up with Climate Change? *Trends in Ecology & Evolution* 28(8):482–488. doi.10.1016/j.tree.2013.04.003
- Cohen JL, Furtado JC, Barlow M, Alexeev VA, Cherry JE (2012) Asymmetric Seasonal Temperature Trends. *Geophysical Research Letters* 39(4):L04705. doi.10.1029/2011GL050582
- Crimmins SM, Dobrowski SZ, Greenberg JA, Abatzoglou JT, Mynsberge AR (2011) Changes in Climatic Water Balance Drive Downhill Shifts in Plant Species' Optimum Elevations. *Science* 331(6015):324–327. doi.10.1126/science.1199040
- Cudlin P, Klopčič M, Tognetti R, Máliš F, Alados CL, Bebi P, Grunewald K, Zhiyanski M, Andonowski V, La Porta N, Bratanova-Doncheva S, Kachaunova E, Edwards-Jonášová M, Ninot JM, Rigling A, Hofgaard A, Hlásny T, Skalák P, Wielgolaski FE (2017) Drivers of Treeline Shift in Different European Mountains. *Climate Research* 73:135–150. doi.10.3354/cr01465

- Chen I-C, Hill JK, Ohlemuller R, Roy DB, Thomas CD (2011) Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science* 333(6045): 1024–1026. doi.10.1126/science.1206432
- Chen L, Huang J-G, Ma Q, Hänninen H, Rossi S, Piao S, Bergeron Y (2018) Spring Phenology at Different Altitudes is Becoming More Uniform Under Global Warming in Europe. *Global Change Biology* 24(9):3969–3975. doi.10.1111/gcb.14288
- Chen L, Huang J-G, Ma Q, Hänninen H, Tremblay F, Bergeron Y (2019) Long-Term Changes in the Impacts of Global Warming on Leaf Phenology of Four Temperate Tree Species. *Global Change Biology* 25(3):997–1004. doi.10.1111/gcb.14496
- Cheng W, Li Z, Yan L (2021) Uniforming Spring Phenology Under Non-Uniform Climate Warming Across Latitude in China. *Science of the Total Environment* 762:143177. doi.10.1016/j.scitotenv.2020.143177
- Chmielewski FM, Müller A, Bruns E (2004) Climate Changes and Trends in Phenology of Fruit Trees and Field Crop in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 121(1–2):69–78. doi.10.1016/S0168-1923(03)-00161-8
- Walker AP, De Kauwe MG, Bastos A, Belmecheri S, Georgiou K, Keeling RF, McMahon SM, Medlyn BE, Moore DJP, Norby RJ, Zaehle S, Anderson-Teixeira KJ, Battipaglia G, Brienen RJW, Cabugao KG, Cailleret M, Campbell E, Canadell JG, Ciais P, Craig ME, Ellsworth DS, Farquhar GD, Fatichi S, Fisher JB, Frank DC, Graven H, Gu L, Haverd V, Heilman K, Heimann M, Hungate BA, Iversen CM, Joos F, Jiang M, Keenan TF, Knauer J, Körner C, Leshyk VO, Leuzinger S, Liu Y, MacBean N, Malhi Y, McVicar TR, Penuelas J, Pongratz J, Powell AS, Riutta T, Sabot MEB, Schleucher J, Sitch S, Smith WK, Sulman B, Taylor B, Terrer C, Torn MS, Treseder KK, Trugman AT, Trumbore SE, van Mantgem PJ, Voelker SL, Whelan ME, Zuidema PA (2021) Integrating the Evidence for a Terrestrial Carbon Sink Caused by Increasing Atmospheric CO₂. *New Phytologist* 229(5):2413–2445. doi.10.1111/nph.16866
- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature* 416(6879):389–395. doi.10.1038/-416389a
- Walther GR (2010) Community and Ecosystem Responses to Recent Climate Change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1549):2019–2024. doi.10.1098/rstb.2010.0021
- Wang C, Tang Y, Chen J (2016) Plant Phenological Synchrony Increases Under Rapid Within-Spring Warming. *Scientific Reports* 6:25460. doi.10.1038/srep25460
- Wang Q, Zhou F, Shang Z, Ciais P, Winiwarter W, Jackson RB, Tubiello FN, Janssens-Maenhout G, Tian H, Cui X, Canadell JG, Piao S, Tao S (2020) Data-Driven Estimates of Global Nitrous Oxide Emissions from Croplands. *National Science Review* 7:441–452. doi.10.1093/nsr/nwz087

- Ward DS, Shevliakova E, Malyshev S, Rabin S (2018) Trends and Variability of Global Fire Emissions Due to Historical Anthropogenic Activities. *Global Biogeochemical Cycles* 32(1):122–142. doi.10.1002/2017gb005787
- Westra S, Alexander LV, Zwiers FW (2013) Global Increasing Trends in Annual Maximum Daily Precipitation. *Journal of Climate* 26(11):3904–3918. doi.10.1175/JCLI-D-12-00502.1
- Wiens JJ (2016) Climate-Related Local Extinctions Are Already Widespread Among Plant and Animal Species. *PLOS Biology* 14(12):e2001104. doi.10.1371/journal.pbio.2001104
- World Meteorological Organization (2021) State of the Global Climate 2020. World Meteorological Organization, Geneva, pp 52
- World Meteorological Organization (2022) State of the Global Climate 2021. World Meteorological Organization, Geneva, pp 54
- Wu C, Yeh PJ-F, Chen Y-Y, Hu BX, Huang G (2020) Future Precipitation-Driven Meteorological Drought Changes in the CMIP5 Multimodel Ensembles Under 1.5°C and 2°C Global Warming. *Journal of Hydrometeorology* 21(9):2177–2196. doi.10.1175/JHM-D-19-0299.1
- Wu T, Hu A, Gao F, Zhang J, Meehl GA (2019) New Insights into Natural Variability and Anthropogenic Forcing of Global/Regional Climate Evolution. *npj Climate and Atmospheric Science* 2:18. doi.10.1038/s41612-019-0075-7
- Wu X, Zhang X, Chuai X, Huang X, Wang Z (2019) Long-Term Trends of Atmospheric CH₄ Concentration Across China from 2002 to 2016. *Remote Sensing* 11(5):538. doi.10.3390/rs11050538
- Xu R, Prentice IC, Spahni R, Niu HS (2012) Modelling Terrestrial Nitrous Oxide Emissions and Implications for Climate Feedback. *New Phytologist* 196(2):472–488. doi.10.1111/j.1469-8137.2012.04269.x
- Xue B-L, Guo Q, Otto A, Xiao J, Tao S, Li L (2015) Global Patterns, Trends, and Drivers of Water Use Efficiency from 2000 to 2013. *Ecosphere* 6(10):174. doi.10.1890/ES14-00416.1
- Yin H, Donat MG, Alexander LV, Sun Y (2015) Multi-Dataset Comparison of Gridded Observed Temperature and Precipitation Extremes over China. *International Journal of Climatology* 35(10):2809–2827. doi.10.1002/joc.4174

The Impact of Recent Climate Change on Plants

Tatjana Popov

Summary

Climatic conditions play a key role in the basic plants processes (photosynthesis, respiration, growth and development), their seasonal cycle, and in determining the limits of their distribution. Climate has a great impact on plant individuals, populations and species, as well as on their communities, ecosystems and biomes. As a result, concerns have grown in recent decades about the possible effects of global climate change on flora.

The paper gives an overview of the observed climate change, primarily changes in the atmospheric concentration of greenhouse gases, air temperature (global warming), precipitation regime and extreme weather and climate events. Then, the observed effects of recent climate change on the plants are analyzed, primarily the effects on the physiology, phenology and distribution of plant species, as well as the effects on plant communities and ecosystems.

The results of numerous studies in the world proved that recent climate change has led to significant changes in the plants distribution – range (shifts to higher latitudes and higher altitudes), physiology (improving the rate of photosynthesis and water use efficiency, decreasing stomatal conductivity and increasing net primary production) and the seasonal cycle – phenology (earlier onset of growing season and earlier occurrence of phenophases in spring and summer and delay of autumn phenophases ending the growing season, and as a consequence of these changes prolongation of growing season in many regions) as well as that changed climatic conditions have already led to changes in plant communities (through changes in composition and altered interactions between species such as pollination, competition, predation, parasitism, mutualism, disease transmission, food chains, etc.) and local extinction of certain plant species.

Keywords: Climate change, greenhouse gases, global warming, precipitation regime, extreme weather and climate events, flora, physiology, phenology, range, species interactions, extinction



Климатске промјене и управљање земљиштем

Ружица Стричевић, Тихомир Предић, Михајло Марковић

Сажетак: *Есенцијални ресурси за опстанак живог свијета су ваздух, вода и земљиште. Земљиште је у суштини једини необновљиви природни ресурс, са потенцијално брзом стопом деградације и са веома спорим процесом формирања и регенерације. Вода и земљиште су ресурси карактеристични за свако климатско поднебље, самим тим свака климатска промјена неминовно утиче на процесе у земљишту и на његово коришћење, чија свједочења данас можемо пратити проучавањем фосилних земљишта. Процеси у земљишту и на земљишту који су интензивирани посљедњих пар деценија широм свијета, попут ерозије, превлаживања, суше, пожара, губитка органске материје и слично, повезују се са климатским промјенама и видљиви су и на простору Републике Српске. Основни задатак данашњег човјека је да рационално користи земљиште и да га сачува за нова покољења. На основу расположивих података и климатских модела у будућности, дошло се до сљедећих закључака: коришћење земљишта се неће битније нарушити, нити ће бити угрожена ратарска производња; и даље ће владати повољни климатски услови за производњу кукуруза, пшенице, кромпира, с повећаним међугодишњим варијацијама до краја вијека; због раније сјетве биће изражени проблеми превлаживања; редовно одржавање постојећих дренажних*

Цитирање: Стричевић Р, Предић Т, Марковић М (2023) Климатске промјене и управљање земљиштем. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:273–331

Cite as: Stričević R, Predić T, Marković M (2023) Climate Change and Land Management. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:273–331

система треба да обезбиједи пуну функционалност, а на угроженим мјестима треба градити нове; за развој воћарства и повртарства неопходна је изградња система за наводњавање; системско рјешавање постојећих ерозионих процеса и спречавање појаве нових такође је неопходно, јер у будућим климатским условима могу се очекивати сушни периоди већег интензитета праћени јаким кишним олујама, који услед сасушеног биљног покривача могу изазвати трајни губитак земљишта. С обзиром на то да су земљишта Републике Српске јако сиромашна хумусом, тј. органским угљеником, неопходно је примјењивати агротехничке мјере које ће повећати унос органске материје. Намјерно паљење жетвених остатака мора бити најстроже кажњавано. Такође, неопходно је континуирано праћење плодности земљишта на геореференцираним локацијама (рН, макроелемената (NPK), садржаја органске материје, воднофизичких особина земљишта) ради што бољег упоређивања података и одређивање правца утицаја било позитивног или негативног, како би се планирале и предузеле благовремене мјере заштите ради обезбјеђења правилног и одрживог коришћења земљишта и ублажавања климатских промјена.

Кључне ријечи: Земљиште, климатске промјене, деградација, ерозија земљишта, наводњавање, одводњавање, органска материја

5.1. Увод

Сав живи свијет је створен од земљиног праха, на њему битише и у њу се враћа, како наводи библијско предање. Вода и земљиште су два нераздвојна природна ресурса која се стално прожимају. Када су у равнотежи, обезбјеђује се стабилно станиште за биљке, а самим тим храна за животиње и човјека. Свако дуготрајније нарушавање овог односа неминовно утиче на земљиште, које може да иде у корист човјеку, уз примјену мелиоративних мјера, или на штету, уколико човјек не води бригу о њему. Земљиште је природни ресурс који природа ствара веома споро. Потребни су миленијуми да би се створило земљиште, које небригом човјека може да се изгуби у трену. Климатске промјене су се дешавале у природи, што потврђују фосилна земљишта која данас можемо видјети на бројним локалитетима (Marković et al. 2008; Marriner et al. 2011). Данашња бројна истраживања указују нам да смо на прагу нових климатских промјена (IPCC 2014), које су по неким истраживачима изазване човјековим дјеловањем, повећаном емисијом гасова са ефектом стаклене баште, док су по некима (Zotov et al. 2016; Tolstikov et al. 2019) услед природних сила настале ротацијом Земље. Без обзира на то ког поријекла су климатске

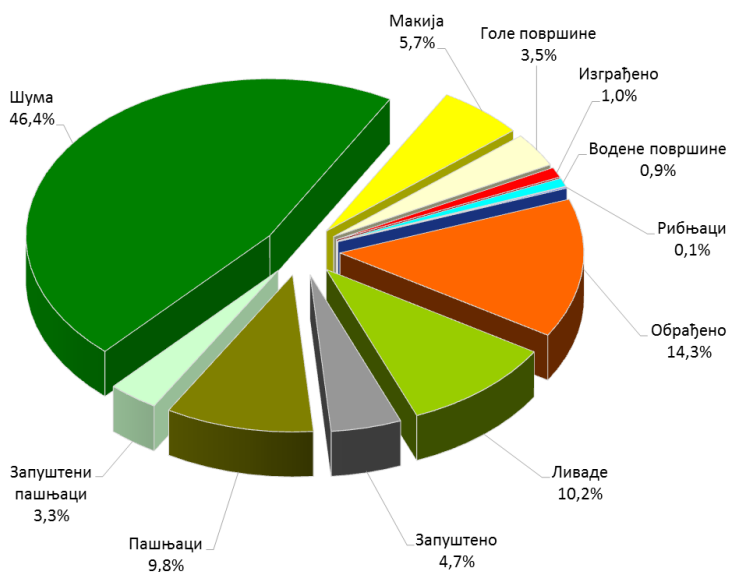
промјене, неопходно је сагледати како ће оне утицати на земљиште, а самим тим на безбједност снабдијевања човјечанства храном. Бројним истраживањима (Schils et al. 2008; Lal et al. 2011; Hamidov et al. 2018) утврђено је да климатске промјене могу дјеловати директно на земљиште преко температуре, падавина и водно-ваздушног режима земљишта, и индиректно преко мјера адаптације пољопривредне производње попут одводњавања, наводњавања, промјене плодореда, начина обраде земљишта, примјене других агротехничких мјера (Markovic et al. 2019). Чиниоци и њихов степен утицаја је карактеристичан за свако географско подручје, топографске и специфичне локалне услове. Углавном се истиче промјена садржаја органског угљеника, ерозија земљишта, збијање, дезертификација усљед недостатка падавина, салинизација, смањење плодности и нижа продуктивност итд. (Smith 2012; Colantoni et al. 2015).

Прије него што климатске промјене узму маха, неопходно је благовремено развити методе и технике адаптације, а потом донијети одлуке о њиховим приоритетним примјенама, како би се земљиште што је могуће боље очувало, с једне стране, и обезбиједило довољно хране и смањила емисија CO₂, с друге стране. С обзиром на географско подручје Босне и Херцеговине, а самим тим и Републике Српске, важни аспекти очувања земљишта којима треба посветити посебну пажњу су: правилно управљање угљеником, азотом, стајњаком, затим обезбјеђење одрживе пољопривреде, управљање пашњацима и шумама ради спречавања ерозије земљишта, обнављање деградираних земљишта, примјена агротехничких и хидротехничких мјера одводњавања и наводњавања, прецизно управљање земљиштем на нивоу поља и друго. Само добрим управљањем земљиштем и његовим очувањем могуће је обезбиједити довољно хране и опстанак свијета који познајемо.

5.2. Коришћење земљишта

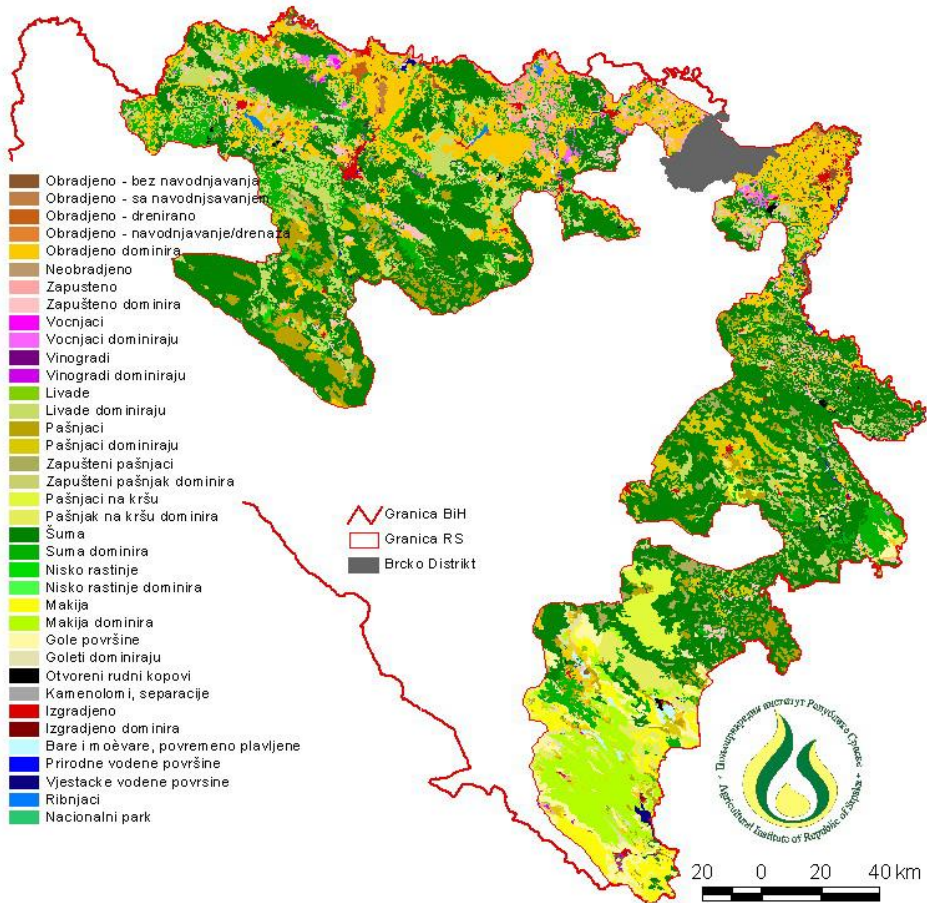
Површине пољопривредног земљишта за производњу хране, које су на располагању Републици Српској ограничене су и континуирано се смањују. Према подацима из Националног акционог плана заштите животне средине (НЕАП), само антропогеним утицајем у Републици Српској годишње се губи 1.600 ха земљишта (Федерално министарство просторног уређења и околиша и Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске 2003). Пошто сви корисници земљишта непрекидно и аргументовано претендују на коришћење земљишта, поставља се основно питање како заштитити пољопривредно земљиште од трајног губитка, тј. како произвести довољне количине хране у условима када се непрекидно смањују пољопривредне површине, а у исто вријеме повећава број људи и то у условима евидентних

климатских промјена. У наведеним околностима, спречавање деградације и одрживо контролисано коришћење земљишта треба да буду најважнији дијелови политике заштите земљишта Републике Српске (Предић и сар. 2009, 2011, 2019, 2020). Да би се та политика могла квалитетно спроводити, неопходни су релевантни показатељи стања земљишних ресурса. Из тих разлога је за потребе Владе Републике Српске и Министарства пољопривреде, шумарства и водопривреде 2009. године израђена Основа заштите уређења и коришћења пољопривредног земљишта Републике Српске (у даљем тексту Основа РС), која представља основну компоненту у процесу планирања коришћења земљишта. Наведени документ садржи све постојеће релевантне податке о земљишту и клими Републике Српске, тако да доносиоци одлука располажу релевантним информацијама у циљу заустављања тренда трајног губљења пољопривредног земљишта, које према стратегији Уједињених нација до 2030. године треба свести на нулу (Предић и сар. 2019, 2020). Подаци о земљишном покривачу и начину коришћења земљишта (у даљем тексту ЗПНК) представљају један од најбитнијих података који се континуирано мијења под утицајем антропогенних и климатских фактора, тако да га је неопходно ревидирати у функцији времена. Тренутно је у изради стање ЗПНК за 2021. годину, а на Сл. 5.1, Таб. 5.1. и Граф. 5.1. приказане су главне класе ЗПНК за 2008. годину.



Граф. 5.1. Земљишни покривач и начин коришћења земљишта у Републици Српској (Предић и сар. 2011)

Graph. 5.1. Land cover and land use in the Republic of Srpska (Предић и сар. 2011)



Сл. 5.1. Земљишни покривач и начин коришћења земљишта Републике Српске (Предућ и сар. 2009)

Fig. 5.1. Land cover and land use in the Republic of Srpska (Preduћ u сар. 2009)

На основу података приказаних у Таб. 5.1. по номенклатури ЗПНК у Републици Српској 57,5% (1.419.021,8 ха) чине непољопривредне површине, а 42,5% (1.047.723,8 ха) представља пољопривредно земљиште. Треба напоменути да постоје различити извори података о површини пољопривредног земљишта у Републици Српској и да се ти подаци разликују у зависности од начина како су прикупљани и за које потребе су рађени. ЗПНК је рађен искључиво за потребе пољопривреде. Катастарски подаци требало би да буду најтачнији јер описују сваку катастарску парцелу, али ове податаке је тешко благовремено ажурирати, тако да се они могу користити као релевантна основа у циљу праћења промјена ЗПНК, тј. углавном смањења пољопривредних површина.

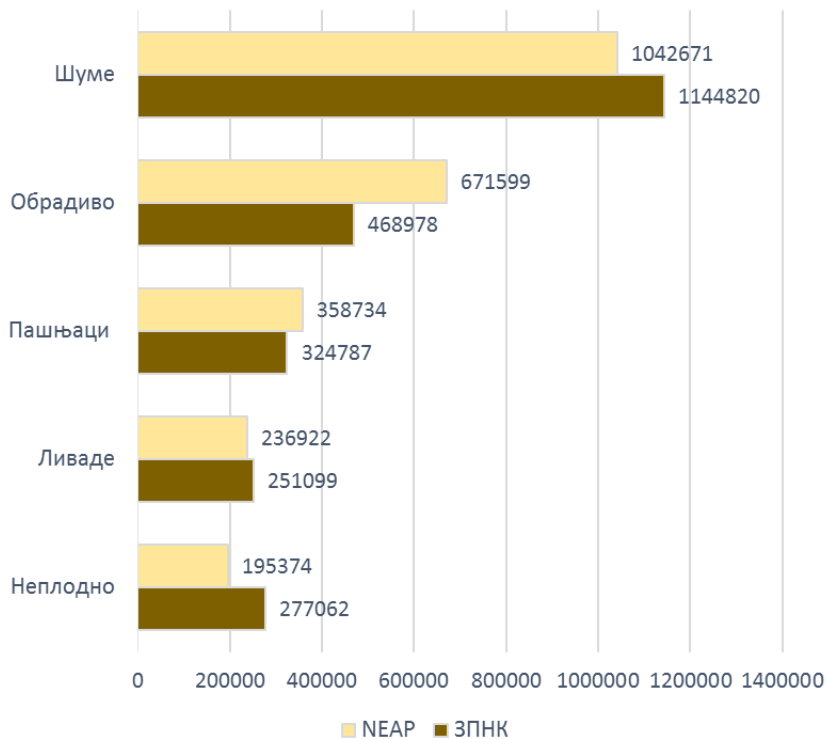
Таб. 5.1. Класе земљишног покривача и начин коришћења земљишта у Републици Српској (Предић и сар. 2011)

Table 5.1. Class of land cover and land use in the Republic of Srpska (Predić and sар. 2011)

Р.б.	Главне класе	Република Српска		Источни дио Републике Српске		Западни дио Републике Српске	
		Површина (ha)	%	Површина (ha)	%	Површина (ha)	%
1.	Обрађено земљиште	353.614,2	14,3	106.704,5	4,3	246.909,7	10,0
2.	Запуштено обрадиво земљиште	115.364,0	4,7	27.410,5	1,1	87.953,5	3,6
	Укупно обрадиво	468.978,2	19,0	134.115,0	5,4	334.863,2	13,6
3.	Ливаде	250.924,2	10,2	62.675,6	2,5	188.248,6	7,6
4.	Пашњаци	242.747,6	9,8	180.289,2	7,3	62.458,4	2,5
5.	Запуштени пашњаци	82.039,2	3,3	61430,9	2,5	20.608,3	0,8
	Укупно пашњаци (4+5)	324.786,8	13,1	241.720,1	9,8	83.066,7	3,3
6.	Шуме	1.144.820,1	46,4	557.819,0	22,6	587.001,1	23,8
7.	Макија	140.705,0	5,7	140.705,0	5,7	0,0	0,0
8.	Голе површине	86.477,7	3,5	83.040,5	3,4	3.437,2	0,1
9.	Изграђено	25.671,8	1,0	10.876,3	0,4	14.795,5	0,6
10.	Водене површине	21.347,1	0,9	12.564,2	0,5	8.782,9	0,4
11.	Рибњаци	3.034,6	0,1	0,0	0,0	3.034,6	0,1
	УКУПНО:	2.466.745,5	100	1.243.515,9	50,4	1.223.229,6	49,6
	Пољопривредно земљиште (1+2+3+4+5+11)	1.047.723,8	42,5	438.510,8	17,8	609.213,0	24,7
	Непољопривредно земљиште (6+7+8+9+10)	1.419.021,8	57,5	805.005,1	32,6	614.016,6	24,9

Катастарске класе и класе ЗПНК не подударају се у потпуности, тако да се њихово поређење може вршити само дјелимично. На примјер, површине које се по катастру воде као оранице, по начину коришћења могу бити: „обрађено“, „ливаде“ (ако су тренутно необрађене) или „запуштено“ (ако се површине не обрађују дужи низ година и већ се на њима разазнаје спорадично жбуње и

ниска вегетација...). Такође, катастарска класа „шуме“ није иста као ЗПНК класа „шуме“. Ова класа ЗПНК подразумијева све површине које су обрасле дрвећем и ниским растињем. Постоје и друге разлике између катастарских класа и класа ЗПНК, али је крајњи резултат подјеле на пољопривредно и непољопривредно земљиште упоредив. На Граф. 5.2. приказано је поређење података о површинама катастарских класа из 2002. године, који дужи низ година нису ажурирани (НЕАП; Федерално министарство просторног уређења и околиша и Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске 2003) и података ЗПНК (Основа РС; Предић и сар. 2009). На Граф. 5.2. јасно је видљиво да је дошло до повећања површина под шумском вегетацијом, неплодног земљишта (изграђених површина, голети...) и ливада, а смањења обрадивих површина и пашњака.



Граф. 5.2. Коришћење земљишта у Републици Српској: НЕАП 2003 – ЗПНК 2008 (Предић и сар. 2011)

Graph. 5.2. Land use in the Republic of Srpska by NEAP 2003 – ZPNK 2008 (Предић и сар. 2011)

По НЕАП подацима обрадиве површине заузимају 671.599 ха, а по ЗПНК је евидентирано 468.978 ха, али је од тога обрађено 353.641 ха, а 115.364 ха обрадивих површина означено је као запуштено земљиште (Таб. 5.1). Разлози за овакво коришћење обрадивих површина у то вријеме су били вишеструки: расељавање становништва усљед грађанског рата и слаб повратак, миниране површине, миграција становништва у урбане средине... (Предић и сар. 2011). Међутим, према статистичким подацима из 2018. године, наведеним у Стратегији развоја пољопривреде и руралних подручја Републике Српске 2021–2027. године, у претходном петогодишњем периоду обрађене површине су имале тренд благог повећања, а необрађене површине тренд благог смањења (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске 2021).

До смањења површина под пашњацима је дошло због њиховог некоришћења, тј. што је због неиспаше стоке дошло до постепеног мијењања вегетације на пашњацима (папрат, жбуње...), тако да су те површине по ЗПНК означене као „запуштени пашњаци“ (82.309 ха или 3,3% територије, Таб. 5.1). Један од могућих узрока оваквог стања је и постојање минираних површина, јер је у децембру 2008. године на 1,7% површине Републике Српске (41.964,4 ха) постојао неки од три степена опасности од мина (Предић и сар. 2009). На основу података Центра за уклањање мина у Босни и Херцеговини (*Bosnia and Herzegovina Mine Action Center*, ВНАС) из 2020. године, на простору Републике Српске опасност од мина је присутна на још 119.000 ха. Повећање површина под шумом (шуме и ниско растиње) у односу на стање из 2002. године је повољно са аспекта биодиверзитета, а неповољно за пољопривреду. Ове површине су углавном резултат сукцесије и запуштања обрадивих површина (Сл. 5.2. и Сл. 5.3) и пашњака. Оваква стања су видљивија приликом израда Основа општина. Ове површине су привремено изгубљене за пољопривреду, јер ће се након повратка, крчењем и поновним привођењем култури, поново користити у пољопривреди (Предић и сар. 2020).

Поред наведених констатација, на основу резултата приказаних у Таб. 5.1. могу се упоредити површине по начину коришћења у источном и западном дијелу Републике Српске (Граф. 5.3). Подаци са Граф. 5.3. потврђују познату чињеницу о различитом коришћењу пољопривредног земљишта у источном и западном дијелу Републике Српске, које произлази из специфичности тих подручја (рељеф, клима, становништво...). У источном дијелу доминирају пашњаци, али је утврђено да је 61.431 ха (2,5%) површина под запуштеним пашњацима, док у западном дијелу доминирају обрадиве површине, али је 87.953 ха (3,6%) обрадивих површина запуштено (Предић и сар. 2011). За изналагање узрока и рјешавања утврђеног стања потребно је спровести свеобухватнију акцију свих структура власти које се баве аграрном политиком.



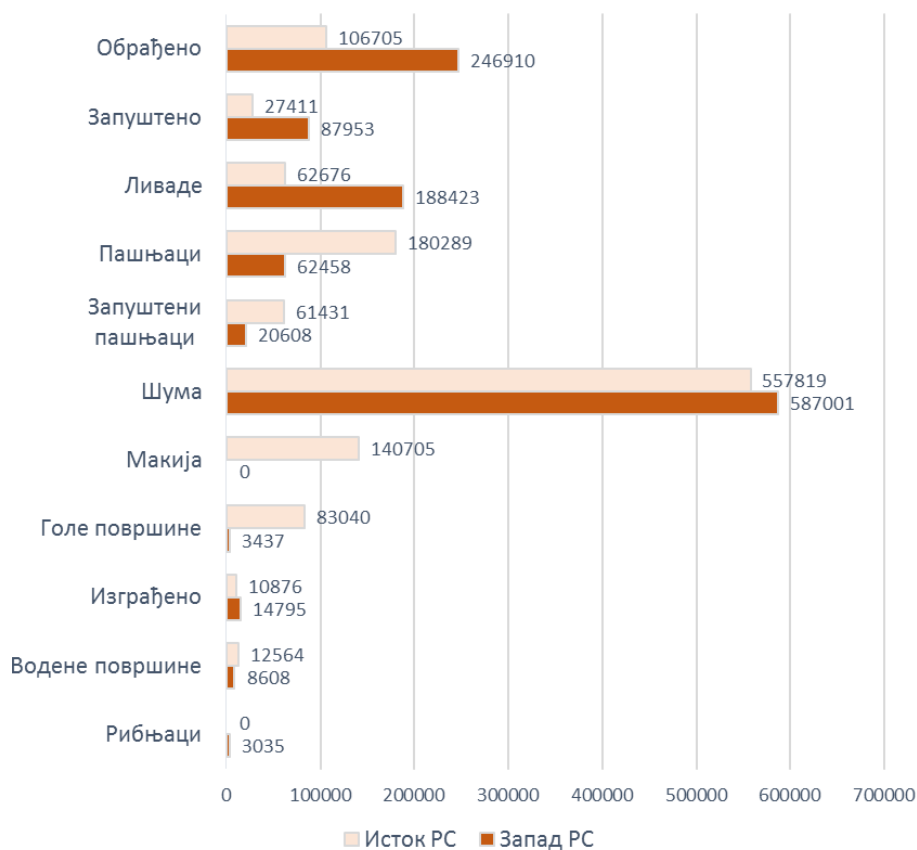
Сл. 5.2. Пољопривредне површине 2002. године, село Шушци, општина Шамац (Предић и сар. 2011)

Fig. 5.2. Agricultural area in village Šušci, Šamac Municipality, 2002 (Предић и сар. 2011)



Сл. 5.3. Шума 2019. године, село Шушци, општина Шамац (Предић и сар. 2020)

Fig. 5.3. Forest in village Šušci, Šamac Municipality, 2019 (Предић и сар. 2020)

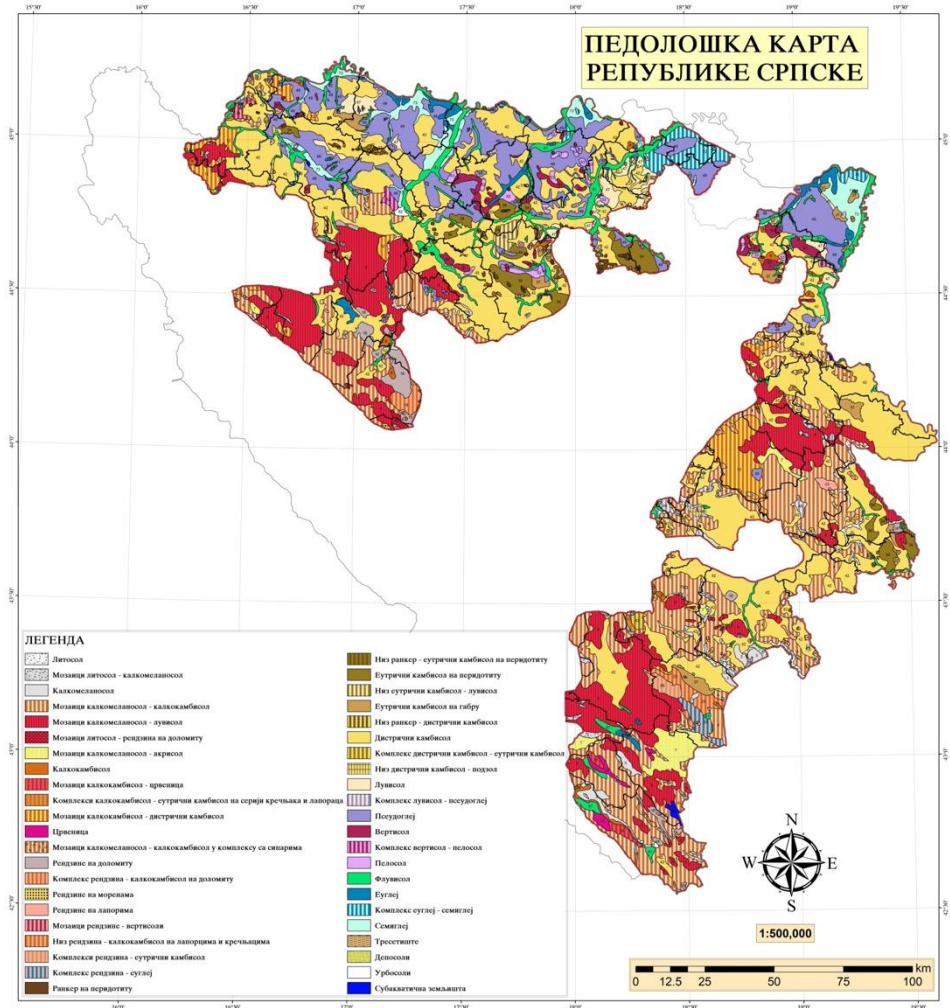


Граф. 5.3. Земљишни покривач и начин коришћења земљишта (ха) у источном и западном дијелу Републике Српске (Предић и сар. 2011)
Graph. 5.3. Land cover and land use (ha) in eastern and western part of the Republic of Srpska (Предић и сар. 2011)

На основу свега наведеног, без обзира на извор података, у Републици Српској је евидентан тренд смањења пољопривредних површина. Ову констатацију потврђују и наведени подаци, тј. према подацима из Националног акционог плана БиХ (НЕАП; Федерално министарство просторног уређења и околиша и Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске 2003), у Републици Српској је било 1.267.255 ха (50,6%) пољопривредног земљишта, према подацима из Основе РС (Предић и сар. 2009) било је 1.047.724 ха или 42,5%, а према Нацрту измена и допуна просторног плана Републике Српске до 2025. године (Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске 2013) пољопривредне површине заузимају 981.815 ха или 40,5%.

5.3. Најзаступљенији типови земљишта

Република Српска се карактерише врло израженом хетерогеношћу земљишног покривача, како у погледу заступљености појединих педосистематских јединица (Сл. 5.4), тако и у погледу својстава (морфолошких, физичких, хемијских и биолошких) земљишта (Марковић 2008).



Сл. 5.4. Педолошка карта Републике Српске (Аутори: Марковић М и Марковић Б)

Fig. 5.4. Soil map of the Republic of Srpska (Authors: Marković M and Marković B)

То је условљено разликама у геолошкој подлози, надморској висини, рељефу, клими и вегетационом покривачу, као и различитом утицају човјека на овај природни ресурс.

У Републици Српској доминирају типови земљишта из раздјела аутоморфних земљишта, мада знатан дио територије покривају и хидроморфна земљишта, нарочито у сјеверном, равничарском и благо брдовитом дијелу Републике Српске (долина ријеке Саве и њених притока). Од аутоморфних земљишта најзаступљенији су типови: дистрични камбисол, еутрични камбисол, лувисол и земљишне комбинације: мозаици калкомеланосол–калкокамбисол, мозаици калкомеланосол–лувисол, мозаици калкокамбисол – дистрични камбисол, рендзине на различитим супстратима, лувисол и други, а од хидроморфних земљишта доминирају псеудоглеј и флувисол, семиглеј, еуглеј и њихове комбинације (Таб. 5.2).

Таб. 5.2. Заступљеност педосистематских јединица у Републици Српској (на основу педолошке карте)

Table 5.2. Representation of soil units in the Republic of Srpska (based on soil map)

Ознака на карти	Назив педосистематске јединице из легенде педолошке карте	%	ха
1	Литосол	0,48659	12.003
2	Мозаици литосол–калкомеланосол	0,672737	16.595
3	Калкомеланосол	0,896306	22.110
4	Мозаици калкомеланосол–калкокамбисол	17,61144	434.428
5	Мозаици калкомеланосол–лувисол	13,13718	324.060
6	Комплекси литосол – рендзина на доломиту	0,080291	1.981
7	Мозаици калкомеланосол–акрисол	1,330273	32.814
9	Калкокамбисол	0,604872	14.921
10	Мозаици калкокамбисол – <i>terra rossa</i>	0,186043	4.589
11	Комплекси калкокамбисол – еутрични камбисол на серији кречњака и лапораца	0,045614	1.125
12	Мозаици калкокамбисол – дистрични камбисол	2,700283	66.609
13	<i>Terra rossa</i>	0,252313	6.224
14	Мозаици калкомеланосол–калкокамбисол у комплексу са сипарима	0,062278	1.536
16	Рендзине на доломиту	1,436084	35.424
18	Комплекси рендзина – калкокамбисол на доломиту	0,304974	7.523
21	Рендзине на моренама	0,018932	467

23	Рендзине на лапорима	0,142994	3.527
24	Мозаици рендзина–вертисол	0,11737	2.895
25	Низ рендзина – калкокамбисол на лапорцима и кречњацима	0,508449	12.542
26	Комплекси рендзина – еутрични камбисол	0,253145	6.244
29	Комплекс рендзина–еуглеј	0,336164	8.292
32	Ранкер на перидотиту	0,151398	3.735
33	Низ ранкер – еутрични камбисол на перидотиту	0,01864	460
34	Еутрични камбисол на перидотиту	2,455028	60.559
35	Низ еутрични камбисол – лувисол	0,293966	7.251
37	Еутрични камбисол на габру	1,247078	30.762
41	Низ ранкер – дистрични камбисол	0,072462	1.787
42	Дистрични камбисол	31,11693	767.573
43	Комплекс дистрични камбисол – еутрични камбисол	0,106321	2.623
45	Низ дистрични камбисол – подзол	0,136741	3.373
47	Лувисол	1,511262	37.279
48	Комплекс лувисол–псеудоглеј	0,333941	8.237
49	Псеудоглеј	9,860509	243.233
51	Вертисол (смоница)	1,248278	30.792
52	Комплекс вертисол (смоница) – пелосол	0,15082	3.720
53	Пелосол	0,672573	16.591
61	Флувисол (алувијално земљиште)	4,668024	115.148
71	Еуглеј	1,120007	27.628
72	Комплекс еуглеј–семиглеј	1,144523	28.232
73	Семиглеј	2,257152	55.678
74	Тресетиште	0,007921	195
81	Депосоли	0,038307	945
82	Урбосоли	0,10441	2.576
83	Субакватична земљишта	0,100755	2.485
Укупно:		100,0014	2.466.773

5.4. Плодност земљишта

Плодност земљишта представља основну карактеристику сваког типа земљишта и то је основна особина по којој се земљиште разликује од матичног супстрата (стијене) на којем је настало. Свако земљиште има одређени ниво плодности

која представља способност земљишта да биљкама обезбиједи потребну количину хранљивих материја које ће омогућити постизање одређеног приноса уз минимално коришћење ђубрива. За праћење плодности пољопривредног земљишта у функцији климатских промјена, најважнији параметри су: реакција (pH) земљишта, садржај органске материје и хумуса, тј. садржај органског угљеника. Да би се ове промјене могле пратити неопходно је успоставити систем трајног мониторинга пољопривредног земљишта, јер је стратегија одрживог развоја пољопривреде немогућа без праћења промјена у земљишту, као интегралног дијела мониторинга животне средине. Због многобројних специфичности земљишта у односу на воду и ваздух, овај задатак је јако комплексан и изискује висока финансијска улагања, а важност заштите земљишта (из више разлога) до сада није била довољно препозната од доносилаца одлука (Predić et al. 2013). ЈУ Пољопривредни институт Републике Српске је заједно са Фондом за заштиту животне средине и енергетску ефикасност Републике Српске од 2010. године спровео неколико пројеката који за резултат имају успостављање трајног мониторинга пољопривредног земљишта. Овај процес су убрзале и посљедице климатских промјена, тј. мајске поплаве 2014. године актуализовале су неопходност успостављања система трајног праћења пољопривредног земљишта кроз успостављање трајних станица мониторинга (Predić et al. 2014б, 2014в, 2016), јер се без њих не могу пратити промјене настале климатским непогодама када се у само неколико дана или сати могу знатно промијенити основне карактеристике (функције) пољопривредног земљишта (Сл. 5.5, Сл. 5.6. и Сл. 5.7).



Сл. 5.5. Депоновани муљ након повлачења ријеке Саве, Бијељина (Фото Предић Т 2014)

Fig. 5.5. Sludge deposited after the withdrawal of the flood wave of the Sava River, Bijeljina (Photo Predić T 2014)



Сл. 5.6. Нанос дебљине 30–40 цм у пољу пшенице након повлачења поплавног вала ријеке Босне (Фото Предић Т 2014)

Fig. 5.6. Deposition 30–40 cm thick in a wheat field after the withdrawal of the flood wave of the Bosna River (Photo: Predić T 2014)



Сл. 5.7. Однесен цјелокупан слој земљишта до матичног супстрата, ријека Дрина (Фото Предић Т 2014)

Fig. 5.7. The entire layer of soil was taken to the parent substrate, the Drina River (Photo Predić T 2014)

На подручју Републике Српске, плодност обрадивих површина (оранице, баште, ливаде, воћњаци и виногради) утврђена је на основу стварних и процијењених вриједности. Стварне вриједности су добијене на основу резултата контроле плодности 4.126 просјечних узорака ораничног слоја

земљишта који су у периоду 2014–2018. године узети са 5.777 ха обрадивих површина (1% од укупне обрадиве површине Републике Српске) (Predić et al. 2019). Процијене вриједности су добијене моделирањем постојећих резултата анализа и просторних података о земљишту примјеном алата географског информационог система (ГИС) (земљишни покривач и начин коришћења, педолошка карта, типови земљишта) (Предић и сар. 2009).

5.4.1. Реакција земљишта (pH)

Реакција земљишта (pH, активна и потенцијална) основна је карактеристика сваког типа земљишта од које зависе многе физичке, хемијске, биохемијске реакције и микробиолошка активност у земљишту. Од тога, да ли се ради о киселој, неутралној или алкалној реакцији земљишта, зависи степен приступачности за биљке одређених хранљивих елемената, што је у директној вези са оствареном количином и квалитетом приноса (Predić et al. 2014a).

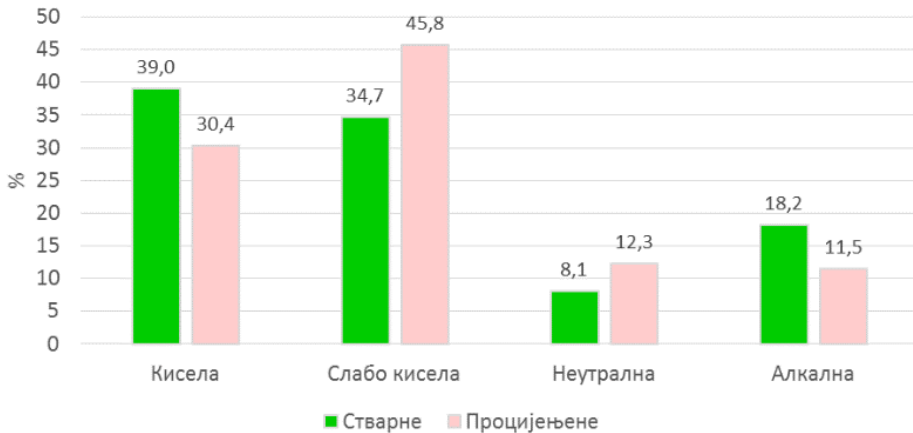
Климатске промјене углавном утичу на повећање киселости (закисељавање) земљишта и овај процес је успорен, али евидентан и зависи од количине, учесталости и pH вриједности атмосферских падавина. На промјену реакције пољопривредног земљишта у великој мјери утиче човјек примјењеним начином пољопривредне производње (учестала обрада, примјена физиолошки киселих ђубрива, неконтролисано наводњавање...), који углавном доводе до закисељавања земљишта. Међутим, правилном примјеном средстава за калцификацију у комбинацији са стајњаком, пољопривредни произвођачи врше корекцију pH вриједности киселих земљишта и доводе је у оквире који погодују гајењу планираних биљних врста. Из наведених разлога реакција (pH) обрадивих површина све мање зависи од типа земљишта, а све више од начина коришћења и од структуре биљне производње.

У Таб. 5.3. и на Граф. 5.4. приказана је заступљеност појединих класа активне реакције на обрадивим површинама Републике Српске. Просторни приказ је добијен ГИС моделирањем стварних вриједности резултата анализа (4.126 узорака) на укупну обрадиву површину Републике Српске (Сл. 5.8).

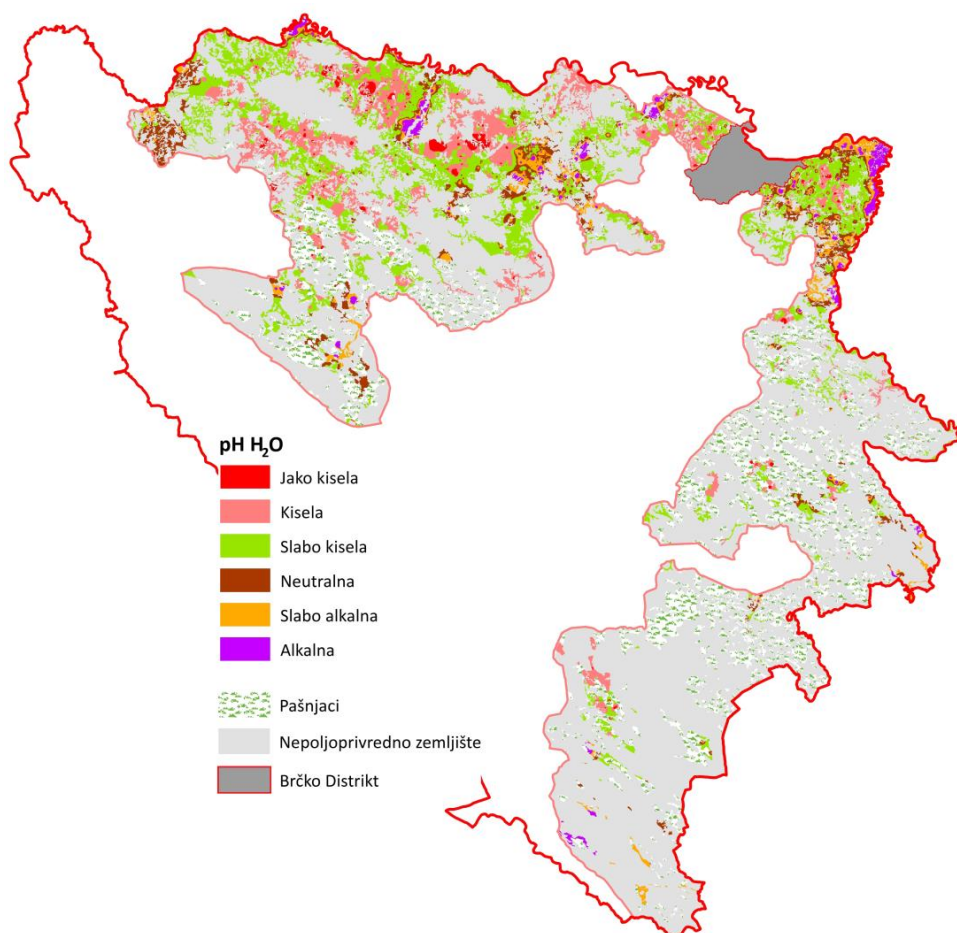
Таб. 5.3. Активна реакција земљишта (pH у H₂O) обрадивих површина Републике Српске (Предић и сар. 2009)
 Table 5.3. Active soil reaction (pH in H₂O) of arable land in the Republic of Srpska (Предић и сар. 2009)

Категорије активне реакције земљишта (pH у H ₂ O)		Стварне вриједности (%)*		Процијењене вриједности (%)**	
Кисело	Екстремно кисело	1,2	39,0	30,4	0,4
	Јако кисело	9,2			1,8
	Кисело	28,6			28,2
Слабо кисело	Слабо кисело	34,7	34,7	45,8	45,8
Неутрално	Неутрално	8,1	8,1	12,3	12,3
Алкално	Слабо алкално	6,3	18,2	11,5	7,6
	Алкално	11,9			3,9

Напомена: * На основу резултата анализа 4.126 просјечних узорака земљишта
 ** Моделиране вриједности на цијелу површину обрадивог земљишта Републике Српске (578.894 ха)



Граф. 5.4. Активна реакција земљишта (pH у H₂O) обрадивих површина Републике Српске
 Graph. 5.4. Active soil reaction (pH in H₂O) of arable land in the Republic of Srpska



Сл. 5.8. Процијењена активна реакција земљишта (pH у H₂O) обрадивих површина Републике Српске

Fig. 5.8. Estimated soil reaction (pH in H₂O) of arable land in the Republic of Srpska

На обрадивим површинама Републике Српске, и према стварним и према процијењеним резултатима, доминирају кисела и слабо кисела земљишта, док су неутрална и алкална земљишта знатно мање заступљена. Овај однос је различит у источном и западном дијелу Републике Српске (Таб. 5.4). Према процијењеним вриједностима, од 30% киселих земљишта или 175.857 ха (Таб. 5.4) 26,0% се налази у западном дијелу Републике Српске, а свега 4,3% или 25.132 ха је у источном дијелу Републике Српске.

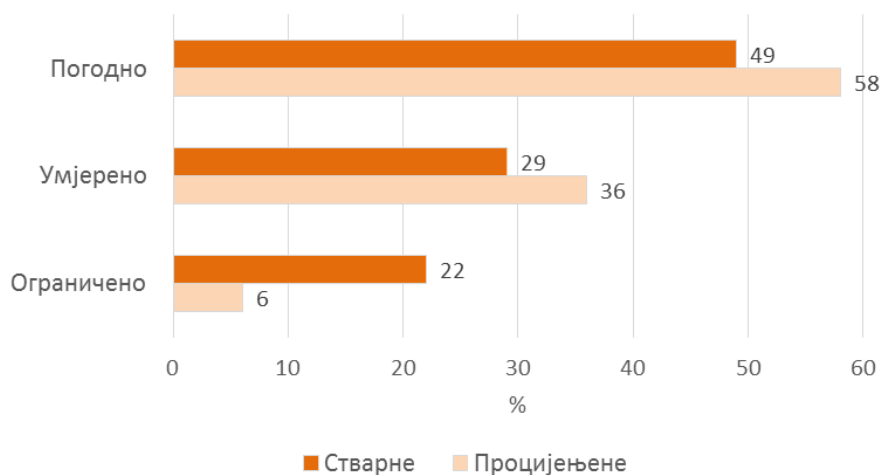
Таб. 5.4. Процијењене вриједности реакције земљишта (pH) обрадивих површина Републике Српске

Table 5.4. Estimated soil pH value of arable land in the Republic of Srpska

Категорије реакције земљишта		Република Српска		Западни дио Републике Српске		Источни дио Републике Српске	
		ха	%	ха	%	ха	%
Кисело	Екстремно кисело	1.999	0,3	1.924	0,3	74	0,0
	Јако кисело	10.588	1,8	8.922	1,5	1.665	0,3
	Кисело	163.270	28,2	139.845	24,2	23.393	4,0
Слабо кисело	Слабо кисело	265.010	45,8	196.198	33,9	68.810	11,9
Неутрално	Неутрално	71.095	12,3	45.585	7,9	25.522	4,4
Алкално	Слабо алкално	44.089	7,6	23.064	4,0	21.041	3,6
	Алкално	22.843	3,9	11.240	1,9	11.613	2,0
Укупно:		578.894	100	426.777	73,7	152.117	26,3

Свака биљна врста има одређене оптималне захтјеве за гајење. За већину пољопривредних биљних врста оптимална реакција (pH) слабо је кисела и неутрална. У јако киселим и екстремно киселим земљиштима код ових биљних врста може доћи до мањих или већих поремећаја у развоју, што директно утиче на квалитет и количину приноса. Слични поремећаји се догађају и у алкалним земљиштима. На Граф. 5.5. приказана је погодност гајења пољопривредних биљних врста у зависности од активне реакције ораничног слоја земљишта обрадивих површина у Републици Српској. На основу добијених резултата произлази закључак да у Републици Српској реакција земљишта (pH) није значајнији ограничавајући фактор гајења пољопривредних биљних врста. Међутим, код стварних показатеља на 22% испитаних парцела киселост земљишта представља ограничавајући фактор (pH < 5,20). На овим земљиштима треба гајити биљке које подносе наведене услове киселости или вршити поправке у виду примјене средстава за калцификацију у комбинацији са примјеном органских ђубрива (Predić et al. 2019, 2020).

Треба нагласити да је врло битно да се контрола плодности континуирано спроводи и да се приликом узимања узорака изврши геопозиционирање парцела. На тај начин се добија гушћа мрежа тачака, која омогућава да приказ процијењених (моделираних) података у простору буде релевантнији, што ће допринијети да предложене мјере буду ефикасније (Predić et al. 2019, 2020).



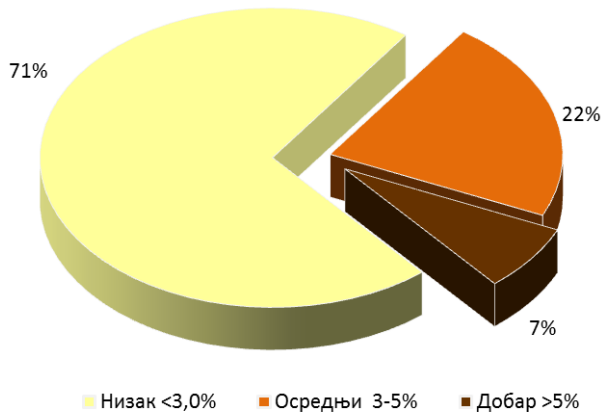
Граф. 5.5. Погодност гајења пољопривредних биљних врста у зависности од активне реакције земљишта (pH у H₂O) обрадивих површина Републике Српске

Graph. 5.5. Suitability of crop growing according to the soil reaction (pH in H₂O) of arable land in the Republic of Srpska

5.4.2. Садржај хумуса

Садржај хумуса је основни параметар плодности земљишта. Неоспорно је позитивно дејство хумусних материја на одржавање повољних водно-ваздушних и укупних биолошких својстава земљишта, а нарочито на садржај и активност тзв. хранидбеног хумуса, који има директан утицај на исхрану биљака, а у првом реду на исхрану биљака азотом. Садржај хумуса испод 2% највјероватније представља тзв. „чврсто хумусно језгро“, које је релативно стабилно и отпорно на даљњу микробиолошку разградњу, тако да се не може узимати у обзир као одређена залиха храњивих материја (Radanović 1995), али може као трајнија акумулација органског угљеника.

На основу резултата контроле плодности од 2014. до 2018. године код 71% испитиваних парцела утврђен је низак садржај хумуса (< 3%) (Граф. 5.6). Садржај хумуса у пољопривредном земљишту, поред типа земљишта, у великој мјери, као и реакција земљишта, зависи од начина коришћења, тј. типа пољопривредне производње (органска, интегрална...) и од структуре биљне производње (Predić et al. 2019).



Граф. 5.6. Садржај хумуса у испитиваним узорцима земљишта обрадивог земљишта Републике Српске (Predić et al. 2019)

Graph.5.6. Content of humus in the soil samples of arable lands in the Republic of Srpska (Predić et al. 2019)

На испитиваним парцелама (4.126 узорка) доминирају житарице (Таб. 5.5), тј. једногодишње биљне врсте код којих се обрада земљишта врши минимално једном годишње и код којих се мање користе органска ђубрива, тако да се садржај хумуса у овим земљиштима континуирано смањује.

Таб. 5.5. Структура биљне производње на парцелама код којих је вршена контрола плодности земљишта (Predić et al. 2019)

Table 5.5. Land use of the sampled soil taken for the analysis of the soil fertility (Predić et al. 2019)

Р. бр.	Усјев/засад	ха	%
1.	Житарице	4.098	71,0
2.	Поврће	190	3,3
3.	Воћњаци и виногради	423	7,3
4.	Ливаде	1.065	18,4
Укупно:		5.776	100,0

5.4.3. Садржај органског угљеника

Органску материју у земљишту чине ткива мртвих биљака и животиња која се налазе у различитим фазама разградње и чије су честице мање од 2 мм (FAO

2017). Око 95% органске материје у земљишту чини хумус, а 58% хумуса чини угљеник (Resulović 1969). Залиха органског угљеника је просторно и временски промјенљива и одређена је различитим абиотским и биотичким факторима (Weissert et al. 2016). Повећање залиха органског угљеника у земљишту доводи до смањења садржаја CO_2 у ваздуху, тако да промјене у залихама органског угљеника у земљишту (повећање или смањење) могу имати глобални значај и могу ублажити или погоршати климатске промјене (Batjes and Sombroek 1997). Да би се одредила улога земљишта у кружењу органског угљеника, потребно је процијенити његове залихе (Yang et al. 2007).

Моделирањем постојећих резултата анализа земљишта о садржају хумуса и података педолошке карте Predić et al. (2019) извршили су процјену садржаја органског угљеника у обрадивим површинама Републике Српске (578.894 ха). На основу података из Таб. 5.6. може се констатовати да се пољопривредна производња у Републици Српској на 81,5% обрадивих површина одвија на земљишту са јако ниским садржајем органског угљеника, а на 17,3% површина са ниским садржајем, што укупно представља 98,5% или 570.166 ха обрадивих површина са недовољним садржајем органског угљеника.

Таб. 5.6. Заступљеност класа садржаја органског угљеника у пољопривредном земљишту Републике Српске (Predić et al. 2019)

Table 5.6. Class of the organic carbon content in agricultural land of the Republic of Srpska (Predić et al. 2019)

Класа садржаја органског угљеника	ха	%	
Јако низак	< 1%	469.967	81,2
Низак	1,01–2,0%	100.199	17,3
Осредњи	2,01–6,0%	8.363	1,4
Висок	> 6,01%	365	0,1
Укупно:		578.894	100

Напомена: Класификација према Van Ranst et al. (1995)

Према резултатима Predić et al. (2019) процијењене залихе органског угљеника у ораничном слоју обрадивог пољопривредног земљишта Републике Српске износе 32.584.900 тона, што у просјеку износи $56,3 \text{ т ха}^{-1}$, а то по Van Ranst et al. (1995) представља низак садржај. Слични резултати су добијени и у Србији, гдје је у ораничном слоју земљишта (0–30 цм) утврђена просјечна вриједност органског угљеника од $68,99 \text{ т ха}^{-1}$ или 1,58% (Vidojević et al. 2014). Резултати овог истраживања представљају први корак ка успостављању система праћења залиха органског угљеника у пољопривредном земљишту Републике Српске и његовог утицаја на климатске промјене.

5.5. Угроженост земљишта и примарне пољопривреде у свијету и у Републици Српској

Утицај климатских промјена на примарну пољопривредну производњу, понајвише биљну производњу, проучава се већ неколико деценија широм свијета, било да се користе подаци измјерених климатских параметара или подаци регионалних климатских модела. Све анализе упућују да ће се климатске промјене манифестовати преко повишених температура ваздуха и нарушеног режима и суме падавина (IPCC 2013). Посљедице наведених поремећаја ће се манифестовати учесталим појавама суша, поплава, олуја, пожара итд, што ће се негативно одразити на плодност земљишта и плодношеће биљака (Forzieri et al. 2016; European Environment Agency 2017). Извјештај Европске комисије наводи седам главних пријетњи које узрокују деградацију земљишта у Европи: ерозија земљишта, пад садржаја органског угљеника, збијање, нарушавање биодиверзитета земљишта, заслањивање, загађење и стварање плужног ђона (European Commission 2002). Наведена становишта потврђују истраживачи из других дијелова свијета (Hatfield et al. 2020). У сваком климатском подручју степен утицаја и манифестације су другачији. Тако, на примјер, у аридним, семиаридним и сувим субхумидним условима угроженост земљишта се јавља усљед синергијског утицаја суше, смањене покривености биљним покривачем и екстремним падавинама, које стварају ризик од ерозије земљишта, затим усљед повећане салинизације, смањења органске материје и нарушавања физичких особина земљишта (Kosmas et al. 2003; Colantoni et al. 2015; Karavitis et al. 2020). У семихумидним и хумидним условима јавља се проблем ерозије усљед великих количина падавина, превлажености, збијања земљишта, губитка органске материје усљед повећаног разлагања изазваних повећаном биљном продуктивношћу и присуства довољно количина воде, а самим тим и нарушавања плодности земљишта (Neset et al. 2018; Hamidov et al. 2018).

5.5.1. Ризици од поплава, превлаживања и ерозије

Због својих географских, топографских и климатских карактеристика, земљишта Републике Српске изложена су готово свим горенаведеним ризицима. У сјеверном дијелу Републике Српске у условима умјереноконтиненталних климатских услова, земљишта су изложена превлаживању усљед високих водостаја ријека и сливања вода са виших терена као и вишкова воде усљед обилних падавина, затим све чешће појаве екстремних суша, што доводи до збијања земљишта и губитка органске материје.

Кроз историју, климатски и земљишни услови су утицали на примарну пољопривредну производњу, у којој је доминирало сточарство и узгој ратарских култура (пшенице, кукуруза, крмног биља попут дјетелине и луцерке, затим кромпира), а у мањој мјери повртарство, воћарство и виноградарство. Изградњом насипа за регулисање ријечних токова и система за одводњавање, који су започети још у XIX вијеку, а интензивније послје Другог свјетског рата, обезбијеђен је повољнији водно-ваздушни режим земљишта, а самим тим и бољи услови за развој пољопривредне производње.

Према подацима из Стратегије интегралног управљања водама Републике Српске 2015–2024. године, постоји 11 већих мелиорационих подручја (седам у сливу ријеке Саве, четири у крашким пољима јадранског слива), у оквиру којих функционише 21 мелиорациони систем, којима се штити од сувишних вода око 90.000 ха земљишта највиших бонитетних класа (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске 2021). У оквиру тих система се око 78.000 ха одводњава примјеном пумпних станица. Највећи и функционално најзначајнији системи за одводњавање у Републици Српској су у доњим токовима притока ријеке Саве и уз њен непосредан ток. Потпуни системи основне одводње завршени су на око 48.500 ха, а дјелимично на око 52.700 ха. Детаљном одводњом обухваћено је око 18.200 ха.

У Херцеговини, у условима медитеранске климе, редовно се јавља двојак негативан утицај на земљиште: превлаживање у прољећно-јесењем периоду и редовна појава суше у љетњем периоду. Честа појава јаких љетњих пљускова, олуја и града подстиче ерозионе процесе због недовољне покривености земљишта вегетационим покривачем, што је последица неконтролисаног крчења шума у даљој прошлости, а данас најчешће усљед суша, а понекад и пожара.

У централном дијелу у условима субхумидне планинске и планинско-котлинске климе доминантан ризик за очување земљишта настаје усљед бујичних вода, стварајући ерозионе процесе и клизишта.

Према поменутом стратешком документу (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске 2021) процјењује се да је око 85% територије Републике Српске захваћено процесима ерозије. Ти процеси су најизраженији у сливу Дрине и у сливу Јадранског мора, гдје је око 94% површине подвргнуто неком облику ерозије, док је ерозија најмање присутна у непосредном сливу Саве. Процесима ерозије већег интензитета обухваћено је само око 15% површина под ерозијом, док је највећи дио територије са slabим и врло slabим процесима, који се могу санирати превасходно биолошким мјерама заштите. Бујични сливови су најзаступљенији у сливу Дрине (преко 250 мањих сливова) и у сливовима Неретве и Требишњице (преко 200). Бујица

има и по рубном подручју непосредног слива Саве (преко 50), које изазивају велике штете, јер непосредно угрожавају долинско пољопривредно земљиште.

Досадашњи радови на заштити од ерозија и бујица углавном су имали санациони карактер на мјестима највећих штета од бујица. Биолошки радови у сливу били су много скромнији по обиму, при чему је тим радовима третирано само око 10.000 ха ерозивних површина, што је недовољно за конзервацију земљишта и биолошко уређење сливова, којим би се, поред рјешавања проблема ерозије, на третираним површинама створили повољни услови за развој пољопривреде, шумарства и других повезаних производних система.

Крашка поља се потпуно или дјелимично плаве у кишним дијеловима године, због немогућности евакуације отицаја усљед недовољне пропусне способности природних подземних одводника у карстним формацијама. Пошто се у модификованим климатским условима кише концентришу од позног јесењег периода до оквирно почетка прољећа, плављења су сезонска и доста предвидива. Поплаве у неким подручјима, попут Дабарског поља, просјечно трају око 110 дана (а максимално 216), што потпуно онемогућава коришћење земљишта и доводи до његове еколошке деструкције. У Херцеговини у другој половини XX вијека ријешени су неки горући проблеми превлаживања. Каналисањем Требишњице дјелимично је, али не и у потпуности, ријешен проблем плављења Поповог поља. Под утицајем климатских промјена, знатно је усложњена хидролошка ситуација, која се још компликује усљед промјене режима рада реверзибилне хидроелектране „Чапљина“. Додатна изградња хидроенергетских постројења могла би да ублажи ризик од поплава, али се не може искључити такав догађај у скорашњим или будућим климатским условима.

Од шездесетих година прошлог вијека дјелимично због повољних климатских услова, уређења водног режима земљишта, примјене минералних ђубрива и средстава за заштиту биља, као и уз механизовану обраду земљишта, дошло је до континуираног пораста приноса гајених усјева. На први поглед рекло би се да је интензивна пољопривредна производња само позитивно утицала на плодност земљишта. Међутим, све мањи унос органске материје путем стајњака, паљењем жетвених остатака и збијање земљишта коришћењем тешке механизације може, дугорочно посматрано, штетно дјеловати на одрживу пољопривредну производњу. Томе треба додати и чињеницу да је посљедњих година учестала појава јаких и екстремних суша, што условљава примјену наводњавања.

5.5.2. Ризици усљед суше

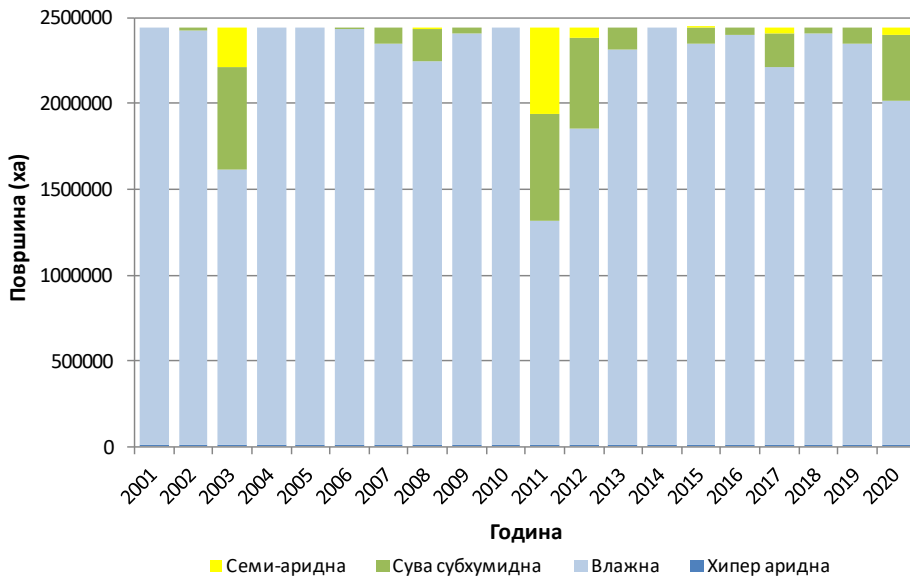
Подручје Републике Српске је у посљедњих двадесет година било под утицајем смјене сушних и влажних година. Иако су доминирале влажне године, обиљежене катастрофалним поплавама које су изазвале велике штете, није занемарљив утицај суша, од којих се издвајају оне из 2000, 2003, 2007/2008, 2011. године, а посебно 2012. године, која је по свом интензитету и захваћеној површини најсушнија за период праћења од 130 година, затим она из 2017. године, као и 2018. године, у којој је било сушно прољеће и јесен, што је условило отежану сјетву прољећних и јесењих усјева (Републичка управа цивилне заштите 2013; РХМЗРС 2021а). У Стратегији прилагођавања на климатске промјене и нискоемисионог развоја за Босну и Херцеговину наводи се да је, по процјенама Удружења пољопривредних произвођача, суша само 2012. године изазвала штете од око милијарду америчких долара (Кнежевић et al. 2013).

Утицај суше на приносе ратарских и повртарских култура је једногодишњи, у воћарству је двогодишњи, а кад је у питању очување земљишта, има вишевјековни значај. Као што је већ напоменуто, усљед суше губи се биљни покривач, који штити земљиште од бујица и ерозије, што може изазвати његов физички нестанак, затим смањује се педолошки биодиверзитет, који је важан фактор у формирању и очувању земљишта.

Процјеном утицаја суше на оствареност приноса на неким локалитетима, попут Бијељине или Бање Луке (Žurovec i Čadro 2011; Stricevic et al. 2017), утврђено је да усљед недостатка воде долази до пада приноса љетњих култура готово сваке године на плитким земљиштима (од 5% до 90%). Средње дубока земљишта обезбјеђују нешто више воде, тако да падови приноса љетњих култура не премашују 50% осим у екстремним условима суше, кад могу износити и до 80%. Дубока и плодна земљишта каква се налазе у сјеверном дијелу Републике Српске обезбјеђују велику резерву воде, чак и преко 200 мм, што омогућује да просјечни падови приноса, на примјер кукуруза, буду до 20%, па чак и у екстремним годинама не прелазе 35% (Žurovec i Čadro 2011).

По раније урађеним анализама симулације приноса пшенице, кукуруза и кромпира, као повртарске културе која се може гајити без наводњавања (Žurovec i Čadro 2011; Stricevic et al. 2017; Stričević et al. 2017), дошло се до сазнања да постоји јасна веза да просјечни приноси у највећој мјери зависе од хидролошке године. У анализираном периоду 2004–2013. процијењено је варирање смањења приноса из године у годину у опсезима: за пшеницу до 23%, за кукуруз до 41%, за кромпир 1–35% и јечам 33% у односу на просјечно добре приносе из повољне хидролошке године. Максималне вриједности

падова су углавном постигнуте екстремно сушне 2012. године, с изузетком пшенице и јечма, гдје су највећи приноси умањени усљед превлажености 2010. године. С тим у вези, процијењени су годишњи директни губици добијени као производ процијењеног годишњег пада приноса и укупне вриједности производње сваке културе (укупан принос помножен цијеном по килограму) за одговарајућу годину. Вриједности укупне производње и просјечне откупне цијене за сваку културу по години преузете су из базе података Републичког завода за статистику Републике Српске. Процијењене штете усљед неповољних хидролошких и климатских прилика у периоду од десет година (2004–2013) износе око 1,2 милијарде конвертибилних марака. Готово четвртина од процијењених штета је остварена 2012. Процијењене штете су срачунате у односу на уобичајене приносе хидролошки повољне године у реалним условима производње, а не на основу генетског потенцијала који би могао бити остварен.



Граф. 5.7. Индекс аридности на територији Републике Српске у периоду 2001–2020. године (Open Foris 2021)

Graph. 5.7. Index of aridity over the territory of the Republic of Srpska in the period 2001–2020 (Open Foris 2021)

Уколико узмемо да се степен аридности у посљедње двије деценије све чешће јавља на мањем или већем подручју, као што показују подаци аридности (Граф. 5.7) добијени сателитским снимцима (доступни на: www.openforis.org),

од семиаридних услова, сувих субхумидних до супераридних на мањим површинама, јасно је да се у будућности могу очекивати појаве суша већег или мањег интензитета, и с тим у вези коришћење и очување земљишта.

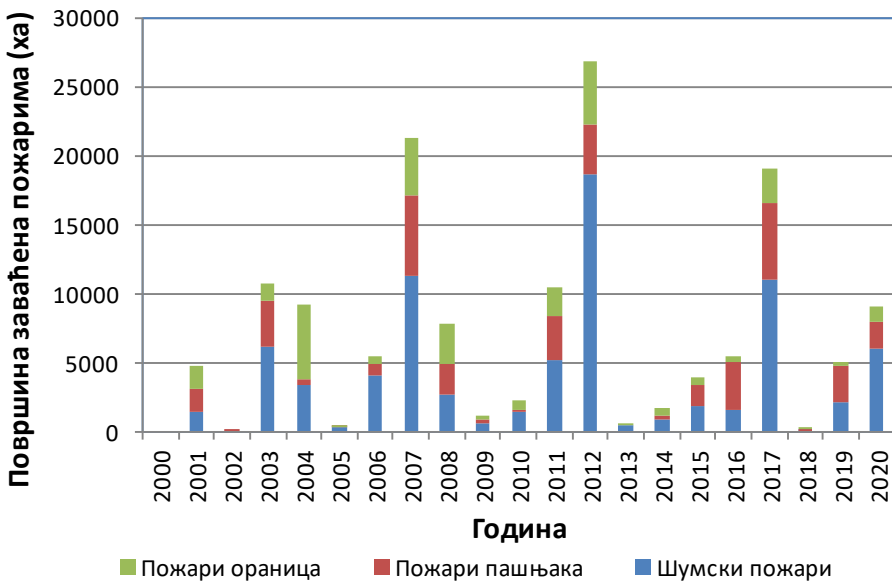
Наводњавање у климатским условима какви владају на подручју Републике Српске и какви се предвиђају у скорој и даљој будућности (Trbić et al. 2014) и даље ће представљати опциону мјеру (о чему ће касније бити ријечи), јер се биљна производња може и моћи ће се релативно успјешно одвијати на средње дубоким и дубоким земљиштима у условима природне снабдјевености водом, посебно када говоримо о најважнијим ратарским културама, попут кукуруза, пшенице, јечма, луцерке и других травнатих врста које имају дубок и разгранат коријенов систем, као и воћних засада, попут шљиве, вишње, ораха. Повртарски топлољубиви усјеви (као што су: парадајз, краставац, паприка, купусњаче) и савремени воћњаци захтијеваће примјену наводњавања (Stričević et al. 2017, 2019).

Развој наводњавања ће бити нови потенцијални ризик уколико се не буду примјењивале адекватне агротехничке мјере (контрола квалитета и количине воде и унос органске материје), којим се обезбјеђује добра структурност земљишта, конзервација влаге и топлотни режим. Наводњавањем се из земљишта много интензивније врши минерализација органске материје, па је оно подложно осиромашењу и претварању у пустиње. Да би се то спријечило, неопходно је заоравати жетвене остатке, или гајити специјалне, бујне усјеви (попут слачице) који се заоравају, или обезбиједити унос стајњака. Оптималну количину стајњака по хектару обезбјеђују 2 грла крупне стоке (говече, коњ). Европски просјек је једно грло, док је у Републици Српској свега 0,7 условних грла по хектару (Републички завод за статистику Републике Српске 2020). Дакле, да би се земљишта очувала и смањио ризик од дезертификације, паралелно са наводњавањем потребно је одржати или побољшати ниво сточарства, посебно у близини заливних поља. Нажалост, посљедње деценије примјећује се мали, али из године у годину стални пад сточарске производње, што значи и унос мање органске материје у земљиште.

5.5.3. Ризик усљед губитка органске материје и смањења плодности земљишта

Смањење плодности земљишта може се дефинисати као пропадање физичких, биолошких и хемијских својстава, што доводи до губитка његове продуктивности. Главни фактори су: смањење (или губитак) органске материје који умањује биолошку активност, погоршава структуру земљишта, погоршава интензитет инфилтрације и задржавање воде, и смањује обезбјеђење хранива

биљкама. Иако су наведени процеси одавно познати пољопривредницима и агрономима, ипак је усљед механизоване пољопривреде дошло до деградације плодности земљишта, тј. губитка органске материје на многим земљиштима широм свијета (Sekulić et al. 2010; Rhodes 2014). Усљед суше, жетвени остаци могу бити минимализовани, а највећи проблем су пожари, случајни – настали усљед високих температура, интензивног зрачења и суве подлоге (земљиште и лишће) или намјерни, када пољопривредници пале жетвене остатке, због отежаног заоравања, нарочито послије узгоја кукуруза, који представља најраспрострањенију културу у Републици Српској. На основу сателитских снимака установљена је површина на којој су се десили пожари у претходне двије деценије (Граф. 5.8).



Граф. 5.8. Спаљене површине земљишта у периоду 2000–2021. године по начину коришћења (Open Foris 2021)

Graph. 5.8. Burned soil area in the period 2000–2021 by land use (Open Foris 2021)

Јасно се види да готово нема године без пожара. Срећом, у највећем броју година спаљене површине су испод 5.000 ха, у четири године су то биле површине од око 10.000 ха, а сушних 2007, 2012. и 2017. године чак преко 20.000 ха. Земљишта на овим спаљеним површинама изложена су великом ризику од физичког нестанка усљед ерозије, поготово ако се простиру на нагнутим површинама, што је вјероватно, јер су пожари више заступљени на

шумском земљишту, мада су захваћене знатне површине под ораницама и пашњацима. С обзиром на то да резултати климатских сценарија указују да ће у будућности климатски услови бити сувљи и топлији (Trbić et al. 2014), постоје већи ризици за очување земљишта и његових производних функција.

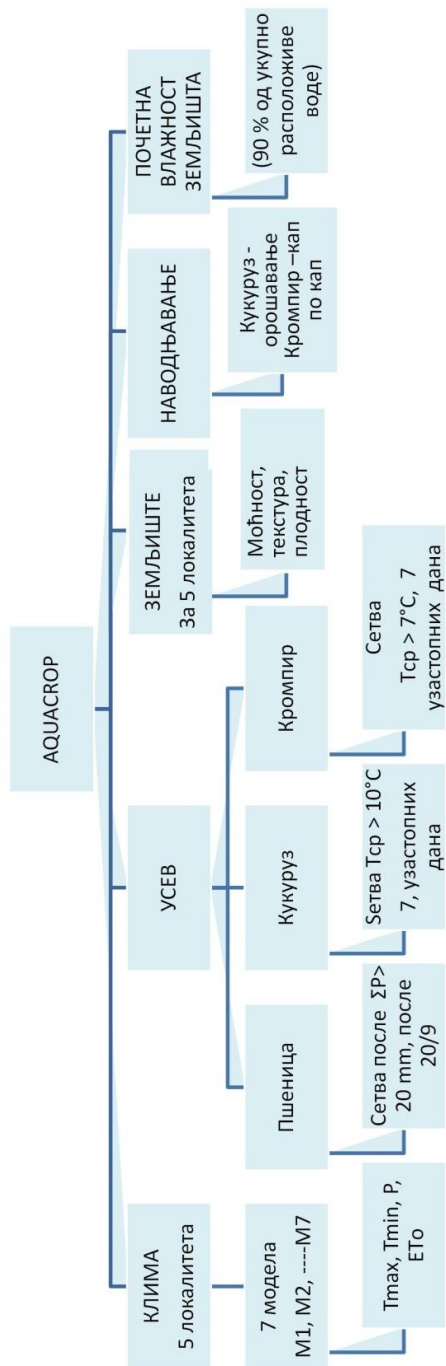
5.6. Ризици коришћења и очувања земљишта у будућим климатским условима

Претходне деценије на подручју Републике Српске засијано је око 55% укупно обрадивих површина. У структури сјетве најзаступљеније су ратарске културе: кукуруз се гаји на 43,5% засијаних површина, пшеница и јечам на 18%, затим кромпир на 4% и пасуљ на 1%. Остале културе се гаје на испод 0,5% засијаних површина. Од воћних засада најзаступљенији су засади шљиве, јабуке, малине и крушке, а на мањим површинама су остали воћни засади (Републички завод за статистику Републике Српске 2020).

Досадашња пољопривредна производња се углавном обављала у природним условима снабдијевања водом. Према Студији одрживог развоја иригационих система на подручју Републике Српске наводњавање је могуће примијенити на свега 23,5% обрадивих површина, односно на око 158.000 ха (Завод за водопривреду д.о.о. Бијељина 2008), али се оно примјењује на око 1.700 ха, са тенденцијом повећања површина под наводњавањем. Постоји оправдана бојазан са каквим ће се ризицима сусрети биљна производња у условима измијењене климе, а самим тим и одрживост земљишта. Према ранијим климатским сценаријима А1В и А2, добијеним преко регионалног климатског модела за атмосферу и океан EBU–POM (*Eta Belgrade University – Prinstone Ocean Model*), установљено је да ће крајем вијека клима у Републици Српској бити топлија и сувља у поређењу са периодом 1961–1990. године (Trbić et al. 2014). Вегетациона сезона раста биће продужена за скоро 50 дана, а рокови сјетве ће се помјерати ка раном прољећу (Stricevic et al. 2017; Lipovac et al. 2018). Отуда је разумно очекивати да ће се повећати потрошња воде од стране усјева, као и норме наводњавања. Новији климатски модели из EURO-CORDEX базе узимају другачији референтни период (1986–2005), тако да се могу пројектовати будући климатски сценарији у односу на период када су већ измјерене веће варијације климе, чији смо свјedoци били.

Да би се процијенили будући ризици од суше и превлаживања урађена је процјена мањкова воде, тј. норме наводњавања (nN), дужина вегетационе сезоне и рокови сјетве за кукуруз, пшеницу и кромпир моделом AquaCrop, за најзаступљеније и економски најзначајније културе: кукуруз, пшеницу и

кромпир. За природне травњаке (ливаде, дјетелина, смјеше трава, пашњаци) и воћне засаде јабука, крушака, вишања, трешања, затим шљива, кајсија и бресака одређени су само вишкови и недостатак воде, примјеном метода водног биланса, узимајући у обзир специфичну потрошњу воде сваке културе. Изабрано је 5 репрезентативних локалитета за Републику Српску (Бања Лука, Добој, Бијељина, Соколац и Требиње), у којима иначе владају другачији климатски услови (умјереноконтинентални, планински и медитерански), како би се вјеродостојније приказао утицај климатских промјена. Улазни климатски подаци су резултати ансамбла од седам регионалних климатских модела из EURO-CORDEX базе. За највјероватнију вриједност узета је медијана ансамбла резултата добијених за сваки члан ансамбла. Референтни (базни) период је период 1986–2005. године, будући периоди су: 2016–2035. (блиска будућност), 2046–2065. (средина вијека) и 2080–2099. (крај вијека). Калибрација модела AquaCrop v.6.1 заснована је на доступним научним истраживањима и студијама (Biancalani et al. 2004; Komljenovic et al. 2006; Ćota and Šilj 2012; Ćorić et al. 2014; Govedarica et al. 2016; Stricevic et al. 2017; Stričević et al. 2017). Усвојено је да ће се примјењивати исте агротехничке мјере и технологија гајења до краја вијека (начин обраде земљишта, ђубрења, заштите биља). Једина промјена узета у разматрање јесу рокови сјетве, који у условима климатских промјена могу бити од круцијалног значаја. Подаци са терена указују да се у садашњим условима пољопривредници руководе информацијама о топлотном режиму земљишта, ради одређивања рокова сјетве, чије податке могу преузети из фенолошког билтена који објављује Републички хидрометеоролошки завод (РХМЗРС 2021б). Уз благовремену сјетву усјеви боље искоришћавају влагу земљишта, у фенолошки осјетљивом периоду на топлотни и водни стрес, улазе у повољније метеоролошке услове. Поређење добијених резултата дато је као релативни однос, на примјер, могућ принос (или норма наводњавања) на доминантном типу земљишта на локалитету, у датим климатским условима током референтног периода и оног који се може очекивати у будућим климатским условима. Добијени приноси јесу упоредиви са стварно добијеним (Stricevic et al. 2017), али овим начином се избјегло фаворизовање, на примјер неког хибрида или сорте, који у току једне године, на једном огледном пољу, могу постићи веома различите приносе (Žurovec i Ćadro 2011; Ćota and Šilj 2012). Такав приступ користили су и други истраживачи (Bird et al. 2016; Linker et al. 2016). Подаци о земљишту (моћност, дубина хоризоната и њихов текстурни састав) преузети су из SOTER (*Soil and Terrain Database*) базе података (FAO 2021). Рокови сјетве су постављени на основу најнижих температура које не изазивају стрес.



Сл. 5.9. Шема улазних података за AquaCrop модел
 Fig. 5.9. Diagram of Aquacrop model input data

За кукуруз је установљено преко фенолошких осматрања (2004–2013) да су оптимални рокови сјетве када се средња температура ваздуха (T_{cp}) > 10 °C јавља 7 узастопних дана (Stricevic et al. 2017), почевши симулације од 1. марта, јер пољопривредници неће ранија кренути у сјетву због ризика, пошто из искуства знају да послјије првог топлотног периода, у фебруару на примјер, долази још неки хладнији талас. За кромпир је узето да су оптимални рокови сјетве када се $T_{cp} > 7$ °C јавља 7 узастопних дана, а сјетва пшенице ће се обавити послјије појаве падавина суме > 20 мм, почевши од 20. септембра, када почињу оптимални рокови сјетве. Наводњавање кукуруза је предвиђено методом орошавања, а кромпира методом кап по кап. Шема приказа симулације дата је на Сл. 5.9.

5.6.1. Кукуруз

У Таб. 5.7. приказани су рокови сјетве и дужина вегетационог периода кукуруза. Из добијених резултата, може се закључити да модел добро симулира оптималне рокове сјетве, јер су у сагласности са просјечним и актуелним роковима сјетве за кукуруз, који су осмотрени и доступни на сајту Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске.

У будућим климатским условима очекује се помјерање рокова сјетве у односу на референтни период, на свим проучаваним локалитетима од 6 до 9 дана у блиској будућности, средином XXI вијека најмање промјене се очекују на локалитету Добоја, 7 дана, а на осталим подручјима 11–14 дана, док се највеће помјерање ка раном прољећу очекује крајем вијека, од 17 до 21 дан (Таб. 5.7). Поред тога, очекује се и краћи вегетациони период. Најмање скраћење вегетационог периода очекује се у медитеранском климату, на подручју Требиња, 9, 12 и 18 дана почетком, средином и крајем вијека, редом, гдје је иначе најкраћа вегетација, јер се за краће вријеме може накупити довољна температурна сума за сазријевање кукуруза. Највеће скраћење се очекује на подручју Добоја (од 31 дан почетком вијека, па чак до 52 дана крајем вијека), јер нешто каснијом сјетвом у односу на друге локалитете, кукуруз улази у фазу сазријевања у хладнијем дијелу године, па је потребно дуже вријеме да се накупи довољна температурна сума.

Помјерање рокова сјетве, уз релативно довољно падавина у вегетационом периоду на свим локалитетима (> 300 мм) и накупљене земљишне влаге до средине вијека, утицаће да се приноси кукуруза неће битно мијењати (Таб. 5.8). У ствари, они ће остати на досадашњем нивоу са уобичајеним варијацијама (+1,6% до -5,8%).

Таб. 5.7. Симулирани рокови сјетве и дужина трајања вегетационог периода кукуруза (дани)

Table 5.7. Estimated sowing period and length of growing cycle of maize (days)

Локалитет	Бања Лука		Добој	
	Сјетва	Вег. период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	13. априла	162	11. априла	180
ст. дев.	16	27	15	70
2016–2035.	4. априла	145	5. априла	149
ст. дев.	17	25	17	39
2046–2065.	30. марта	134	4. априла	137
ст. дев.	16	12	16	10
2080–2099.	23. марта	125	25. марта	128
ст. дев.	12	11	13	10
Локалитет	Бијељина		Требиње	
	Сјетва	Вег. период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	10. априла	152	22. априла	127
ст. дев.	14	42	13	23
2016–2035.	3. априла	136	18. априла	118
ст. дев.	17	13	13	17
2046–2065.	30. марта	131	8. априла	115
ст. дев.	15	9	13	15
2080–2099.	23. марта	124	2. априла	109
ст. дев.	12	9	13	15

Таб. 5.8. Промјена приноса кукуруза (%) у односу на референтни период
Table 5.8. Change of maize yield (%) in comparison with reference period

Локалитет	Бања Лука		Добој	
	НАВ.	Без НАВ.	НАВ.	Без НАВ.
2016–2035.	-1,4	1,6	-1,9	-1,6
2046–2065.	-5,8	0,0	-4,2	-2,7
2080–2099.	-11,6	-10,6	-11,7	-9,6
Локалитет	Бијељина		Требиње	
	НАВ.	Без НАВ.	НАВ.	Без НАВ.
2016–2035.	-1,3	-2,6	-3,0	-4,7
2046–2065.	-1,5	-1,5	-3,3	-4,9
2080–2099.	-13,4	-13,4	-9,5	-17,0

Највеће варијације се очекују на подручју Требиња и Бијељине, иначе два сушнија локалитета, гдје се јавља и највећа међугодишња варијација приноса, приказана преко стандардне девијације (ст. дев.) 4,2 т ха⁻¹ и 3,9 т ха⁻¹. Иначе, у будућим климатским условима уз обезбјеђење повољних количина хранива, биће могуће остварити просјечно високе приносе од 8,7–9,2 т ха⁻¹ на подручју Требиња, 10,7–10,9 т ха⁻¹ на подручју Бијељине, 12,5–12,9 т ха⁻¹ на подручју Добоја и 12,3–12,5 т ха⁻¹ на подручју Бања Луке. Истраживањима је утврђено да се на плодним земљиштима могу постићи слични приноси без наводњавања, на примјер на подручју Бање Луке (Kotljencovic et al. 2013; Пољопривредни институт Републике Српске 2014). Крајем XXI вијека очекује се пад приноса кукуруза на свим локалитетима. Најмање ће се одразити на подручју Добоја (-9,6%), а највише на подручју Требиња, чак -17%. Сам просјечан пад приноса није проблем сам по себи, већ што ће се задржати висока међугодишња варијација приноса (ст. дев. 2,3 т ха⁻¹ до 3,2 т ха⁻¹ и то најчешће иде ка нижим приносима), што се већ уочава на подручју Градишке (Markovic et al. 2019).

Да би се осигурали стандардно високи приноси са мањом међугодишњом варијацијом, симулирани су приноси у условима наводњавања. На подручју Добоја и Бање Луке, гдје иначе падне већа количина падавина, могуће је повећати приносе у садашњим климатским условима свега 7–10,9%, док се у блиској будућности и средином вијека не постижу битна повећања, која би могла да исплате улагање у изградњу система за наводњавање, дакле свега 5,4–6,5% и нешто више до краја вијека, до 11,3% (Таб. 5.9). У Семберији (Бијељина) и у медитеранском дијелу земље (Требиње), наводњавањем се значајно могу увећати приноси од 22,8% до 36,2% у садашњим условима, односно од 28,1% до 48,6% до краја вијека, редом.

Таб. 5.9. Повећање приноса кукуруза наводњавањем (%)

Table 5.9. Maize yield increment by irrigation (%)

Период	Бања Лука	Добој	Бијељина	Требиње
1986–2005.	10,9	7,0	22,8	36,2
2016–2035.	8,1	6,6	24,4	38,6
2046–2065.	5,4	6,5	21,2	38,6
2080–2099.	9,8	11,3	28,1	48,6

Посматрајући норме наводњавања, може се закључити да неће доћи до битнијих промјена до средине вијека. Најмање су потребне на подручју Добоја и Бање Луке, испод 150 мм све до средине вијека, док су на подручју Бијељине и Требиња нешто веће и иду до око 200 мм. Крајем вијека се

очекују повећања на свим локалитетима, али неће прећи 175 мм у сјеверним дијеловима земље ни 227 мм у источном и јужном дијелу (Таб. 5.10).

Таб. 5.10. Симулиране нето норме наводњавања (nN) кукуруза (мм)
Table 5.10. Estimated net irrigation requirement of maize (mm)

Локалитет	Бања Лука		Добој	
Период	nN (мм)	Проmjена (%)	nN (мм)	Проmjена (%)
1986–2005.	146		133	
ст. дев.	102		103	
2016–2035.	133	-8,6	144	8,3
ст. дев.	93		98	
2046–2065.	143	-1,9	138	4,1
ст. дев.	82		94	
2080–2099.	167	14,8	175	31,8
ст. дев.	90		90	
Локалитет	Бијељина		Требиње	
Период	nN (мм)	Проmjена (%)	nN (мм)	Проmjена (%)
1986–2005.	197		191	
ст. дев.	92		83	
2016–2035.	209	6,1	214	12,0
ст. дев.	88		67	
2046–2065.	190	-3,6	201	5,4
ст. дев.	80		67	
2080–2099.	221	12,0	227	18,9
ст. дев.	84		67	

На основу свега наведеног, може се закључити да се очекују повољни климатски услови за узгој кукуруза на подручју Републике Српске, а да се развој наводњавања планира у Семберији и у медитеранском дијелу земље. Додатно прилагођавање климатским промјенама и ублажавање стреса изазваног сушом у узгоју кукуруза могуће је орањем у комбинацији са ђубрењем у јесен умјесто у прољеће, сузбијањем корова и узгојем хибрида отпорнијих на сушу (Ћадро et al. 2019). Спречавањем паљења жетвених остатака и њиховим заоравањем, могуће је постићи одрживо коришћење земљишта.

5.6.2. Пшеница

Симулирани рокови сјетве пшенице и дужина вегетационог периода приказани су у Таб. 5.11. Као код кукуруза и кромпира, модел веома добро апроксимира оптималне рокове сјетве пшенице, јер се добијени резултати у референтном периоду подударају са забиљеженим на свим локалитетима, као на примјер у Бијељини, 10. октобра. У Бањој Луци је симулиран нешто ранији рок сјетве, али је зато одлично процијењена дужина вегетационог периода (осмотрено 258 дана, а симулирано 253). Процијењени рокови сјетве су у границама оптималног периода. Појава падавина у јесењем периоду и повољне температуре омогућиће ницање и укорјењавање биљака прије него што уђу у период зимског мировања. Међутим, топлије прољеће утицаће на скраћење вегетационог периода пшенице на свим локалитетима. У блиској будућности може се очекивати период жетве за 8–11 дана раније, средином вијека за 20–22 дана, а крајем вијека чак 41–45 дана раније. Наравно, ови услови важе уколико се вишак воде не задржава дуже на земљишту, да се земљиште не расхлађује, што би свакако утицало на продужетак вегетације, бар за неколико дана.

Таб. 5.11. Симулирани рокови сјетве и дужина вегетационог периода пшенице (дани)

Table 5.11. Estimated sowing period and length of growing cycle of wheat (days)

Локалитет	Бања Лука	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	29. септембра	253
ст. дев.	8	13
2016–2035.	29. септембра	245
ст. дев.	7	12
2046–2065.	1. октобра	233
ст. дев.	8	15
2080–2099.	1. октобра	208
ст. дев.	8	14
Локалитет	Добој	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	30. септембра	256
ст. дев.	9	13
2016–2035.	30. септембра	244
ст. дев.	8	12

2046–2065.	2. октобра	235
ст. дев.	8	14
2080–2099.	2. октобра	212
ст. дев.	8	13
Локалитет Бијељина		
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	10. октобра	246
ст. дев.	11	14
2016–2035.	4. октобра	236
ст. дев.	9	16
2046–2065.	5. октобра	226
ст. дев.	11	13
2080–2099.	5. октобра	205
ст. дев.	9	12
Локалитет Соколац		
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	28. септембра	281
ст. дев.	7	15
2016–2035.	29. септембра	274
ст. дев.	8	13
2046–2065.	30. септембра	261
ст. дев.	9	13
2080–2099.	1. октобра	236
ст. дев.	8	12
Локалитет Требиње		
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	28. септембра	246
ст. дев.	7	10
2016–2035.	28. септембра	237
ст. дев.	7	11
2046–2065.	29. септембра	224
ст. дев.	10	13
2080–2099.	2. октобра	200
ст. дев.	8	14

У условима добре плодности и дренираности земљишта, могуће је остварити просјечно високе приносе пшенице, како у референтном тако и у будућим климатским условима, просјечно 5,6–6,2 т ха⁻¹. Добијени просјечни приноси

моделом су реални и упоредиви са оним добијеним на огледним пољима и у пракси (Biancalani et al. 2004). У блиској будућности могу се очекивати исти или нешто већи приноси на готово свим локалитетима изузев Требиња, гдје се очекује пад до 14% (Таб. 5.12). Средином вијека повољнији услови за раст пшенице могу се очекивати на подручју Сокоца, гдје је могуће повећање приноса и до 18%, затим Бијељине и Добоја (незнатно повећање до 3,5%) и нешто неповољније на подручју Бање Луке и Требиња. Краћа вегетациона сезона крајем вијека значајно ће утицати на смањење приноса на свим локалитетима (највише на подручју Бање Луке -24,1%) изузев подручја Сокоца, гдје повољнији температурни услови омогућавају пораст приноса до 4% (Таб. 5.12). Треба напоменути да су међугодишње варијације приноса у референтном периоду повољне (0,8–2,5 т ха⁻¹), али се оне погоршавају до краја вијека – у блиској будућности 1,1–3,1 т ха⁻¹, средином вијека 1,8–3,7 т ха⁻¹, да би до краја вијека та варијација прелазила 3,2 т ха⁻¹ на свим локалитетима, а нарочито у Требињу (3,8 т ха⁻¹). То све указује да ће у измијењеним климатским условима бити много више неизвјесности око остварења приноса него до сада.

Таб. 5.12. Промјена приноса пшенице (%) у односу на референтни период по локацијама

Table 5.12. Change of wheat yield (%) in comparison with reference period by location

Период	Бања Лука	Добој	Бијељина	Соколац	Требиње
2016–2035.	5,7	-1,3	4,3	9,6	-14,0
2046–2065.	-6,2	1,8	3,5	18,1	-14,2
2080–2099.	-24,1	-19,9	-5,0	4,0	-15,5

Наводњавање пшенице, због краће вегетационе сезоне, неће бити потребно, али зато је неопходно обезбиједити добру дренажност земљишта и одвођење сувишне воде. Наиме, према резултатима приказаним у Таб. 5.13. јасно се види да се вишкови воде јављају на свим подручјима. Количине воде од преко 200 мм свакако ће се процјеђивати до подземних вода (што се јавља на свим подручјима изузев Бијељине), али веће количине вишкова воде на глиновитим, глиновито-прашкастим или глиновито-иловастим земљиштима могу стварати неповољне ваздушне услове, утицати негативно на температурни режим земљишта и на крају на раст, развој и принос пшенице. Најугроженије подручје је Требиње, затим Соколац, док су Бања Лука и Добој средње угрожена подручја. У условима климатских промјена овај проблем ће се задржати, тако да ће и даље ризик нарушавања плодности земљишта усљед превлажености остати. У том смислу, неопходно је одржавати у функционалном стању дренажне системе и по потреби градити нове, на угроженим мјестима.

Таб. 5.13. Симулирани вишкови воде за пшеницу по локацијама (мм)
Table 5.13. Estimated surplus of water for wheat by area (mm)

Период	Бања Лука	Добој	Бијељина	Соколац	Требиње
1986–2005.	245	244	145	378	598
ст. дев.	67	80	59	109	143
2016–2035.	240	241	160	396	532
ст. дев.	78	79	63	92	170
2046–2065.	270	263	162	398	597
ст. дев.	71	81	60	99	169
2080–2099.	231	235	158	351	528
ст. дев.	87	97	71	102	155

5.6.3. Кромпир

У будућим климатским условима, због повећања температуре ваздуха у прољеће, очекује се помјерање рокова сјетве кромпира ка ранијем прољећу (Таб. 5.14). Упоредјујући добијене рокове сјетве у референтном периоду са осматреним фенолошким подацима (РХМЗРС 20216) за подручје Бање Луке, Добоја и Бијељине, добије се разлика од једног дана, и нешто већа на подручју Сокоца (до мјесец дана), вјероватно што модел не узима у обзир спорије отапање снијега на вишим надморским висинама. За Требиње је такође узето да прве симулације почну од 1. марта, а не раније, због могућег превлаживања. С обзиром на то да су моделом процијењени рокови тек око друге декаде марта, то значи да ће повољнији услови за сјетву кромпира бити управо тада. У сваком случају, добијени подаци су реални и репрезентативни да се процијене рокови сјетве у будућности. У блиској будућности помјерања рокова сјетве су незнатна од 2 до 5 дана, средином вијека од 6 до 7 дана, с изузетком Сокоца, гдје се очекује чак 13 дана. Крајем вијека може се очекивати почетак сјетве око средине марта на готово свим локалитетима. Из добијених података види се да постоје међугодишње разлике, које указују да ће период сјетве варирати у распону од 10–16 дана почетком вијека до 4–11 дана крајем вијека. Модел добро апроксимира дужину вегетационог периода, која се креће 114–136 дана, јер је у опсезима које су забиљежили Ćota and Šilj (2012). Може се очекивати и незнатно скраћење вегетационог периода кромпира 4–6 дана у блиској будућности, 7–9 дана средином вијека и 14–18 дана крајем вијека на свим локацијама изузев Сокоца, гдје се очекује мање скраћење за 2, 5 и 10 дана почетком, средином и крајем вијека, редом. С обзиром на то да ће кромпир ући у осјетљиву фенофазу раније, прије великих врућина, до

сушног периода може развити јачи коријенов систем и лакше пребродити неповољне временске прилике, тако да се могу очекивати повећања приноса. Та повећања су мала почетком вијека у односу на референтни период, око 10% на подручју Сокоца и Требиња, с трендом смањења идући од истока ка западу од 7,8% до 3,8%.

Таб. 5.14. Симулирани рокови сјетве и дужина вегетационог периода (дани) кромпира по локалитетима

Table 5.14. Estimated sowing period and length of growing cycle of potato (days) by location

Локалитет	Бања Лука	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	26. марта	136
ст. дев.	13	13
2016–2035.	21. марта	130
ст. дев.	11	12
2046–2065.	20. марта	125
ст. дев.	12	10
2080–2099.	13. марта	118
ст. дев.	8	9
Локалитет	Добој	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	27. марта	136
ст. дев.	13	13
2016–2035.	21. марта	130
ст. дев.	12	12
2046–2065.	20. марта	127
ст. дев.	12	11
2080–2099.	14. марта	118
ст. дев.	6	8
Локалитет	Бијељина	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	24. марта	130
ст. дев.	12	11
2016–2035.	21. марта	126
ст. дев.	10	9
2046–2065.	17. марта	123
ст. дев.	10	9

2080–2099.	13. марта	116
ст. дев.	5	7
<hr/>		
Локалитет	Соколац	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	10. априла	114
ст. дев.	16	9
2016–2035.	5. априла	112
ст. дев.	16	10
2046–2065.	28. априла	109
ст. дев.	17	9
2080–2099.	19. марта	104
ст. дев.	11	8
<hr/>		
Локалитет	Требиње	
Период	Сјетва	Вег. период
1986–2005.	20. марта	130
ст. дев.	11	11
2016–2035.	18. марта	126
ст. дев.	11	10
2046–2065.	14. марта	123
ст. дев.	8	8
2080–2099.	11. марта	116
ст. дев.	4	7

Средином вијека могу се очекивати виши приноси и то до 21,3% на подручју Бијељине, до 17,7% на подручју Сокоца и Требиња и нешто нижи (око 15% и мање) на осталим локалитетима (Таб. 5.15). Крајем XXI вијека најповољнији услови за гајење кромпира биће на подручју Требиња и Сокоца, јер ће се задржати виши приноси у односу на референтни период, али ће генерално бити повољни услови и на осталим локалитетима.

Наводњавањем кромпира је могуће повећати приносе, али не на свим локалитетима. Тако, на примјер, на подручју Сокоца могуће је повећати приносе за свега 3,7%, па је беспредметно размишљати о наводњавању на овом подручју. На подручју Бање Луке и Добоја наводњавањем могу се повећати приноси до око 15% у блиској будућности и средином вијека, и нешто више крајем вијека (19,3%). Повећање приноса наводњавањем од преко 30% може се очекивати на подручју Бијељине и Требиња, тако да се може оправдати развој наводњавања на овим подручјима (Таб. 5.16).

Таб. 5.15. Промјена приноса кромпира (%) у односу на референтни период по локалитетима

Table 5.15. Change of potato yield (%) in comparison with reference period by locations

Локалитет	Бања Лука		Добој		Бијељина		Соколац		Требиње	
	НАВ.	Без НАВ.	НАВ.	Без НАВ.	НАВ.	Без НАВ.	НАВ.	Без НАВ.	НАВ.	Без НАВ.
2016–2035.	6,8	3,8	6,2	7,9	7,8	10,0	10,2	10,7	9,6	10,3
2046–2065.	12,9	11,5	12,7	15,4	15,2	21,3	17,7	17,7	16,4	17,1
2080–2099.	12,7	8,3	11,1	10,1	14,3	15,7	18,8	19,1	18,5	19,7

Таб. 5.16. Повећање приноса кромпира наводњавањем (%)

Table 5.16. Potato yield increment by irrigation (%)

Период	Бања Лука	Добој	Бијељина	Соколац	Требиње
1986–2005.	14,5	14,6	34,7	3,7	30,7
2016–2035.	17,9	12,8	32,1	3,2	25,8
2046–2065.	15,9	11,9	28,0	3,7	25,5
2080–2099.	19,3	15,6	33,1	3,5	26,4

Норме наводњавања неће се битније мијењати у односу на референтни период, чак се могу очекивати и смањења, услед краћег вегетационог периода и ранијих рокова сјетве, поготово на подручју Бијељине (-9,4% и -9,3% средином и крајем вијека) (Таб. 5.17). Неопходно је напоменути, да се у условима наводњавања смањују међугодишње варијације приноса кромпира на свим локалитетима. Тако, на примјер, принос варира 2,0–2,4 т ха⁻¹ у условима без наводњавања, а са наводњавањем око 1 т ха⁻¹ на свим локалитетима изузев Сокоца, гдје је процијењена најмања варијација норми наводњавања у условима без наводњавања (1,1–1,4 т ха⁻¹).

Таб. 5.17. Симулиране нето норме наводњавања за кромпир (мм)

Table 5.17. Estimated net irrigation requirements for potato (mm)

Локалитет	Бања Лука	
	nN (мм)	Промјена (%)
1986–2005.	308	
ст. дев.	85	
2016–2035.	306	-0,6
ст. дев.	76	
2046–2065.	309	0,6

ст. дев.	74	
2080–2099.	306	-0,7
ст. дев.	68	
<hr/>		
Локалитет		Добој
<hr/>		
Период	nN (мм)	Промјена (%)
<hr/>		
1986–2005.	323,0	
ст. дев.	95,4	
2016–2035.	317,1	-1,8
ст. дев.	82,1	
2046–2065.	316,7	-2,0
ст. дев.	82,1	
2080–2099.	325,7	0,8
ст. дев.	69,1	
<hr/>		
Локалитет		Бијељина
<hr/>		
Период	nN (мм)	Промјена (%)
<hr/>		
1986–2005.	395	
ст. дев.	72	
2016–2035.	379	-3,9
ст. дев.	74	
2046–2065.	358	-9,4
ст. дев.	68	
2080–2099.	358	-9,3
ст. дев.	61	
<hr/>		
Локалитет		Соколац
<hr/>		
Период	nN (мм)	Промјена (%)
<hr/>		
1986–2005.	165	
ст. дев.	69	
2016–2035.	185	12,2
ст. дев.	67	
2046–2065.	162	-1,6
ст. дев.	68	
2080–2099.	194	17,4
ст. дев.	65	
<hr/>		
Локалитет		Требиње
<hr/>		
Период	nN (мм)	Промјена (%)
<hr/>		
1986–2005.	343	

ст. дев.	72	
2016–2035.	332	-3,2
ст. дев.	65	
2046–2065.	329	-4,1
ст. дев.	63	
2080–2099.	329	-4,0
ст. дев.	47	

5.6.4. Ризик од суше воћних засада и природних травњака у будућим климатским условима

Као што је напријед речено, у Републици Српској пашњаци заузимају 18,3%, а пашњаци и ливаде заједно 35,7% пољопривредних површина, самим тим представљају веома значајан биљни покривач како за обезбјеђење хране у сточарству, тако и за очување земљишта. Најчешће се гаје на плитким до средње дубоким земљиштима, чији капацитети да задрже воду често не прелази 50 мм на плитким земљиштима, до 100 мм на средње дубоким, а вегетациони период траје најчешће дужи од 250 дана од (раног) прољећа све до (позне) јесени. Стога постоји оправдана бојазан како ће климатске промјене утицати на расположивост воде, одрживост природних травњака и очување земљишта од водне и еолске ерозије.

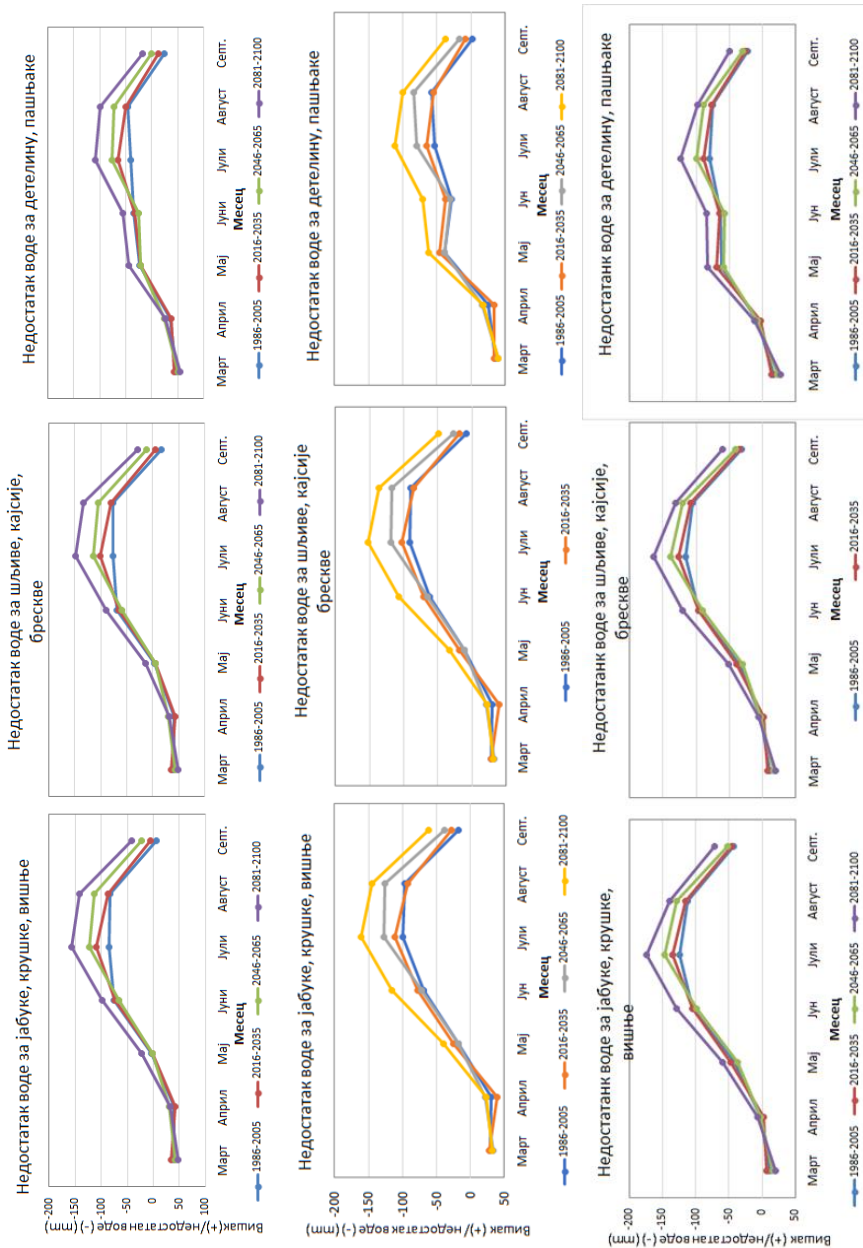
Због своје дуге вегетационе сезоне са истим проблемима ће се сусретати и воћни засади. Наиме, високе температуре и интензивнија соларна зрачења утичу на стварање ожеготина, што нарушава квалитет и класу плодова. Дужи сушни периоди изискују примјену наводњавања, које поскупљује производњу и конкурентност на тржишту. С друге стране, обилне кише у периоду цвјетања и сазријевања плодова, поготово вишања, трешања и бобичастог воћа (јагоде, купине, малине) изазивају појаву плијесни, што или ствара губитак приноса или пак захтијева јачу примјену заштитних средстава, која стварају ризик од прекомјерног остатка пестицида у плоду (и земљишту) и немогућности продаје на тржишту. Чешћа појава оштрих зима у континенталном дијелу земље може да утиче на пуцање стабала, што ствара повољне услове за развој патогена. Воћарство се обавља на 52.000 ха (Републички завод за статистику Републике Српске 2020) углавном на малим породичним газдинствима, на прилично екстензиван начин. Треба истаћи да се оно ипак развија на подручју цијеле државе. Примјењују се савремене технологије гајења које су сасвим прилагођене савременим климатским захтјевима и могу се примијенити и у будућим климатским условима.

Да би се сагледали ризици од неповољних климатских прилика, урађена је анализа вишкова односно мањкова воде на свим локалитетима, на основу разлике прихода (падавине) и расхода воде (евапотранспирација). Узето је у обзир да су воћњаци махом затрављени, да би се спријечио процес водне ерозије на нагнутих теренима, као и ради олакшаног кретања механизације и интегралне заштите биља. За потребе стратешког планирања, овакви прорачуни дају јасну слику о нивоу мјера које треба предузети у будућем периоду.

На основу анализе вишкова и мањкова воде за потребе воћних култура и вишегодишњих природних травњака на свим локалитетима јасно се уочавају периоди вишкова воде у хладнијем дијелу године, како у референтном периоду, тако све до краја вијека (позитивне вриједности) на свим проучаваним локалитетима (Граф. 5.9. и Граф. 5.10). Вишкови воде су најизразитији на подручју Требиња, односно свим херцеговачким карстним пољима, тако да је одржавање дренажне мреже основни предуслов за обављање било какве биљне производње, а поготово воћне, која захтијева много строже дренажне критеријуме.

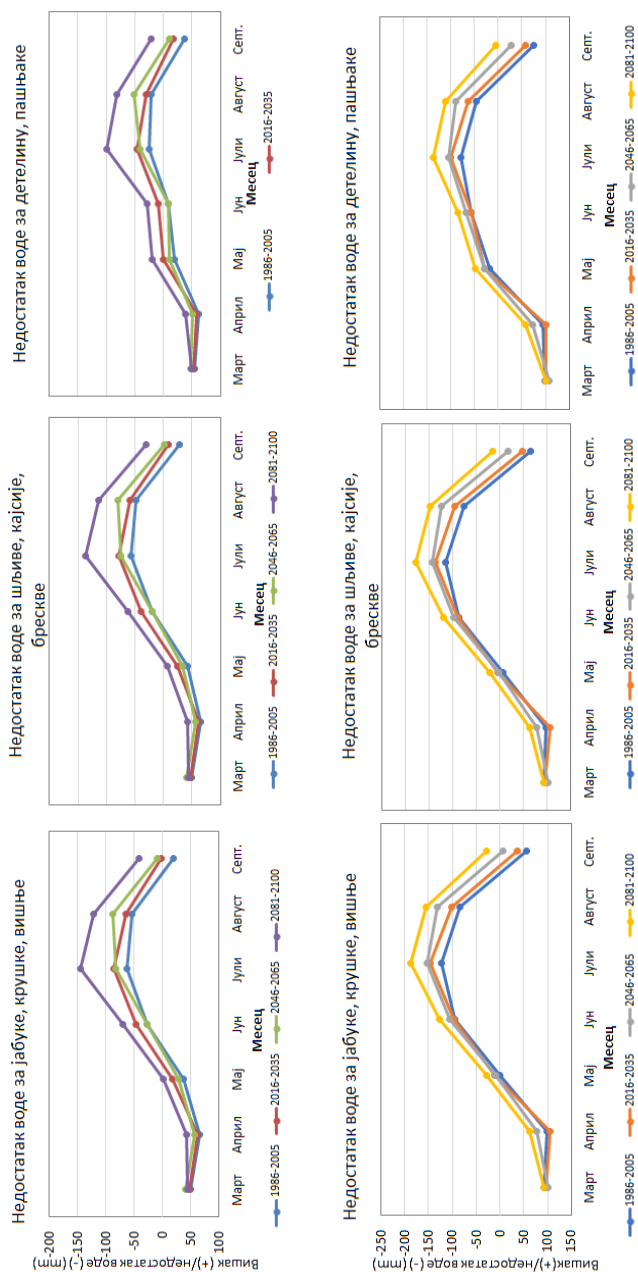
Друга непогодност јесу недостаци воде у љетњем периоду, на свим проучаваним подручјима. Први дефицити воде јављају се у мају, али захваљујући резерви воде у земљишту, прави утицај суше манифестује се у јуну, јулу и августу. Захваљујући земљишту и његовој способности да задржи до 200 мм воде до 1 м дубине, па чак и више, гајењем екстензивних засада у већем међуредном растојању, на дубоким земљиштима у великој мјери су се ублажавале посљедице суше у референтном периоду. На пливим земљиштима воћни засади су били и биће угрожени усљед недостатка воде.

Посматрајући суме мањкова воде (јун, јул и август) може се закључити да у блиској будућности неће доћи до великих одступања у односу на референтни период 4–15% на свим локалитетима изузев Сокоца, гдје се очекује повећање од 40%. На први поглед рекло би се да ће суша бити далеко јача на овом подручју него на другим. Овдје се ради о најмањим дефицитима воде (47 мм за травњаке, до 125 мм за шљиве и 145 мм за јабуке) за разлику од Бијељине, на примјер (241 мм, 317 мм и 340 мм за травњаке, шљиве и јабуке, редом), па је свако повећање велико у процентима, али у количини воде није. Свака промјена која одступа од просјечних вриједности свакако ће негативно утицати на биоценозе травњака и еколошке прилике уопште. Средином вијека могу се очекивати већи утицаји недостатка воде на свим подручјима за све воћне културе и травњаке, најмање на подручју Бијељине (до 10%, а највише на подручју Требиња и Сокоца, 30% и 42%, редом).



Граф. 5.9. Процијењени недостатак воде за воћне засаде и природне травњаке на подручју Бање Луке (лијево), Добоја (у средини) и Бијељине (десно) (мм)

Graph. 5.9. Estimated water shortage for orchards, natural grasslands and pastures in Banja Luka (left), Doboja (in the middle) i Bijeljina (right) (mm)



Граф. 5.10. Процијењени недостатак воде за воћне засаде и природне травњаке на подручју Сокоца (лијево) и Требиња (десно) (мм)
 Graph. 5.10. Estimated water shortage for orchards, natural grasslands and pastures in Sokolac (left) and Trebinje (right) (mm)

Нажалост, крајем XXI вијека укупни мањкови воде, тј. потребне норме наводњавања драстично ће се повећати, чак за 60% на подручјима Бање Луке, Добоја и Требиња, нешто мање на подручју Бијељине (30%), а чак до 150% на подручју Сокоца (од 125 мм мањка у референтном периоду до 314 мм крајем вијека за шљиве, на примјер). Највише ће бити погођени травњаци (ливаде и пашњаци), јер ће се мањак воде чак удвостручити на свим локалитетима сем Сокоца, гдје се чак могу утростручити (мањак воде у референтном периоду је свега 47 мм, а крајем вијека 180 мм).

Познато је да је воћњацима потребно мање воде уколико би се гајили без затрављивања међуредног простора. Међутим, тиме би се отворила могућност стварања ерозије, што за услове гајења на подручју Републике Српске није опција.

Дакле, може се извести закључак да ће ризици од недостатка воде за воћне културе бити све израженији, што ће изискивати примјену наводњавања и других мјера (малчовања, на примјер) ради обезбјеђења високих и стабилних приноса усјева, али и коришћења и очувања земљишта на еколошким и економским принципима.

Повећан дефицит воде свакако је посљедица виших температура ваздуха и мањих количина падавина на проучаваним локалитетима. Из тог разлога може се очекивати помјерање производње брескве, трешње, вишње и кајсије од медитеранског ка континенталним дијеловима Републике Српске, док се производња јабуке може помјерати према већим надморским висинама, уз услов да има дубоког, плодног земљишта.

5.7. Мјере ублажавања климатских промјена ради очувања земљишта

Повећане залихе угљеника у земљишту повећавају плодност земљишта, обрадивост, повећава се капацитет задржавања воде и смањује ризик од ерозије (Smith 2012). Такође утичу на смањење рањивости земљишта услед климатских промјена. Ефективним мјерама повећања органске материје у земљишту утиче се и на побољшану продуктивност биљака (путем плодореда, агротехничких мјера, од којих су најзначајније обрада земљишта, заоравање жетвених остатака, малчовање сламом, додавање органских ђубрива, затрављивање међуредног простора у воћарству, повећано гајење легуминоза и сл.).

Прилагођавање система основне обраде. Један од основних циљева обраде је побољшање водног режима земљишта, односно веће накупљање и

конзервација влаге у њему. На добро обрађеном земљишту вода лакше понире у дубље слојеве и стварају се веће залихе воде за сушне периоде. Такође, мелиоративна обрада хидроморфних земљишта, каква су заступљена у сјеверном дијелу Републике Српске, поправља вертикалну и хоризонталну дренажност, што смањује опасност од превлаживања и стварања водолежа у микродепресијама. Обрада земљишта мора бити усклађена са топографским карактеристикама подручја које је веома разнолико у Републици Српској. На блажим нагибима треба фаворизовати контурну обраду земљишта (обрада по изохипсама) ради спречавања ерозије, која може бити изазвана уколико у будућим климатским условима дође до повећања краткотрајних епизода са интензивним падавинама, на шта сценарији будуће климе указују. Затим, прављење гребенова или фашина на крајевима парцела да вода спорије отиче по парцелама. У медитеранском подручју терасирање земљишта на нагнутим теренима свакако може допринијети бољој акумулацији воде, а и спречавању/ ублажавању процеса ерозије. Воћњаци на падинама треба да буду затрављени ради спречавања водне ерозије.

Адекватно рационално ђубрење. Ова мјера доприноси бољем преживљавању усјева у сушним условима, јер се успорава процес минерализације, што доводи до смањења количине приступачних облика хранљивих материја у земљишту. Истовремено се смањује и асцендентни транспорт хранива, због чега се погоршава обезбијеђеност надземних органа минералним материјама. Бројни аутори истичу да је у сушним годинама најефикасније ђубрење фосфором, чији недостатак је иначе карактеристика већине земљишта Републике Српске (Kotljjenovic et al. 2013). Недостатак фосфора у сушним условима утиче на смањење пораста коријена, надземни дио се теже снабдијева водом, појављује се хлороза, долази до изумирања секундарних изданака и прорјеђивања усјева, што утиче на смањење приноса. Калијум утиче на водни режим и транспирацију биљака. Биљке које су оптимално обезбијеђене калијумом по правилу троше мање воде за синтезу органске материје, односно имају нижи транспирациони коефицијент.

Ђубрење органским ђубривима у циљу побољшања водно-ваздушног режима земљишта. Редовно уношење стајњака, компоста, сидерата и других видова органске материје у земљиште може веома ефикасно ублажити посљедице суше. Ова мјера позитивно дјелује на одржавање хумуса, на активност микроорганизама и на стварање стабилних структурних агрегата, што се одражава на низ физичких својстава земљишта, у првом реду на његов водни, ваздушни и топлотни режим. У аридним условима најважнија улога хумуса насталог разградњом органске материје састоји се у томе што може да упије велике количине воде, чиме повећава снагу држања и садржај лако

приступачне воде, што је веома важно за боље снабдијевање биљака водом у сушним периодима.

Одводњавање. Редовно и системско одржавање система за одводњавање и изградња нових на угроженим мјестима императив је одрживости земљишних ресурса на хидроморфним земљиштима сјеверног дијела Републике Српске, као и на другим подручјима, поготово у херцеговачким пољима. На добро дренираним земљиштима биће омогућена ранија сјетва повртарских усјева (салате, кромпира, кукуруза шећерца, пасуља, бостана итд.), што ствара предности ранијег доспијевања на тржиште и бољег економског ефекта.

Наводњавање. Ова мјера је свакако најефикаснија због ублажавања ефеката суше, економске исплативости и дугорочне стратегије коришћења земљишта. Поред тога, обезбјеђује диверзификацију производње, двије жетве годишње, поготово у медитеранском дијелу земље, затим диверзификацију воћарске производње. С тим у вези омогућава и развој прехранбене индустрије, извоза пољопривредних производа, одржавање стандарда грађана и дугорочног опстанка становништва на својим огњиштима.

5.8. Закључак

На основу свега изнијетог дошло се до закључка да ће сви ризици који пријете одрживости производних функција земљишта данас, бити још присутнији у будућности. Оно што охрабрује јесте чињеница да се коришћење земљишта неће битније нарушити, нити ће бити угрожена ратарска производња.

И даље ће владати повољни климатски услови за производњу кукуруза, пшенице, кромпира, додуше с повећаним међугодишњим варијацијама до краја вијека. Због раније сјетве биће изражени проблеми превлаживања. Најугроженије подручје је Требиње, затим Соколац, док су Бања Лука, Добој и Бијељина средње угрожена подручја. Редовно и инвестиционо одржавање постојећих дренажних система треба да обезбиједи пуну функционалност, а по могућности треба градити нове на угроженим мјестима.

За развој воћарства неопходно је планирати изградњу система за наводњавање, превасходно на подручјима Бијељине и Требиња, јер ће се оно на овим подручјима најбрже исплатити. На тим подручјима наводњавањем ће се остварити добри ефекти и у повртарству, јер ће омогућити диверзификацију производње и двије жетве годишње.

Системско рјешавање постојећих ерозионих процеса и спречавање појаве нових је неопходно, јер у будућим климатским условима могу се очекивати

сушни периоди већег интензитета (већи просторни утицај) праћени јаким кишним олујама, који усљед сасушеног биљног покривача могу изазвати трајни губитак земљишта.

С обзиром на то да је око 81% обрадивог земљишта Републике Српске јако сиромашно хумусом, тј. органским угљеником, а скоро 18% сиромашно хумусом, неопходно је примјењивати агротехничке мјере које ће повећати унос органске материје. Намјерно паљење жетвених остатака мора бити најстроже кажњавано. Такође, неопходно је континуирано праћење плодности земљишта (рН, макроелемената (NPK), садржаја органске материје, те водно-физичких особина земљишта) на геореференцираним локацијама, ради што бољег упоређивања података и одређивање правца утицаја било позитивног или негативног, да се предузму благовремене мјере заштите како ради обезбјеђења коришћења земљишта тако и ради ублажавања климатских промјена.

Литература

- Batjes NH, Sombroek WG (1997) Possibilities for Carbon Sequestration in Tropical and Subtropical Soils. *Global Change Biology* 3(2):161–173. doi.10.1046/j.1365-2486.1997.00062.x
- Biancalani R, Predić T, Leko M, Bukalo E, Ljuša M (2004) Učešće u razvoju načina korišćenja zemljišta na općinskom nivou u Bosni i Hercegovini (LUT) (Project GCP/BIH/002/ITA). FAO, Rim, str 69
- Bird DN, Benabdallah S, Gouda N, Hummel F, Koeberl J, La Jeunesse I, Meyer S, Pretenthaler F, Soddu A, Woess-Gallasch S (2016) Modelling Climate Change Impacts and Adaptation Strategies for Agriculture in Sardinia and Tunisia Using AquaCrop and Value-At-Risk. *Science of the Total Environment* 543(Part B):1019–1027. doi.10.1016/j.scitotenv.2015.07.035
- Van Ranst E, Thomasson AJ, Daroussin J, Hollis JM, Jones RJA, Jamagne M, King D, Vanmechelen L (1995) Elaboration of an Extended Knowledge Database to Interpret the 1:1.000.000 EU Soil Map for Environmental Purposes. In King D, Jones RJA, Thomasson AJ (eds) *European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring* (EUR 16232 EN), pp 71–84. Office for Official Publications of the European Communities
- Vidojević D, Manojlović M, Đorđević A, Dimić B (2014) Estimation of Soil Organic Carbon Stocks in Agricultural Soils in the Republic of Serbia. *Proceedings of XXVIII Meeting of Agronomists, Veterinarians, Technologists and Agroeconomists* 20(1–4):139–146

- Govedarica B, Đurđić I, Milić V (2016) Stanje proizvodnje krompira u Republici Srpskoj. XXI Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem, 11 – 12. mart 2016, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 137–142
- European Commission (2002) Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. Commission of the European Communities, Brussel, pp 39
- European Environment Agency (2017) Key Observed and Projected Climate Change and Impacts for the Main Regions in Europe. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/key-past-and-projected-impacts-and-effects-on-sectors-for-the-main-biogeographic-regions-of-europe-3>, Приступљено: 28. новембар 2018
- Žurovec J, Čadro S (2011) Smanjenje prinosa poljoprivrednih kultura u uvjetima bez navodnjavanja na području sjeveroistočne Bosne. 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture, February 14 – 18, 2011, Opatija, University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Proceedings, pp 760–764
- Завод за водопривреду д.о.о. Бијељина (2008) Студија одрживог развоја иригационих система на подручју Републике Српске – Сажетак студије. Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске, Бијељина, стр 24
- Zotov L, Bizouard C, Shum CK (2016) A Possible Interrelation Between Earth Rotation and Climatic Variability at Decadal Time-Scale. *Geodesy and Geodynamics* 7(3):216–222. doi.10.1016/j.geog.2016.05.005
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1535
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Billir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Geniova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1132
- Karavitis CA, Tsesmelis DE, Oikonomou PD, Kairis O, Kosmas C, Fassouli V, Ritsema C, Hessel R, Jetten V, Moustakas N, Todorovic B, Skondras NA, Vasilakou CG, Alexandris S, Kolokytha E, Stamatakos DV, Stricevic R, Chatzigeorgiadis E, Brandt J, Geeson N, Quaranta G (2020) A Desertification Risk Assessment Decision Support Tool (DRAST). *Catena* 187:104413. doi.10.1016/j.catena.2019.104413
- Кнежевић А, Каплина А, Хусика А, Карингтон Д, Арнаутовић Аксић Д, Џордан Г, Трбић Г, Стритих Ј, Табаковић Л, Котур М, Цупаћ Р (2013) Стратегија прилагођавања на климатске промјене и нискоемисионог развоја за Босну и Херцеговину. Министарство спољне трговине и економских

- односа Босне и Херцеговине, Федерално министарство околиша и туризма, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, UNDP, GEF, Сарајево, Бања Лука, стр 94
- Komljenovic I, Markovic M, Todorovic J, Cvijovic M (2006) Influences of Fertilization by Phosphorus on Yield and Nutritional Status of Maize in Potkozarje Area. *Cereal Research Communications* 34(1):549–552. doi.10.1556/crc.34.2006.1.137
- Komljenovic I, Markovic M, Djurasinovic G, Kovacevic V (2013) Response of Maize to Liming and Ameliorative Phosphorus Fertilization. *Advanced Crop Science* 3(3):225–232
- Kosmas C, Tsara M, Moustakas N, Karavitis C (2003) Identification of Indicators for Desertification. *Annals of Arid Zone* 42(3):393–416
- Lal R, Delgado JA, Groffman PM, Millar N, Dell C, Rotz A (2011) Management to Mitigate and Adapt to Climate Change. *Journal of Soil and Water Conservation* 66(4):276–285. doi.10.2489/jswc.66.4.276
- Linker R, Ioslovich I, Sylaios G, Plauborg F, Battilani A (2016) Optimal Model-Based Deficit Irrigation Scheduling Using AquaCrop: A Simulation Study With Cotton, Potato and Tomato. *Agricultural Water Management* 163:236–243. doi.10.1016/j.agwat.2015.09.011
- Lipovac A, Vujadinović Mandić M, Vuković A, Stričević R, Ćosić M (2018) Assessment of AquaCrop Model on Potato Water Requirements in Climate Change Conditions. 10th Eastern European Young Water Professionals Conference IWA YWP, May 07 – 12, 2018, Zagreb, University of Zagreb, IHE Delft Institute for Water Education, International Association of Water Supply Companies in the Danube River Catchment Area, Book of Proceedings, pp 70–77
- Марковић М (2008) Земљиште – ресурс Републике Српске. Научни скуп „Ресурси Републике Српске“, 17 – 18. октобар, 2007, Бања Лука, Академија наука и умјетности Републике Српске, Одјељење природно-математичких и техничких наука, Зборник радова, стр 161–174
- Markovic M, Komljenovic I, Kovacevic V, Radic V, Jovic J, Trbic G, Pesevic D, Markovic M (2019) Alleviation of Negative Climate Change Effects on Maize Yields in Northern Bosnia by Liming and Phosphorus Fertilization. In Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risk and Building Resilience to Climate Change*, pp 169–183. Springer
- Marković SB, Bokhorst MP, Vandenberghе J, McCoy WD, Oches EA, Hambach U, Gaudenyi T, Jovanović M, Zöllner L, Stevens T, Machalet B (2008) Late Pleistocene Loess-Palaeosol Sequences in the Vojvodina Region, North Serbia. *Journal of Quaternary Science* 23(1):73–84. doi.10.1002/jqs.1124
- Marriner G, French C, Rajkovača T (2011) Geoarchaeological Reconnaissance of the Banja Luka and Doboј Area of Northern Bosnia and Herzegovina. *Godišnjak Centra za Balkanološka ispitivanja* 40:7–44
- Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске (2013) Измјене и допуне просторног плана Републике Српске до

2025. године (Нацрт). Влада Републике Српске, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, Бања Лука, стр 342
- Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске (2021) Стратегија развоја пољопривреде и руралних подручја Републике Српске 2021–2027. година (Приједлог). Влада Републике Српске, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске, Бања Лука, стр 93
- Neset TS, Wiréhn L, Opach T, Glaas E, Linnér BO (2019) Evaluation of Indicators for Agricultural Vulnerability to Climate Change: The Case of Swedish Agriculture. *Ecological Indicators* 105:571–580. doi.10.1016/j.ecolind.2018.05.042
- Open Foris (2021) Earth Map. Доступно на: <https://openforis.org/tools/earth-map/>, Приступљено: 28. децембар 2021
- Пољопривредни институт Републике Српске (2014) Нови домаћи хибриди кукуруза BL 43. Доступно на: <http://www.poljinstrs.org/sr-YU/zavodzakukuruz/zk-domaci-hibrid-bl-43.html>, Приступљено: 14. новембар 2014
- Предић Т, Марковић М, Лукић Р, Никић Nauth П, Цвијановић Т, Доцић-Којадиновић Т, Лејић Т, Радановић Д, Антић-Младеновић С, Тошић Р, Максимовић С, Пивић Р, Бурлица Ч, Антоновић Г, Кадић Ј (2009) Основа заштите уређења и коришћења пољопривредног земљишта као компонента процеса планирања пољопривредног земљишта Републике Српске. ЈУ Пољопривредни институт Републике Српске, Министарство пољопривреде шумарства и водопривреде Републике Српске, Бања Лука, стр 113
- Предић Т, Никић-Nauth П, Лукић Р, Цвијановић Т (2011) Начин коришћења земљишта Републике Српске. Међународни научни симпозијум агронома „Agrosym Jahorina 2011“, 10 – 12. новембар 2011, Јахорина, Пољопривредни факултет Универзитета у Источном Сарајеву, Зборник радова, стр 147–156
- Predić T, Lukić R, Nikić Nauth P, Cvijanović T, Docić Kojadinović T, Malčić T, Jokić D, Radanović B (2013) Introduction of Continuous Monitoring of Agricultural Land of Republic of Srpska. The 1st International Congress on Soil Science, XIII National Congress in Soil Science, September 23 – 26, 2013, Belgrade, Soil Science Society of Serbia, Proceedings, pp 1–16
- Predić T, Nikić-Nauth P, Cvijanović T, Docić-Kojadinović T, Jokić D, Radanović B (2014a) Izvještaj ispitivanja plodnosti poljoprivrednog zemljišta porodičnih komercijalnih gazdinstava u Republici Srpskoj u 2014. godini. ЈУ Пољопривредни институт Републике Српске, Банја Лука, стр 76
- Predić T, Nikić-Nauth P, Cvijanović T, Docić-Kojadinović T, Jokić D, Radanović B, Sošnja S, Dragojević S (2014b) Utvrđivanje stanja загађења poljoprivrednog zemljišta poplavljenih površina u maju 2014. godine – Izvještaj. ЈУ Пољопривредни институт Републике Српске, Банја Лука, стр 33

- Predić T, Nikić-Nauth P, Cvijanović T, Docić-Kojadinović T, Jokić D, Radanović B, Sošnja S, Dragojević S (2014в) Izvještaj utvrđivanje stanja zagađenja zemljišta poplavljenih površina opštine Šamac. JU Poljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka, str 33
- Predić T, Nikić Nauth P, Radanović B, Predić A (2016) State of Heavy Metals Pollution of Flooded Agricultural Land in the North Part of Republic of Srpska. Agro-knowledge Journal 17(1):19–27. doi.10.7251/AGREN1601019P
- Предић Т, Никић-Nauth П, Цвијановић Т, Танасић Б, Малчић Т, Бјелобрк Д (2019) Основа заштите уређења и коришћења пољопривредног земљишта општине Лакташи. ЈУ Пољопривредни институт Републике Српске, Бања Лука, стр 123
- Predić T, Nikić-Nauth P, Tanasić B, Vidojević D (2019) Organic Carbon Stocks in Arable Land of Republic of Srpska – Bosnia and Herzegovina. AGROFOR International Journal 4(2):70–77. doi.10.7251/AGRENG1902069P
- Предић Т, Никић-Nauth П, Цвијановић Т, Танасић Б, Малчић Т, Бјелобрк Д (2020) Основа заштите уређења и коришћења пољопривредног земљишта општине Шамац. ЈУ Пољопривредни институт Републике Српске, Бања Лука, стр 123
- Radanović D (1995) Influence of Liming on Some Macronutrients Level in Distric Pseudogley Soil. Journal of Sientific Agricultural Research 57:69–78
- Републичка управа цивилне заштите (2013) Пројена угрожености од елементарне непогоде и друге несреће. Републичка управа цивилне заштите, Источно Сарајево, стр 440
- Републички завод за статистику Републике Српске (2020) Статистички годишњак Републике Српске 2020, Пољопривреда и рибарство. Доступно на: https://www.rzs.rs.ba/static/uploads/bilteni/godisnjak/2020/14pol_2020.pdf, Приступљено: 28. мај 2021
- Републички хидрометеоролошки завод Републике Српске (РХМЗРС) (2021а) Ратарске и повртарске културе. Доступно на: <https://rhmzrs.com/meteorologija/agrometeorologija/fenologija/ratarske-i-povrtarske-kulture/>, Приступљено: 28. мај 2021
- Републички хидрометеоролошки завод Републике Српске (РХМЗРС) (2021б) Пољски радови. Доступно на: <https://rhmzrs.com/meteorologija/agrometeorologija/fenologija/poljski-radovi>, Приступљено: 28. мај 2021
- Resulović H (1969) Pedološki praktikum, Kolorimetrijsko određivanje humusa. Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, str 145
- Rhodes CJ (2014) Soil Erosion, Climate Change and Global Food Security: Challenges and Strategies. Science Progress 97(2):97–153. doi.10.3184/003685014X13994567941465
- Sekulić P, Ninkov J, Hristov N, Vasin J, Šeremešić S, Zeremski-Škorić T (2010) Sadržaj organske materije u zemljištima AP Vojvodine i mogućnost korišćenja žetvenih ostataka kao obnovljivog izvora energije. Field and Vegetable Crops Research 47(2):591–598

- Smith P (2012) Soils and Climate Change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4(5):539–544. doi.10.1016/j.cosust.2012.06.005
- Stricevic R, Stojakovic N, Vujadinovic-Mandic M, Todorovic M (2017) Impact of Climate Change on Yield, Irrigation Requirement and Water Productivity of Maize Cultivated Under Moderate Continental Climate of Bosnia and Herzegovina. *The Journal of Agricultural Science* 156:618–627. doi.10.1017/S0021859617000557
- Stričević R, Trbić G, Vujadinović M, Cupać R, Đurović N, Ćosić M (2017) Impact of Climate Change on Potato Yield Grown in Different Climatic Zone in Bosnia and Herzegovina. VIII International Scientific Agriculture Symposium „Agrosym 2017“, October 05 – 08, 2017, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Book of Proceedings, pp 596–601
- Stričević R, Trbić G, Vujadinović M, Vuković A, Lipovac A, Bogdan I, Cupać R (2019) Assessment of Climate Change Impact on Water Requirements of Orchards in Bosnia and Herzegovina. In Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risk and Building Resilience to Climate Change*, pp 199–211. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_14
- Schils R, Kuikman P, Liski J, Van Oijen M, Smith P, Webb J, Alm J, Somogyi Z, van den Akker J, Billett M, Emmett B, Evans C, Lindner M, Palosuo T, Bellamy P, Alm J, Jandl R, Hiederer R (2008) Review of Existing Information on the Interrelations Between Soil and Climate Change (ClimSoil), Final Report. European Commission, Brussels, pp 208
- Tolstikov AS, Tissen VM, Simonova GV (2019) Long-Term Climate Prediction by Means of Earth Rotation Rate Adaptive Variations Models. In: Romanovskii OA, Matvienko GG (eds) *25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*, Volume 11208, pp 1120887. International Society for Optics and Photonics. doi.10.1117/12.2540926
- Trbić G, Đurdjević V, Bajić D, Cupać R, Vukmir G, Popov T (2014) Climate Change and Adaptation Options in Bosnia and Herzegovina—Case Study in Agriculture. The International Conference “ADAPT to CLIMATE”, March 27 – 28, 2014, Nicosia, Department of Environment Ministry of Agriculture, Natural Resources & Environment, National Technical University of Athens, National Observatory of Athens, Proceedings, http://adapttoclimate.uest.gr/full_paper/Trbic_et_al.pdf
- Ćorić R, Petrović D, Šaravanja P, Sefo E, Kajić N, Mandić A, Puljić L, Tanović N, Leto A, Hadžiabulić A, Komlen V, Šukalić A, Šupljeglav-Jukić A (2014) Inventar stanja poljoprivrednog zemljišta i njegovog korištenja u regiji Hercegovine. USAID, Mostar, str 90
- Ćota J, Šilj M (2012) Dutch Early Potato Varieties in Bosnia and Herzegovina. Third International Scientific Symposium „Agrosym Jahorina 2012“, November 15 – 17, 2012, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Book of Proceedings, pp 167–172

- FAO (2017) Soil Organic Carbon: The Hidden Potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp 77
- FAO (2021) Soil and Terrain Databases (SOTER). Доступно на: <http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1032175/>, Приступљено: 7. септембар 2021
- Федерално министарство просторног уређења и околиша, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске (2003) Акциони план за заштиту животне средине Босне и Херцеговине (NEAP БиН), Сарајево, стр 137
- Forzieri G, Feyen L, Russo S, Voutsoukas M, Alfieri L, Outten S, Migliavacca M, Bianchi A, Rojas R, Cid A (2016) Multi-Hazard Assessment in Europe Under Climate Change. *Climatic Change* 137(1–2):105–119. doi.10.1007/s10584-016-1661-x
- Hamidov A, Helming K, Bellocchi G, Bojar W, Dalgaard T, Ghaley BB, Hoffmann C, Holman I, Holzkämper A, Krzeminska D, Kværnø SH, Lehtonen H, Niedrist G, Øygarden L, Reidsma P, Roggero PP, Rusu T, Santos C, Seddaiu G, Skarbøvik E, Ventrella D, Žarski J, Schönhart M (2018) Impacts of Climate Change Adaptation Options on Soil Functions: A Review of European Case Studies. *Land Degradation & Development* 29(8):2378–2389. doi.10.1002/ldr.3006
- Hatfield JL, Antle J, Garrett KA, Izaurrealde RC, Mader T, Marshall E, Nearing M, Robertson GP, Ziska L (2020) Indicators of Climate Change in Agricultural Systems. *Climatic Change* 163(4):1719–1732. doi.10.1007/s10584-018-2222-2
- Colantoni A, Ferrara C, Perini L, Salvati L (2015) Assessing Trends in Climate Aridity and Vulnerability to Soil Degradation in Italy. *Ecological Indicators* 48:599–604. doi.10.1016/j.ecolind.2014.09.031
- Čadro S, Cherni-Čadro S, Marković M, Žurovec J (2019) A Reference Evapotranspiration Map for Bosnia and Herzegovina. *International Soil and Water Conservation Research* 7(1):89–101. doi.10.1016/j.iswcr.2018.11.002
- Weissert L, Salmond J, Scwendenmann L (2016) Variability of Soil Organic Carbon Stocks and Soil CO₂ Efflux Across Urban Land Use and Soil Cover Types. *Geoderma* 271:80–90. doi.10.1016/j.geoderma.2016.02.014
- Yang Y, Mohammad A, Feng J, Zhou R, Fang J (2007) Storage, Patterns and Environmental Controls of Soil Organic Carbon in China. *Biogeochemistry* 84(2):131–141. doi.10.1007/s10533-007-9109-z

Climate Change and Land Management

Ružica Stričević, Tihomir Predić, Mihajlo Marković

Summary

The essential resources for the survival of the living world are air, water and land. By its essence land is the only non-renewable natural resource, with a potentially rapid rate of degradation and a very slow process of formation and regeneration. Water and land are resources, characterized by climate, so climate variability inevitably affects the processes in the land and its use, whose testimonies today we could find through the fossil lands. Processes affecting the lands are intensified in the last few decades around the world, such as erosion, water logging, drought, fire, loss of organic matter and the like, are associated with climate change and are visible on the territory of Republika Srpska. The basic task of humans today is to use the land rationally and to preserve it for new generations. On the basis of available measured data and climate models in the future, the following conclusions came out: land use would not be significantly impaired, nor would crop production be endangered; favorable climatic conditions would continue to prevail for the production of corn, wheat, and potatoes, with increased year-on-year variations by the end of the century; due to earlier sowing, water logging would be pronounced; regular maintenance of existing drainage systems should be fully in function, and new ones to be built in geopardize places; for the new, highly intensive orchard establishments and vegetable production, irrigation system should be designed and built; comprehensive solutions of existing erosion processes and prevention of occurrence of new ones should be envisaged, because in future climatic conditions, dry periods of higher intensity might occur, followed by strong rainstorms could cause permanent soil loss due to dried vegetation prone to erosion; considering that the soils of Republika Srpska are very poor in humus, i.e. organic carbon, it is necessary to apply agrotechnical measures to increase the intake of organic matter. Intentional burning of crop residues must be severely punished. Continuous monitoring of soil fertility on georeferenced locations is indispensable (pH, macroelements (NPK), content of organic matter, water-physical properties of soil) for better data comparison and observation of the direction of impact, whether positive or negative, in order to plan and take timely adaptation measures, ensuring proper and sustainable land use and climate change mitigation.

Keywords: Land, climate change, soil degradation, erosion, irrigation, drainage, organic matter

Стратешки и плански документи као одговор на адаптацију на климатске промјене

Дејан Филиповић, Љубица Душков

Сажетак: *Иако се утицај климатских промјена не може са сигурношћу предвидјети, истраживања показују да су екстремне временске прилике, као што су суше или обилне падавине и поплаве, знатно учесталије у посљедњих неколико деценија. Самим тим, климатске промјене све више представљају ризик и могу битно утицати на здравље људи, екосистеме, локалну и глобалну економију, као и на друштвене, политичке и културне обрасце. Као одговор на поменуте изазове које промјене климе са собом носе, у свијету се јављају активности везане за адаптацију. Један од првих корака јесте усвајање националних стратешких и планских докумената који ће утврдити смјернице и мапу пута према климатски отпорном друштву. У првом дијелу рада утврђиван је досадашњи стратешки и законодавни правац развоја система адаптације на климатске промјене Републике Србије и земаља у окружењу – Република Српска, Црна Гора, Сјеверна Македонија и Хрватска. Утврђене су међусобне сличности и разлике у стратешким и законодавним оквирима поменутих земаља, док је у другом дијелу рада ААА модел коришћен за испитивање заступљености проблематике климатских промјена у усвојеним националним планским документима.*

Цитирање: Филиповић Д, Душков Љ (2023) Стратешки и плански документи као одговор на адаптацију на климатске промјене. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:333–367

Cite as: Filipović D, Duškov LJ (2023) Strategic and Planning Documents as Response to Adaptation to Climate Change. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:333–367

Резултати рада указују на релативно добро (у Просторном плану Републике Србије и Стратегији просторног развоја Републике Хрватске) до недовољно (у Просторном плану Републике Српске, Црне Горе и Сјеверне Македоније) заступљену проблематику климатских промјена у анализираним планским документима.

Најмање је заступљена категорија „Анализе“, што је, између осталог, резултат недовољно развијеног система праћења и пројекција будућих емисија гасова са ефектом стаклене баште, као и процјена осјетљивости појединих система (саобраћајних, санитарних, водених) на климатске промјене. Компонента „Акција“ највише је заступљена у свим анализираним плановима. Плански документи дефинисали су смјернице развоја које су у индиректној вези са климатским промјенама (ревитализација и поновна употреба браунфилд (brownfield) локација, обновљиви извори и соларна енергија, енергетска ефикасност, управљање, контрола и третман отпадних вода, развој мултимодалних саобраћајних система), али су као такве саставни дио политика адаптације на климатске промјене, па самим тим и значајне.

Кључне ријечи: Климатске промјене, адаптација, стратегије, просторни план, Република Србија, Република Црна Гора, Република Српска, Република Хрватска, Република Сјеверна Македонија

6.1. Увод

Климатске промјене представљају један од најизазовнијих сегмената савременог друштва. Разлог томе лежи у чињеници да промјене средњих вриједности различитих климатских догађаја, а нарочито промјене у екстремним временским и климатским догађајима, неизбјежно доводе до великих економских губитака, па чак и до губитка људских живота. Уколико савремено друштво настави са емитовањем гасова са ефектом стаклене баште, промјене у климатском систему Земље у будућности ће бити још драматичније, а ризици од могућих негативних посљедица по друштвено-економске секторе и природне системе знатно ће се повећати (Djurđević et al. 2019). Став свјетске заједнице је прилично јасан кад је у адаптација на климатске промјене, а то је да, уколико се створе јасне и уједначене политике борбе за адаптацију на климатске промјене, једино тако се може очекивати стварање климатски отпорног друштва, што је свима циљ (Filipović i Duškov 2019, 2020).

Ублажавање климатских промјена и прилагођавање на њих постаје интердисциплинарно подручје разматрања и истраживања (Filipović et al. 2016; Филиповић и сар. 2016; Duškov 2016). Многобројни аутори истичу значај стратешких и планских докумената у процесу одговора и адаптације на климатске промјене. Због вишеструких посљедица климатских промјена, све је присутнија и потреба за адекватним моделима и приступима за развој стратегија адаптација (Živković et al. 2019).

Према Thabang (2014) просторно планирање представља прилику за повећање отпорности на климатске промјене у осјетљивим подручјима путем интеграције планирања и прилагођавања клими, при чему ће такве активности утицати на побољшање благостања људи. Како наводи, посљедице климатских промјена се не могу предвиђати са потпуном извјесношћу, али се већ зна довољно да се могу разматрати ризици у домену повећања температуре ваздуха, доступности пијаће воде, смањења биодиверзитета, квалитета хране, односно укупних услова живљења и утицаја на људско здравље. Нека од бројних истраживања указују на висок ниво рањивости и ризика природних ресурса, на првом мјесту пољопривреде и шумских ресурса на промјене климе у будућности, што може битно утицати на квалитет живота и здравље становништва, те се као неопходне мјере намећу мјере адаптације кроз планску и законодавну регулативу (Duškov et al. 2020).

Планирање простора и заштита животне средине морају имати јединствену методолошку основу са јасно дефинисаним корацима за анализу проблематике животне средине у просторном планирању (Филиповић 2015). Ипак, приступ проблематици климатских промјена кроз процес просторног планирања је веома сложен. Bazik i Dželebdžić (2011) истичу да је изазов са аспекта просторног планирања најприје што се климатске промјене смјештају у широки тематски оквир, покрећући питања технолошког развоја, енергетских ресурса, тржишта, цивилног друштва, економског јаза између развијених и неразвијених земаља. Такође, премјештање фокуса на потенцијалне дугорочне утицаје климатских промјена представља додатни изазов за просторне планере, који сада треба да сагледају како климатске промјене могу утицати на њихове развојне опције у наредних стотину и више година.

6.2. Метод

У раду је извршена анализа основних карактеристика и структурних форми усвојених стратешких докумената и законодавних оквира из области климатских промјена, са циљем издвајања главних разлика и сличности у стратешким правцима развоја земаља које су чланице Европске уније

(Република Хрватска) и осталих земаља којима је чланство у Европској унији један од главних приоритета (Република Србија, Црна Гора, Сјеверна Македонија и Република Српска).

За анализу Просторног плана Републике Србије, Просторног плана Републике Српске, Просторног плана Републике Црне Горе, Стратегије просторног развоја Републике Хрватске и Просторног плана Републике Сјеверне Македоније, коришћен је ААА модел (Moser and Luers 2008) како би се утврдио степен заступљености проблематике климатских промјена у њиховој садржини. Модел је дефинисан на основу 31 критеријума, који су сврстани у оквиру 3 компоненте, а свака компонента одражава неку од активности које се могу очекивати у оквиру просторног плана. „*Awareness*“ или „Свјесност“ компонента има циљ да процјени у којој мјери план „препознаје“ узрочнике климатских промјена (емисије гасова са ефектом стаклене баште и њихове посљедице, концепт глобалног загријавања итд.); компонента „*Analyses*“ или „Анализа“ показује колико су планови у могућности да анализирају, квантификују и синтетизују информације о климатским промјенама у планском поступку, а компонента „*Action*“ или „Акција“ процењује да ли и на који начин просторни планови садрже конкретне мјере за адаптацију и рјешавање проблема климатских промјена (Füssel 2007; Biesbroek et al. 2010).

Анализа планских докумената извршена је додјеливањем вриједности 0–2 у зависности од заступљености критеријума у планском документу, и то тако да вриједност 1 представља заступљеност критеријума али без детаљнијих објашњења, а вриједност 2 указује на то да се уз детаљне информације и анализе критеријум разматра у планском документу. Вриједност 0 се додјељује уколико се критеријум уопште не помиње у планском документу.¹

Планска рјешења која су вреднована у раду, усвојена су за период 2021–2035. године за Просторни план Републике Србије, период 2007–2025. године у Просторном плану Републике Српске (уз измјене и допуне Просторног плана), период 2020–2040. године у Нацрту Просторног плана Републике Црне Горе, период 2002–2020. године у Просторном плану Републике Сјеверне Македоније и период 2017–2027. у Стратегији просторног развоја Републике Хрватске.

¹ На примјер, критеријум „Процјена о годишњим емисијама гасова са ефектом стаклене баште“ – вриједност 0 додијелиће се уколико у плану нема никаквих података о годишњим емисијама; вриједност 1 – уколико се у плану приказује слика или графикон о емисијама али без даљих информација; вриједност 2 – уколико је у плану дат детаљан приказ годишње емисије, подаци о изворима гасова, њихов просторни распоред итд. (Moser and Luers 2008).

6.3. Анализа стратешког и законодавног оквира

Политика у области климатских промјена, укључујући мјере за ублажавање и прилагођавање, чврсто је међусекторски повезана са активностима читаве државне управе (Filipović i Duškov 2020). Све државе које су предмет овог рада активно раде на националном и међународном нивоу како би дале свој допринос у глобалној борби против климатских промјена. Свих пет држава су потписнице најзначајније Оквирне конвенције Уједињених нација о промјени климе (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*), као и Париског споразума, те Кјото протокола, Бечке конвенције о заштити озонског омотача и Монреалског протокола о супстанцама које оштећују озонски омотач, чиме су постале чланице кључних међународних мултилатералних споразума о климатским промјенама.

Најзначајнија разлика која проистиче из чланства у Оквирној конвенцији тиче се статуса појединих држава при чему се једино Хрватска налази у категорији *Annex I*, а све остале су у категорији *Non-Annex I*. У погледу извјештавања у складу са Оквирном конвенцијом Уједињених нација о промјени климе, разлике између стања у анализираним државама су, у основи, разлике које проистичу из статуса држава у овом међународном уговору, па је тако Хрватска своју Пету националну комуникацију поднијела Секретаријату Оквирне конвенције 2010. године, док су све остале државе као државе у статусу *Non-Annex I* поднијеле свој први извјештај 2010. године (Todić 2014). Земље које нису у статусу *Annex I* су земље у развоју или транзицији, које нису у обавези да предузимају мјере за смањење емисија гасова, али се уз финансијску подршку развијених земаља подстичу да то ураде.

У Таб. 6.1. дат је приказ усвојених стратегија из области климатских промјена, као и оних стратегија из секторских области које су под директним утицајем и ризиком од климатских промјена. У табели нису наведене стратегије из појединих области, иако су усвојене, из разлога што не препознају проблематику климатских промјена ни као пријетњу и ризик, нити кроз дефинисање будућих мјера и активности.

Таб. 6.1. Преглед усвојених стратегија из области климатских промјена
Table 6.1. Review of adopted strategies in the field of climate change

Област	Република Србија	Република Црна Гора	Република Хрватска	Република Српска	Република Сјеверна Македонија
--------	------------------	---------------------	--------------------	------------------	-------------------------------

Климатске промјене	Стратегија нискоугљеничног развоја са Акционим планом (2017) ²	Национална стратегија о климатским промјенама до 2030. године (2015)	Стратегија прилагодбе на климатске промјене за раздобље до 2040. године са погледом на 2070. годину (2020)	Стратегија прилагођавања на климатске промјене и нискоемисионог развоја за Босну и Херцеговину (2013)	Стратегија за животна средина и климатски промјени 2014–2020. (2015)
	Стратегија комуникације за област климатских промена (2017)	Национална стратегија за транспозицију, имплементацију и примјену правне тековине ЕУ у области животне средине и климатских промјена (2016)	Стратегија нискоугљеничног развоја Републике Хрватске до 2030. године са погледом на 2050. годину (2021)		Комуникациска стратегија и акциски план за климатски промјени (2013)
		Процјена технолошких потреба за ублажавање климатских промјена и прилагођавање за Црну Гору (2012)	Стратегија поморског развитка и интегралне поморске политике Републике Хрватске за раздобље од 2014. до 2020. године (2014)		Стратегија прометног развоја Републике Хрватске за раздобље од 2014. до 2030. године

Енергетика	Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. са пројекцијама до 2030. године	Стратегија развоја енергетике Црне Горе до 2030. године (2014)	Стратегија енергетског развоја Хрватске до 2030. године са погледом на 2050. (2020)	Стратегија енергетике Републике Српске до 2035. године (2018)	Стратегија за развој на енергетиката во Република Сјеверна Македонија до 2040 година (2020)
Пољопривреда и рурални развој	Стратегија пољопривреде и руралног развоја Републике Србије за период 2014–2020.	Стратегија развоја пољопривреде и руралних подручја 2014–2020. (2014)	Нацрт стратегије пољопривреде Републике Хрватске 2020–2030. године	Стратешки план развоја пољопривреде и руралних подручја Републике Српске (2018)	Национална стратегија за земјоделство и рурален развој за периодот 2014–2020. година (2014)
Шумарство	–	Национална шумарска стратегија (2014)	–	Стратегија развоја шумарства 2011–2021.	–
Управљање водама	Стратегија управљања водама на територији Републике Србије (2015)	Стратегија управљања водама Црне Горе (2017)	Стратегија управљања водама Хрватске (2009)	Стратегија интегралног управљања водама Републике Српске до 2024. године (2012)	*3

² Стратегија нискоугљеничног развоја са Акционим планом још није усвојена, али је њен садржај доступан, због чега је уврштена у анализу.

³ Национална стратегија за води (2012–2042) Републике Сјеверне Македоније је усвојена, али тренутно недоступна, због чега није могла бити укључена у анализу. Подаци су преузети са сајта https://www.moerr.gov.mk/?page_id=3197.

Заштита природе	Стратегија биолошке разноврсности Републике Србије за период 2011–2018. године	Национална стратегија биодиверзитета са акционим планом за период 2016–2020. године	Стратегија и акцијски план заштите природе Републике Хрватске за раздобље 2017–2025. године	Стратегија заштите природе Републике Српске (2011)	Национална стратегија за биолошка разноврсност со акцијски план на Република Македонија со период 2018–2023. године
Одрживи развој	Стратегија одрживог развоја (2008)	Национална стратегија одрживог развоја (2016)	–	–	–
Здравствени сектор	–	–	–	–	Стратегија за адаптација на здравствениот сектор кон климатските промјени во Република Македонија со акционен план (2017)

Област климатских промјена покривена је бројним стратегијама у свим државама за које је вршена анализа. Највећи број таквих стратегија усвојен је у Републици Хрватској и Црној Гори. Стратегије адаптације на климатске промјене усвојене су у Републици Црној Гори, Хрватској и Републици Српској, док је таква стратегија у Републици Србији у фази усвајања. Главни циљ стратегија борбе против климатских промјена и адаптације на њих јесте дефинисање стратешког приступа процесу адаптације на климатске промјене уз утврђивање степена рањивости и утицаја климатских промјена, као и одређивање приоритетних мјера дјеловања. Република Хрватска засада једина има званично усвојену Стратегију нискоугљеничног развоја, док у Републици Србији поступак усвајања траје од 2017. године. Како је садржај Стратегије нискоугљеничног развоја Србије достапан, уврштена је у анализу и установљено је да је у стратегији развијено шест сценарија емисија гасова са ефектом стаклене баште, а Акциони план, који је саставни дио Стратегије, процјењује могућности и предлага пожељне мјере и акције за постизање визије и циљева из Стратегије. Достизање нискоугљеничног развоја за

Хрватску предложено је кроз стотине мјера које се могу примијенити за смањење емисија (техничког и не-техничког типа), у различитим секторима: производња електричне енергије и топлоте, производња и прерада горива, саобраћај, општа потрошња (домаћинства и услуге), индустрија, пољопривреда, коришћење земљишта, шумарство и отпад. Све ове мјере су уграђене у три главна сценарија: 1) референтни сценарио, 2) сценарио поступне транзиције и 3) сценарио снажне транзиције. Стратегија комуникација за област климатских промјена усвојена је само у Републици Сјеверној Македонији и Републици Србији. Сврха ове стратегије јесте да развије систематичнији и ефективнији приступ у комуникацији теме климатских промјена која за крајњи циљ има и веће учешће грађана и заинтересованих страна у свим процесима од значаја за област климатских промјена.

У области развоја енергетике и пољопривреде и руралног развоја све државе имају усвојене стратегије које у великој мјери разматрају питање климатских промјена. У Србији, као и у осталим земљама, производња и потрошња енергије присутна је као главна пријетња која узрокује климатске промјене. Стога је фокус сваке расправе о климатским промјенама на енергетском сектору, и управо ка њему треба усмјерити највише пажње како би се тренутно стање побољшало (Protić et al. 2019). Будући развој енергетског система све државе планирају уз подстицање мјера енергетске ефикасности уз примјену савремених енергетских технологија, затим укључивање обновљивих извора енергије у подмиривање потреба за енергијом, док се у Стратегији енергетског развоја Сјеверне Македоније до 2040. године дефинишу и два сценарија која подразумевају укидање употребе угља до 2025. године и знатно повећање коришћења енергије вјетра и сунца.

Приликом дефинисања стратегија за развој пољопривреде све државе су разматрале питање климатских промјена као знатног ризика за пољопривредну производњу и сходно томе дефинисале су циљеве и мјере за ублажавање негативних утицаја. Тако је у Нацрту стратегије пољопривреде Републике Хрватске 2020–2030. године издвојен специфичан циљ „Смањење осјетљивости на климатске промјене и подстицање производње са ниским емисијама“, који је детаљно разрађен са издвојеним кључним потребама и оквирима за праћење и реализовање. Исто тако, у оквиру специфичних циљева дефинисаних у Стратегији пољопривредног и руралног развоја, издваја се неопходност реакције на климатске промјене, заштита пољопривредног земљишта од трајне промјене намјене, смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште, заштита биодиверзитета и типичних руралних пејзажа, рационално коришћење водних ресурса, шума и других природних потенцијала руралних средина, представљање нове политике подршке која уважава мултифункционалност пољопривреде.

У **области шумарства**, Национална шумарска стратегија Црне Горе препознаје климатске промјене као највећу пријетњу за црногорске шуме које могу повећати ризик од суша, пожара и биотских штеточина. Мјере заштите биодиверзитета и других екосистемских услуга шума и мјере заштите од пожара директно се односе на утицај климатских промјена на будући развој шума у оквиру Стратегије. Будући планови и активности за развој шума и програми газдовања треба да обухвате мјере адаптације на климатске промјене са укљученим мјерама превенције. У Стратегији развоја шумарства Републике Српске 2011–2021. године питање климатских промјена издваја се само као узрочник деградације, али у оквиру SWOT анализе није издвојено као пријетња развоју шумарства. Остале државе имају усвојене стратегије из области шумарства, али нису разматрале питање климатских промјена.

У циљу одрживог **управљања водама** у условима климатских промјена анализирани стратегије су најприје препознале климатске промјене као пријетњу по површинске и подземне воде, затим дефинисале мјере за наводњавање пољопривредног земљишта, као и мјере заштите од поплава (нарочито Стратегија интегралног управљања водама Републике Српске и Стратегија управљања водама Црне Горе). У Стратегији управљања водама Хрватске проблематици климатских промјена није посвећена адекватна пажња, док се у Стратегији управљања водама даје приказ могућих утицаја климатских промјена на водне ресурсе као потенцијални узрок погоршања квалитета карактеристика великих вода, промјена режима протицаја у водотоцима, што се одражава и на режим подземних вода.

Климатске промјене посебно су наглашене и издвојене као пријетња по биодиверзитет у **области заштите природе** свих анализираних држава. Већина држава је у својим стратегијама у области заштите природе издвојила и одређене циљеве (или један циљ) који се односе на прилагођавање климатским промјенама. У оквиру Стратегије за биолошку разноврсност Сјеверне Македоније дате су и конкретне мјере за прилагођавање на климатске промјене и ублажавање негативних ефеката климатских промјена на биолошку разноврсност тиме што предвиђају начине коришћења биолошких ресурса на начине који их неће угрожавати, а односе се на одрживу употребу земљишта, континуирану координацију активности на заштити биолошке разноврсности, утврђивање биокоридора за кретање и миграцију животињских врста угрожених климатским промјенама, развој пилот студија о климатским промјенама за детаљно мапирање и моделирање промјена на неким планинским пашњацима, припрему хидролошке студије за угроженост мочвара у низијама, планинама и ледничких језера и др.

Стратегије **одрживог развоја** Републике Србије и Црне Горе једине су које су анализирале проблем утицаја климатских промјена на cjелокупан развој. У

Стратегији одрживог развоја Црне Горе као један од седам издвојених приоритета развоја издваја се унапријеђено рационално коришћење енергије, повећано коришћење из обновљивих извора и адаптације на климатске промјене.

У области здравственог сектора само је у Републици Сјеверној Македонији усвојена Стратегија за адаптацију здравственог сектора на климатске промјене са акционим планом који предвиђа рокове, надлежне одговорне институције и финансијске оквире за спровођење сваког од укупно 8 специфичних циљева и активности у оквиру њих за њихово успјешније реализовање. Стратегија посебну пажњу посвећује утицајима које климатске промјене имају по здравље и добробит људи, и издваја посебно осјетљиве групе које су под посебним ризиком.

6.4. Анализа планских докумената

Просторни план Републике Србије 2020–2035. године основни је плански документ просторног планирања и развоја у Републици којим се одређује дугорочни стратешки оквир за усмјеравање и управљање просторним развојем. Као главна ограничења одрживог просторног развоја, између осталог, издвајају се скроман адаптивни капацитет Републике Србије на климатске промјене, увећан негативан ефекат стаклене баште усљед недовољне шумовитости (31%) у односу на оптимум (41% територије), слабљење резилијентности простора на климатске промјене, као и утицај климатских промјена на водоснабдијевање у будућности, заштиту од поплава, производњу електричне енергије, ерозију земљишта, суше, насеља, пољопривреду, шуме, туризам и др.

Питање адаптација на климатске промјене заузима значајно мјесто у планском документу јер се налази у визији дугорочног развоја, а дио је општег и посебних циљева просторног развоја, али и других секторских циљева попут руралног развоја, заштите и коришћења шума и шумског земљишта. Општи циљ у области климатских промјена односи се на смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште на националном нивоу у складу са намјераваним националним доприносом, уз подршку система просторног и секторског планирања и развијање одрживог система управљања ризиком од климатских промјена у Републици Србији. Посебни циљеви дефинисани у овој области су анализа и процјена будућих ризика и рањивости у одабраним секторима (пољопривреда, водни ресурси и водопривреда, шумарство, биодиверзитет, енергетика и енергетска инфраструктура, саобраћај и саобраћајна инфраструктура) у односу на сценарије будућих климатских промјена, утврђивање мјера адаптације и/или митигације, јачање регионалне и

међународне сарадње у овој области, дефинисање зона највеће угрожености климатским промјенама на територији Републике Србије и структурирање мјера прилагођавања, заштите и одрживог коришћења природних и антропогених ресурса, интегрисање концепта тзв. зелене и плаве инфраструктуре у планирање одрживог развоја урбаних и руралних насеља и одрживо коришћење ресурса, смањење ризика изазваних климатским промјенама јачањем капацитета за адаптацију на измијењене климатске услове најрањивијих социјалних група и сектора привреде. Значајно је што су издвојени и посебни циљеви по секторима – пољопривреда, шумарство, биолошки диверзитет, енергетика и енергетска инфраструктура, саобраћај и саобраћајна инфраструктура, туризам.

Нацрт Просторног плана Републике Црне Горе до 2040. године уз сагледавање постојећег стања у достигнутом развоју у појединачним областима, дефинише развојне циљеве, упућује на могуће варијанте развоја у предстојећем периоду до 2040. године и предлаже одржив сценарио развоја, који подразумеива одговоран, уравнотежен и контролисан развој, који води ка просперитету у економском, социјалном и еколошком смислу. У анализи постојећег стања образложени су и метеоролошки хазарди, посебно са аспекта климатских промјена, и указано је на то да екстремне метеоролошке ситуације могу често да поприме карактер метеоролошких хазарда, при чему озбиљно утичу на простор, инфраструктуру, имовину грађана, а често угрожавају и безбједност људи. Издвојени су општи циљеви развоја који укључују климатске промјене, и то идентификовање климатских ресурса по климатско–метеоролошким регијама, затим повећање степена валоризације и економски развој и повећање безбједности од дејства потенцијалних метеоролошких хазарда. Као посебан циљ у овој области наводи се имплементација климатско–метеоролошких карактеристика у Просторном плану и намјена простора на принципу економског и одрживог развоја и просперитета друштва на начин што ће утицати на смањење ризика од потенцијалних метеоролошких хазарда у духу Сендаи оквира за смањење ризика од катастрофа у периоду 2015–2030. године.

Наводе се и квантитативни и описни индикатори који ће приказати степен остваривости постављених циљева. Издвојени су неки од квантитативних индикатора:

- упоредити вриједности климатских индикатора на сваких пет година до 2040. године,
- упоредити годишњу производњу електричне енергије од стране соларних електрана, вјетро-електрана и малих хидро-електрана 2020. године са просјечном годишњом производњом за петогодишњи период на сваких 5 година током периода 2020–2040. године,

- упоредити просјечан број интервенција и причињену штету током сезоне у случајевима пожара на сваких пет година по регионима.

Од описних индикатора издвојени су: аналитички осврт, на сваких пет година за петогодишњи период, на остварени утицај климатских промјена уз констатацију који је сектор привреде и простора највише био рањив; на сваких пет година урадити – иновирати процјену ризика од метеоролошких хазарда за простор или климатску регију од посебног значаја уз индикацију да ли је наступило смањење или повећање ризика; за најрањивије климатско-метеоролошке регије у којима се одвијају важне економско-привредне активности прописати мјере адаптације и митигације на сваких пет година; у урбаним срединама дати аналитички осврт на сваких пет година уз индикацију да ли је наступило погоршање; упоређивање о утицајима „острва топлоте“ и „температурних инверзија“ на локалну заједницу и микроклиму.

У Просторном плану Црне Горе један од општих развојних циљева треба да буде и планирање ширења насеља уз обалу уз знатну удаљеност од обалне линије као вид адаптације на климатске промјене усљед ризика од повећања нивоа Свјетског мора, као и правилно планирање зелене инфраструктуре у циљу утицаја на смањење температуре. На нивоу стратешких одређења које треба утврдити у наредном периоду, неопходно је у просторним плановима конкретније дефинисати мјере за адаптацију простора на климатске промјене као и декларисана стратешка одређења уградити у формалне, али оперативне политике дјеловања и афирмисати проблем на најширем друштвеном нивоу.

Просторни план Републике Српске (2013) према свом карактеру дефинисан је као стратешко-развојни документ који дефинише опште стратешке циљеве дугорочног просторног развоја, уређења и заштите Републике Српске и њених еколошких, социјалних и економских подсистема (до 2025. године) као и основна планска рјешења и политике упућене ка општим (до 2025. године) и оперативним (до 2018. године) циљевима просторног развоја. У плану су дати почетни резултати истраживања везаних за оцјену климатске варијабилности.

На бази анализе историјских метеоролошких података Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске и Хидрометеоролошког завода Федерације БиХ, а у сврху оцјене тренда осматрених климатских промјена и калибрације регијског климатског модела, коришћени су подаци за тада посљедњу климатску нормалу према стандардима Свјетске метеоролошке организације (1961–1990), те посљедњи тридесетогодишњи период (1981–2010. године). На бази метеоролошких података са станица, израђене су

тематске климатске карте у ГИС за два периода 1961–1990. и 1981–2010. године. Уз то израчунате су вриједности средњих температура ваздуха и средњих количина падавина за комплетну површину посматраног простора. Такође, климатски сценарији до 2030. године (А1В сценарио, 2001–2030) приказани су у оквиру истог поглавља Просторног плана Републике Српске, гдје су пројектоване промјене температуре и количине падавина за период 2001–2030. у односу на базни период 1961–1990. године (Avdić et al. 2013). На годишњем нивоу очекивана промјена температуре креће се у границама од 0,8 °C до 1 °C са већим вриједностима на сјеверу. Промјена падавина на годишњем нивоу је негативна на цијелој територији и износи од 0% до -10%, изузев сјевероистока гдје је промјена позитивна и то до +5%.

Стратегија просторног развоја Републике Хрватске има за циљ препознавање, очување, промовисање и одрживо коришћење вриједности простора Републике Хрватске, посебно оног на коме се темељи његов идентитет. Као један од главних притисака на простор издвојене су климатске промјене и три главне карактеристике њихових утицаја: пораст средње годишње температуре ваздуха, смањење количине падавина, као и све учесталија појава екстремних временских догађаја, као што су олујна невремена праћена екстремним падавинама и/или вјетром и топлотни таласи. Као посебно угрожени простори издвојени су виногради и друге пољопривредне културе у приобаљу, гдје се очекује све више суша (што ће угрозити водне ресурсе), а затим и шумских пожара. Приобаље и пољопривредно интензивни низијски крајеви Републике Хрватске највише ће бити изложени суши, а утицај је додатно повећан због неодговарајућег и недовољно развијеног система наводњавања. Подручја која су посебно угрожена природним поплавама јесу: подручја великих ријека дунавског слива (узрок су обилне падавине и/или нагло топљење снијега), подручја уз мање водотоке (због краткотрајних интензивних киша, обично су то подручја изван система одбране од поплава), крашка поља (због обилних падавина и/или наглог топљења снијега у комбинацији с недовољним апсорпционим капацитетом природних понора), равничарске површине уз унутрашње воде те обално подручје (поплаве мора). Пораст нивоа мора дугорочан је проблем, који би, према процјенама, могао знатно утицати на живот људи и подстаћи еколошке миграције. Очекује се пораст нивоа мора до пола метра у наредних стотину година, а то ће угрозити ниска приобална подручја, помјериће подручје Неретве, које би добрим дијелом могло бити потопљено. Нека јадранска острва ниске надморске висине могла би у сљедећих неколико деценија нестати. Подигне ли се ниво мора, у питање ће доћи и сигурност грађевина уз море, попут мостова и других објеката. У Стратегији се напомиње да ће и развој енергетике у будућем периоду зависити од одговора на климатске промјене, а једна од главних тема стратешке политике јесте успостављање модела смањења удјела укупне емисије гасова

се ефектом стаклене баште и повећања удјела обновљивих извора енергије у производњи и укупној потрошњи енергије. Посебна пажња посвећена је мјерама ублажавања последица климатских промјена уз јасно издвојене пројекте и активности, од којих су неке: припрема планске и техничке документације за ефикасније управљање одбрамбеним системом за ублажавање поплава и суше са нагласком на одбрани најугроженијих урбаних подручја; процјена просторних, историјских, природних и инфраструктурних карактеристика подручја уз ријеке и интегрално разматрање развоја система: заштита од поплаве, пловидбеност, водоснабдијевање, коришћење енергије, развој насеља, заштита природног и културног наслеђа, транспорт и туризам, са нагласком на заштити најосјетљивијих подручја дуж ријеке (водозаштитна подручја, заштићена природна подручја и значајна станишта); израда програма заштите, уређења и коришћења ријеке Саве и приобаља од границе с Републиком Словенијом до Сиска; израда Процјене ризика од катастрофа у Републици Хрватској; израда Стратегије нискоугљичног развоја Републике Хрватске за раздобље до 2030. с погледом на 2050. годину, са Акционим планом.

Просторни план Републике Сјеверне Македоније (2002) донијет је за период 2002–2020. године и представља интегрални документ који је саставни дио развојног пројекта који помаже у дефинисању просторне организације и концепта просторног развоја одређеног подручја, као и услова за њихову реализацију. У овом планском документу не помиње се концепт климатских промјена, нити се дају смјернице за дефинисање мјера и акција за адаптацију.

6.5. Резултати вредновања планских докумената моделом ААА

Резултати вредновања планских докумената указују на релативно добру до недовољну заступљеност проблематике климатских промјена у планским документима. Квантитативно посматрано, од укупно 62 бода (31 критеријум са максималних 2 бода по критеријуму) Просторни план Републике Србије има 20, Стратегија просторног развоја Републике Хрватске има 17, Просторни план Републике Црне Горе има 11, затим слиједе Просторни план Републике Српске са 9 бодова и, на крају, Просторни план Републике Сјеверне Македоније, који има свега 3 бода. Приказ критеријума и начина вредновања садржине планова дат је у Таб. 6.2.

Компонента „Анализа“ (*Analyses*) показала се као најмање заступљена у свим предметним плановима – не постоје подаци о емисији, будућим трендовима емисије, израда сценарија емисије гасова са ефектом стаклене баште, тренутно стање саобраћајне инфраструктуре и санитарних система осјетљивих на климатске промјене и др.

Таб. 6.2. Избор критеријума и начин вредновања планских докумената
 Table 6.2. Criteria and assessment of content for Spatial plans

СВЈЕШТОСТ (AWARNESS)	
Критеријум	Вриједност 1
	Вриједност 2
Концепт климатских промјена или глобално загријавање	2
Наводи се уопштено појам климатских промјена и кратка дискусија о разматрању политике везана за „одговор“ на тај феномен.	0
Постоји јасна визија о проблематици климатских промјена и какве последице имају на разне аспекте локалног развоја. Идентификовани су циљеви и приоритети са објашњењима.	1
	2
	0

<p>Дугорочни циљеви и мјере за рањивост на климатске промјене као и њихов утицај</p>	<p>Предвиђања утицаја климатских промјена на биофизички/социјални/економски концепт планираног простора</p>
<p>Наводе се стратешки циљеви са одређеним приоритетима адаптације, али без детаљнијих објашњења, као и без начина за њихову имплементацију.</p>	<p>Основни подаци (евиденција) о потенцијалним утицајима климатских промјена на биофизичке/социјалне/ економске компоненте планираног простора.</p>
<p>Постоји јасна визија о приоритетним циљевима и акцијама које ће се спроводити у предстојећем периоду уз детаљно објашњење и оправданост за спровођење.</p>	<p>Процијењена је угроженост различитих поднебља са вриједносним скалама.</p>
<p>1</p>	<p>2</p>
<p>1</p>	<p>0</p>
<p>1</p>	<p>0</p>
<p>2</p>	<p>2</p>
<p>0</p>	<p>0</p>

Критеријум	Смјернице и стандарди за имплементацију мјера за адаптацију и ублажавање (митигацију) климатских промјена на планираном простору
Вриједност 1	Низ политика и акционих планова који се односе на питања попут емисије гасова са ефектом стаклене баште, енергетска ефикасност...
Вриједност 2	Просторни план укључује смјернице и стандарде за климатске промјене и питања попут загађења, заштите животне средине, енергетска ефикасност, водни ресурси...
ПП Реп. Србије	1
ПП Реп. Црне Горе	0
ПП Републике Српске	0
Стратегија просторног развоја Реп. Хрватске	1
ПП Реп. Сјеверне Македоније	0
АНАЛИЗА (ANALYSES)	

<p>Израда сценарија емисије гасова са ефектом стаклене баште</p>	<p>Будући тренд емисије гасова са ефектом стаклене баште</p>	<p>Емисије гасова са ефектом стаклене баште</p>
<p>Емисија гасова са ефектом стаклене баште се планира у будућности, а не током саме израде плана.</p>	<p>Будући трендови емисије гасова са ефектом стаклене баште се на основу претходних мјерења планирају урадити у будућности.</p>	<p>Просторни план садржи податке о тренутној емисији гасова са ефектом стаклене баште као и о просторној продукцији.</p>
<p>Сценарио и циљеви за емисију гасова са ефектом стаклене баште утврђени су приликом израде просторног плана.</p>	<p>Будући трендови емисије гасова са ефектом стаклене баште су предвиђени у плану на основу претходних и тренутних мјерења емисије.</p>	<p>Емисија гасова са ефектом стаклене баште је детаљно представљена уз приказ трендова у претходном периоду, као и предвиђања емисије у будућности.</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>

Процјена саобраћајног система у односу на климатске промјене	Процјена физичког развоја
Тренутно стање саобраћајне инфраструктуре која је осјетљива на климатске ризике или је интегрални дио управљања приказано је или је у плану да буде приказано у будућности.	Тренутно стање и расположиви ресурси који су осјетљиви на климатске промјене приказани су или су планирани да буду приказани у будућности.
Приказано је тренутно стање саобраћајне инфраструктуре која је осјетљива на климатске ризике, али и институције, организације и предузећа која су одговорна за имплементацију активности саобраћајне политике и интеграције у њиховом управљању.	Приказано је тренутно стање и расположиви ресурси који су осјетљиви на климатске промјене, али и институције, организације и предузећа која су одговорна за дизајнирање и спровођење мјера адаптације и интеграције у њиховом управљању.
0	1
0	0
0	0
0	1
0	0

<p>Процјена потребе и потрошње енергије</p>	<p>Процјена стања вода и санитарних система у вези са климатским промјенама</p>
<p>Тренутно стање и потребе за потрошњом енергије у различитим облицима, која је осјетљива на климатске ризике приказани су или су у плану да буду приказани у будућности.</p>	<p>Тренутно стање вода и санитарних система који су осјетљиви на климатске ризике или су саставни дио управљања приказани су или су у плану да буду приказани у будућности.</p>
<p>Приказано је тренутно стање потребе и потрошње енергије осјетљиве на климатске ризике, али и институције, организације и предузећа која су одговорна за имплементацију активности и интеграције у њиховом управљању.</p>	<p>Приказано је тренутно стање вода и санитарних система који су осјетљиви на климатске ризике, али и институције, организације и предузећа која су одговорна за имплементацију активности и интеграције у њиховом управљању.</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>

<p>Процјена последица климатских промјена на заштићена природна добра</p>	<p>Процјена климатских промјена на измјене намјене земљишта</p>
<p>Тренутно стање природних добара и екосистема, који су осјетљиви на климатске ризике или су саставни дио управљања приказани су или су у плану да буду приказани у будућности.</p>	<p>Тренутно стање промјене намјене земљишта које је осјетљиво на климатске ризике приказано је или је у плану да буде приказано у будућности.</p>
<p>Приказано је тренутно стање природних добара и екосистема осјетљивих на климатске ризике, али и институције, организације и предузећа која су одговорна за имплементацију активности и интеграције у њиховом управљању.</p>	<p>Приказано је тренутно стање промјене намјене земљишта које је осјетљиво на климатске промјене, али и институције, организације и предузећа која су одговорна за имплементацију активности и интеграције у њиховом управљању.</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>

<p>Приказ организација које имају капацитете и могућности да реагују на климатске промјене</p>	<p>Процјена трошкова смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште</p>	<p>Процјена трошкова штете имовине као посљедица катастрофа</p>
<p>Именоване организације, али без детаљнијих објашњења.</p>	<p>Планира се израда процјене трошкова смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште.</p>	<p>Приказана је или се планира процјена трошкова штете имовине која је изложена катастрофама узрокованим климатским промјенама.</p>
<p>Идентификовани актери, стејкхолдери (<i>stakeholders</i>) и њихове надлежности и одговорности у току припреме плана.</p>	<p>Приказан је метод процјене трошкова смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште на основу претходних, садашњих и будућих трендова промјена.</p>	<p>Приказан је метод процјене трошкова штете имовине која је изложена катастрофама климатских промјена, на основу претходних, садашњих и будућих трендова промјена.</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>

Коришћење земљишта и изградња објеката отпорних на катастрофе	Критеријум	Синергија са другим плановима и програмима адаптације на климатске промјене
Постојећи просторни план и надлежне институције планирају да подстичу изградњу објеката и коришћење простора отпорних на катастрофе.	Вриједност 1	Синергија са другим плановима и програмима адаптације на климатске промјене препозната је или се планира у будућности.
Постојећи просторни план и надлежне институције подстичу изградњу објеката и коришћење простора отпорних на катастрофе.	Вриједност 2	Омогућена је синергија са другим плановима и програмима адаптације на климатске промјене.
1	ПП Реп. Србије	1
1	ПП Реп. Црне Горе	0
0	ПП Републике Српске	0
1	Стратегија просторног развоја Реп. Хрватске	0
0	ПП Реп. Сјеверне Македоније	0
АКЦИЈА (ACTION)		

Заштита паркова, шума, предјела и природних добара	Ревитализација и поновна употреба <i>brownfield</i> локација	Зелена инфраструктура
Постојећи просторни план и надлежне институције планирају да подстичу и интегришу заштиту еко-региона у оквиру простора осјетљивог на климатске промјене.	Постојећи просторни план и надлежне институције планирају да подстичу и интегришу ревитализацију <i>brownfield</i> локације.	Постојећи просторни план и надлежне институције планирају да подстичу развој зелене инфраструктуре и стандарда.
Постојећи просторни план и надлежне институције планирају да подстичу и интегришу заштиту еко-региона у оквиру простора осјетљивог на климатске промјене.	Постојећи просторни план и надлежне институције користе <i>brownfield</i> локације за нове намјене.	Постојећи просторни план и надлежне институције предвиђају коришћење зелене инфраструктуре и стандарда.
0	1	1
1	1	1
0	1	0
0	1	1
0	0	0

Саобраћајна инфраструктура отпорна на климатске промјене	Мултимодалне саобраћајне стратегије	Пјешачке зоне и бициклистички саобраћај
Планирају се политике отпорности или рањивости саобраћајне инфраструктуре на климатске промјене.	Планиран је тренутни статус саобраћајних система и низ политика попут модалних саобраћајних система.	Низ политика и акционих планова које укључују и подржавају јавни превоз и пјешачке капацитете у региону.
Усвојене политике осјетљивости саобраћајне инфраструктуре на климатске промјене.	Тренутни статус саобраћајног система и низ политика попут мултимодални саобраћајни системи је развијен.	Имплементиране разне политике и акциони планови који укључују јавни превоз и пјешачке капацитете у региону.
0	1	1
0	1	1
0	1	0
0	1	0
0	0	0

Управљање отпадом и технологије смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште	Енергетска ефикасност	Обновљиви извори енергије и соларна енергија
Планира се инфраструктура за управљање отпадом и технологије смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште.	Планира се низ политика и технолошких инструмената за повећање енергетске ефикасности.	У плану се планирају алтернативне опције коришћења конвенционалних обновљивих извора и соларне енергије.
Планом је предвиђена инфраструктура за управљање отпадом и технологије смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште, као и оне које су битне у њиховом управљању.	Планом су предвиђене политике и технолошки инструменти за повећање енергетске ефикасности.	Планом је предвиђено коришћење алтернативних опција коришћења конвенционалних обновљивих извора и соларне енергије.
2	1	2
1	1	1
1	1	2
1	1	2
1	1	0

Идентификовање одговорности и надлежности одређених сектора и актера (стејкхолдера)	финансије и буџет	Контрола и третман отпадних вода
Планирају се или ће бити разматране одговорности и надлежности одређених сектора и актера.	Планирају се финансијски ресурси и институције, организације и предузећа која су одговорна за планирање, реализацију и имплементацију просторног плана и одговора на климатске промјене.	Планира се инфраструктура за контролу и третман отпадних вода.
Планом су утврђене одговорности и надлежности одређених сектора и актера.	Планом су утврђени финансијски ресурси и институције, организације и предузећа која су одговорна за планирање, реализацију и имплементацију просторног плана и одговора на климатске промјене.	Планом је предвиђена инфраструктура за контролу и третман отпадних вода.
0	0	2
0	0	1
0	0	1
0	0	1
0	0	1

Образовање и јавно информисање о појму климатских промјена	Појам, утицаји и одговорности о климатским промјенама биће разјашњени заинтересованој јавности у просторном плану.	Успостављена је комуникација заинтересоване јавности на ширем нивоу информисања (радионице, веб странице, анкете...).	0	0	0	0	0
--	--	---	---	---	---	---	---

У Просторном плану Републике Србије и у Стратегији просторног развоја Републике Хрватске приказано је тренутно стање расположивих ресурса који су осјетљиви на климатске промјене – пољопривредно земљиште, шумско земљиште, подручја приобаља већих ријека која су у ризику од плавлена, а у Хрватској и мора, гдје постоји ризик због повећања нивоа Свјетског мора.

У оквиру ове компоненте, препозната је и синергија са другим плановима адаптације на климатске промјене која се планира у будућности у Просторном плану Републике Србије. Остала три просторна плана (Републике Српске, Црне Горе и Сјеверне Македоније) немају задовољен ниједан критеријум из ове категорије.

О нивоу свијести о проблему климатских промјена у плановима указује вредновање критеријума „Свјесност“ (*Awareness*). Резултати анализе наведене компоненте указују да је релативно добро заступљена у Плановима Републике Србије и Стратегији просторног развоја Републике Хрватске, гдје је дефинисан проблем климатских промјена и глобалног загријавања, њихов утицај на различита поднебља (изостало је једино приказивање путем вриједносних скала које су дефинисане у самом критеријуму). Стратешки циљеви са одређеним приоритетима адаптације, али без детаљнијих објашњења, као и начина за њихову имплементацију, наводе се у Просторном плану Републике Српске, Србије, Црне Горе, док се у Стратегији просторног развоја Хрватске наводи и јаснија визија и приоритети спровођења појединих активности. У Просторном плану Сјеверне Македоније концепт климатских промјена и глобалног загријавања изостаје, као и у Просторном плану Црне Горе, гдје се овај концепт више подводи под појам „метеоролошки хазарди“.

Компонента „Акција“ (*Action*) гледајући по вриједностима највише је заступљена у свим анализираним плановима. Међу најзаступљенијим активностима које су дефинисане планским рјешењима налазе се оне које су у индиректној вези са климатским промјенама, али као такве значајне су са аспекта адаптације на климатске промјене. Задовољени су критеријуми који се односе на смјернице просторног развоја кроз: ревитализацију и поновну употребу *brownfield* локација, обновљиве изворе енергије и соларне енергије, енергетску ефикасност, управљање отпадом и технологије смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште, контролу и третман отпадних вода, развој мултимодалних саобраћајних система. Са друге стране, смјернице које су у директној вези са климатским промјенама (на примјер, идентификовање одговорности и надлежности одређених сектора и стејкхолдера, планирање финансијских ресурса и институција за реализацију и имплементацију просторног плана и одговора на климатске промјене), изостају у свим анализираним плановима.

6.6. Закључак

У раду су анализирани стратешки и законодавни документи које су Република Србија, Црна Гора, Република Српска, Сјеверна Македонија и Хрватска усвојиле у претходном периоду ради утврђивања у којој мјери су заступљени проблематика и принципи климатских промјена, као и начин реаговања на њихове утицаје и стварања могућности за њихову адаптацију. Утврђено је да се земље региона налазе на сличном путу у борби против климатских промјена, на првом мјесту кроз усвајање низа стратегија из ове или области које ће бити погођене могућим утицајима климатских промјена. Законодавни оквир у области климатских промјена успостављен је у Хрватској, Црној Гори, а однедавно и у Србији. Интеграција климатске политике у све релевантне секторске политике главни је предуслов за њену реализацију и постизање утврђених циљева. Због тога је од изузетне важности што су све државе интегрисале проблематику климатских промјена у мјере и циљеве у стратегијама које су из области енергетике, пољопривреде, заштите природе и управљања водама, с обзиром на то да су ови сектори у великом ризику од посљедица промјена климе у будућности. Област шумарства (Србија, Хрватска и Сјеверна Македонија) и одрживог развоја (Хрватска, Република Српска и Сјеверна Македонија) у наредном периоду требало би да анализирају и кроз утицај климатских промјена и у односу на предвиђену рањивост сектора дефинишу потребне мјере и смјернице. Утицај климатских промјена на здравље становништва једино је анализиран у стратегији Сјеверне Македоније, што би требало бити позитиван примјер који и остале државе треба да прате.

Просторни планови још нису у потпуности интегрисали питање климатских промјена. Анализа планова указује на релативно добро (у Просторном плану Републике Србије и Стратегији просторног развоја Републике Хрватске) до недовољно (у Просторном плану Републике Српске, Црне Горе и Сјеверне Македоније) заступљену проблематику климатских промјена.

Као велики изазов савременог друштва, климатске промјене представљају изазов и за просторно планирање. Неопходно је да државе иду у корак са овим феноменом, што захтијева промјену методологије планирања. Како би се достигло успјешно суочавање са недовољно предвидивим ризицима од климатских промјена, потребно је преобликовати систем планирања по принципима одрживог развоја, територијалне кохезије и прилагођавања климатским промјенама као једног од развојних принципа Европске уније.

У појединим анализираним плановима већ су начињени први кораци ка успјешнијој борби против климатских промјена самим тим што је питање климатских промјена далеко више анализирано него у раније усвојеним плановима (на примјер, Просторни план Републике Србије 2010–2020. године). Нова методологија планирања треба да усмјери више пажње издвајању простора и система рањивих на климатске промјене, како би се, у односу на њих, дефинисала посебна рјешења и омогућила њихова реализација у односу на промјене климе у будућности.

Литература

- Avdić S, Cupać R, Tais M, Jakšić B, Muharemović A, Husika A, Rajčević B, Stojanović B, Crnogorac Č, Bajić D, Stefanović Đ, Vojinović Đ, Stojisavljević D, Arnautović A, Aksić D, Hadžić E, Kupusović E, Popović G, Tica G, Čustović H, Močević K, Voloder M, Karabegović M, Mataruga M, Kotur M, Rudan N, Ilić P, Dekić R, Gnjato R, Radić R, Hodžić S, Đug S, Popović S, Jelisić S, Đurđević V, Majstorović Ž, Jagodić Z (2013) Drugi nacionalni izvještaj Bosne i Hercegovine u skladu sa okvirnom konvencijom Ujedinjenih nacija. Ministarstvo spoljne trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine, Federalno ministarstvo okoliša i turizma, Ministarstva za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske, UNDP, GEF, Sarajevo, Banja Luka, str 196
- Bazik D, Dželebdžić O (2011) Prilagođavanje klimatskim promjenama – nova uloga prostornog planiranja (primer Podunavlja). U: Đokić V, Lazović Z (urednici) Prilagođavanje na klimatske promene putem prostornog planiranja, str 66–84. Univerzitet u Beogradu – Arhitektonski fakultet
- Biesbroek GR, Swart RJ, Carter TR, Cowan C, Henrichs T, Morecroft MD, Rey D (2010) Europe Adapts to Climate Change: Comparing National Adaptation Strategies

- in Europe. Partnership for European Environmental Research (PEER), Helsinki, pp 280
- Djurdjevic V, Trbic G, Krzic A, Bozanic D (2019) Projected Changes in Multi-Day Extreme Precipitation over the Western Balkan Region. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risk and Building Resilience to Climate Change*, pp 15–28. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_2
- Duškov L (2016) Planning of Spatial Development of Tourism in the City of Valjevo. *Menadžment u hotelijerstvu i turizmu* 4(2):91–102
- Duškov Lj, Filipović D, Đurđević V (2020) Assessment of Climate Change Risks to Natural Resources in the Republic of Serbia. *Fresenius Environmental Bulletin* 29(4A):2758–2765
- Živković M, Dejanović T, Mandić M (2019) Cross-Boundary Cooperation Between Bosnia and Herzegovina and Their Neighboring Countries Focusing on an Efficient Hail Protection as an Active Response to Global Climate Changes. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risk and Building Resilience to Climate Change*, pp 321–333. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_22
- Moser SC, Luers AL (2008) Managing Climate Risks in California: The Need to Engage Resource Managers for Successful Adaptation to Change. *Climatic Change* 87:309–322. doi.10.1007/s10584-007-9384-7
- Protić B, Šećerov V, Lukić B, Jeftić M (2019) Towards Resilient Cities in Serbia. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risk and Building Resilience to Climate Change*, pp 1–14. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_1
- Todić D (2014) *Komparativna politika i pravo klimatskih promena: Bosna i Hercegovina, Crna Gora, Hrvatska i Srbija (osnovni elementi)*. Strani pravni život 58(1):181–194
- Thabang M (2014) *Spatial Planning for Climate Change Adaptation: Developing a Climate Change Local Area Adaptation Plan for Khayelitsha*. Doctoral dissertation, University of Cape Town, School of Architecture, Planning and Geometrics, Cape Town
- Филиповић Д (2015) Однос стратешке процјене утицаја и сегмента заштите животне средине у планским документима. У: Јањић В (уредник) *Просторно планирање и животна средина Републике Српске*, стр 173–185. Академија наука и умјетности Републике Српске – Одјељење природно-математичких и техничких наука
- Филиповић Д, Самарџић И, Луковић Ј (2016) Анализа и оцена сагледавања климатских промена у стратешким планским документима. *Ecologica* 81:35–40
- Filipović D, Trbić G, Šećerov V, Samardžić I (2016) The Role of Spatial Planning in Serbia on Adaptation to Climate Change. XXIV International Conference

- Ecological Truth – Eco-Ist'16, June 12 – 15, 2016, Vrnjačka Banja, University of Belgrade – Technical Faculty in Bor, Proceedings, pp 675–681
- Filipović D, Duškov Lj (2019) An Analysis of Problems Related to Climate Change in Serbian Planning Documents. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risk and Building Resilience to Climate Change, pp 61–78. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_5
- Filipović D, Duškov Lj (2020) Analiza planskog i strateškog pristupa Republike Srbije i Crne Gore u smanjenju posledica klimatskih promena. Osmi naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja – prostorne integracije, 27. novembar, 2020, Beograd, Asocijacija prostornih planera Srbije, Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, Zbornik radova, str 105–112
- Filipović D, Duškov Lj, Protić B (2021) Nacionalne strategije iz oblasti klimatskih promena – ka jačanju kapaciteta i međudržavne saradnje u regionu. Jedanaesti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine, 28 – 30. oktobar, 2021, Vršac, Asocijacija prostornih planera Srbije, Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, Zbornik radova, str 89–96
- Füssel HM (2007) Adaptation Planning for Climate Change: Concepts, Assessment Approaches, and Key Lessons. Sustainability Science 2:265–275

Стратешки и плански документи

- Закон о климатским променама Републике Србије (Службени гласник Републике Србије, бр. 26/2021)
- Закон о климатским променама и заштити озонског слоја Републике Хрватске (Народне новине 127/19)
- Закон о заштити од негативних утицаја климатских промена (Службени лист Црне Горе, бр. 73/2019)
- Комunikaciona strategija i akciski plan za klimatski promeni (2013) Министарство за животна средина и просторно планирање, Скопје
- Национална стратегија у области климатских промена до 2030. (2015) Министарство одрживог развоја и туризма, Подгорица
- Nacionalna strategija za transpoziciju, implementaciju i primjenu pravne tekovine EU u oblasti životne sredine i klimatskih promjena za period 2016–2020 (2016) Министарство одрживог развоја и туризма, Подгорица
- Национална стратегија за земјоделството и руралниот развој за периодот 2014–2020. (2014) Министарство за земјоделство, шумарство и водостопанство, Скопје
- Nacionalna šumarska strategija (2014) Министарство пољопривреде и руралног развоја Црне Горе, Подгорица

- Nacrt strategije poljoprivrede Republike Hrvatske 2020–2030. godine (2020)
Program ruralnog razvoja, Operativni program za pomorstvo i ribarstvo,
Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske, Zagreb
- Predlog Zakona o zaštiti od negativnih uticaja klimatskih promjena Republike Crne
Gore (Službeni list Crne Gore, br. 73/2019)
- Procjena tehnoloških potreba za ublažavanje klimatskih promjena i prilagođavanje za
Crnu Goru (2012) Ministarstvo održivog razvoja i turizma, Podgorica
- Prostorni plan Crne Gore do 2040. godine – koncept plana (2020) Ministarstvo
održivog razvoja i turizma, Podgorica
- Просторен план на Република Македонија – Стратегија за просторен развој
(2002) Министерството за животна средина и просторно планирање, Скопје
- Просторни план Републике Србије од 2021. до 2035. године – Нацрт (2021)
Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, Београд
- Strategija komunikacije za oblast klimatskih promena (2017) Misija OEBS-a u Srbiji,
Beograd
- Strategija niskougljeničnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom
na 2050. godinu (2021) Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb
- Стратегија нискоугљеничног развоја Републике Србије (2017) Министерството
заштите животне средине, Београд
- Strategija poljoprivrede i ruralnog razvoja Republike Srbije za period 2014–2020.
(Službeni glasnik Republike Srbije, 85/2014)
- Strategija prilagodbe na klimatske promjene za razdoblje do 2040. godine sa
pogledom na 2070. godinu (2020) Vlada Republike Hrvatske, Zagreb
- Strategija prilagođavanja na klimatske promjene i niskoemisionog razvoja za Bosnu i
Hercegovinu (2013) Vijeće ministara Bosne i Hercegovine, Sarajevo
- Strategija prometnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje od 2014. do 2030.
godine (2014) Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture, Zagreb
- Strategija prostornog razvoja Republike Hrvatske (Narodne novine 106/2017)
- Стратегија за адаптација на здравствениот сектор кон климатските промјени во
Република Македонија са акционен план (2017) Министерството за
здравство, World Health Organization, Скопје
- Стратегија за животна средина и климатски промјени 2014–2020. (2015)
Министерството за животна средина и просторно планирање, Скопје
- Стратегија заштите природе Републике Српске (2011) Влада Републике Српске,
Бања Лука
- Стратешки план развоја пољопривреде и руралних подручја Републике Српске
(2018) Влада Републике Српске, Бања Лука

Strategic and Planning Documents as Response to Adaptation to Climate Change

Dejan Filipović, Ljubica Duškov

Summary

Although the impact of climate change cannot be certainty predicted, research shows that extreme weather events, such as droughts or heavy rainfall and floods, have become significantly more frequent in recent decades. Therefore, climate change is increasingly a risk and can significantly affect human health, ecosystems, the local and global economy, as well as social, political and cultural patterns. In response to the mentioned challenges that climate change brings, activities related to adaptation appear in the world. One of the first steps is the adoption of national strategic and planning documents that will establish guidelines and a roadmap to a climate-resilient society.

In the first part of the paper, we dealt with determining the current strategic and legislative direction of the development of the system of adaptation to climate change of the Republic of Serbia and the surrounding countries – Republic of Srpska, Montenegro, North Macedonia and Croatia. Mutual similarities and differences in the strategic and legislative frameworks of the mentioned countries were determined, while in the second part of the paper, the AAA model was used to examine the prevalence of climate change in the adopted national planning documents. The results of the paper indicate a relatively good (in the Spatial Plan of the Republic of Serbia and the Spatial Development Strategy of the Republic of Croatia) to insufficiently (in the Spatial Plan of the Republic of Srpska, Montenegro and North Macedonia) represented problems of climate change in the analyzed planning documents. The least represented category is Analysis, which is, among other things, the result of an underdeveloped system of monitoring and projection of future greenhouse gas emissions, as well as assessing the sensitivity of certain systems (traffic, sanitary, water) to climate change. The Action component is the most represented in all analyzed plans. The reason is that the planning documents defined development guidelines that are indirectly related to climate change (revitalization and reuse of brownfield sites, renewable sources and solar energy, energy efficiency, management, control and treatment of wastewater, development of multimodal transport systems) but as such, an integral part of climate change adaptation policies, and therefore significant.

Keywords: Climate change, adaptation, strategies, spatial plans, Republic of Serbia, Montenegro, Republic of Srpska, Croatia, North Macedonia



Савремене климатске промјене у Црној Гори

Драган Бурић, Владан Дуцић, Јелена Луковић

Сажетак: Живимо у ери климатских промјена (савремене климатске промјене) које су, по мишљењу многих, убрзаније и интензивније од оних из претходних епоха. С тим у вези, овај рад имао је за циљ да испита промјене температуре и падавина на простору Црне Горе у инструменталном периоду, односно у претходних 70 година (у периоду 1951–2020. године). Релативна хомогеност временских серија температуре и падавина са 10 метеоролошких станица и допуна занемарљивог процента недостајућих података урађена је коришћењем метода MASH, односно MISH. Резултати истраживања показали су да годишње суме падавина не показују значајне промјене у посматраном седамдесетогодишњем периоду. Од три климатска индекса (број сушних, влажних и врло влажних дана), једини падавински индекс који указује на извјесну аридизацију Црне Горе јесте број сушних дана, јер резултати прорачуна показали су да је током посматраног периода број сушних дана повећан по линији тренда у свим посматраним мјестима. Са друге стране, сви разматрани параметри температуре (средња вриједност, број љетних, тропских, мразних и ледених дана, те тропских ноћи) недвосмислено указују на тренд загријавања Црне Горе. У прилог поменутог је и чињеница да су, на годишњем нивоу, код падавина

Цитирање: Бурић Д, Дуцић В, Луковић Ј (2023) Савремене климатске промјене у Црној Гори. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:369–400

Cite as: Burić D, Ducić V, Luković J (2023) Contemporary Climate Change in Montenegro. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:369–400

нове климатске нормале (1991–2020) готово истих вриједности као и претходне нормале (1961–1990). Међутим, анализа свих температурних параметара указује да су нове климатске нормале „топлије“ у односу на претходне.

Да ли се промијенила клима Црне Горе? Најједноставније речено, клима Црне Горе постала је топлија, али не и ариднија или влажнија.

Кључне ријечи: Температура, падавине, тренд, климатски периоди, Црна Гора

7.1. Увод

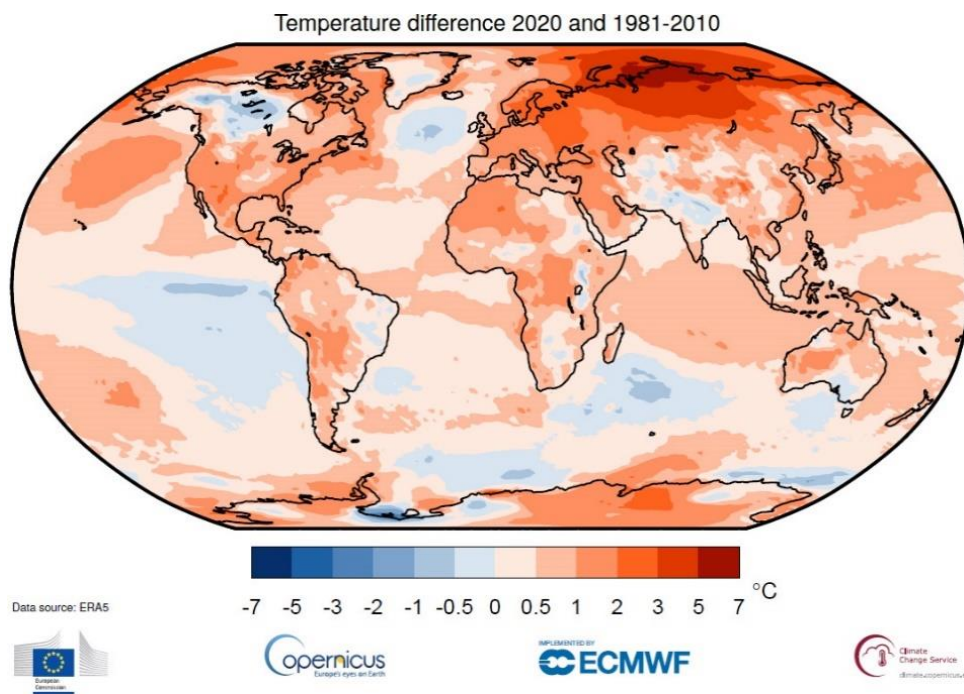
До појаве COVID-19 пандемије (крај 2019. године – почетак 2020. године), савремене климатске промјене и глобално загријавање биле су најактуелније теме у свијету, како у научној јавности тако и код јавног мњења. Бројни су радови у којима се истиче да од средине XX вијека на простору Европе, али и на другим континентима, генерално у свијету, температура расте и да је, у вези с тим, повећана честина и интензитет екстремних временских и климатских догађаја (IPCC 2014; Croitoru et al. 2016; Lukić et al. 2016; Ahmed et al. 2017; Santos et al. 2017; Caloiero 2017; Garreaud 2018; Pattison and Lane 2018; Blöschl et al. 2019). Сателитски подаци указују да у периоду 1979–2014. године постоји тренд пораста сезонских и годишњих температура изнад Аустралије, како у доњој, тако и у средњој тропосфери (Burić et al. 2015a), а на поменутом континенту 2019. била је најтоплија и најсушнија година у инструменталном периоду, те су као посљедица тога регистровани катастрофални пожари (AGBM 2020).

У Извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) истиче се да је људски утицај на климу јасан, као и то да глобални антропогени утицај постоји од средине XX вијека, а да се манифестује преко повећаних концентрација гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери, у првом реду CO₂ (IPCC 2014).

Дакле, чињеница је да се планета загријава, али постоје регионалне разлике у погледу пораста температуре. Регионалне промјене у режиму и количини падавина још су изразитије – поједине регије и државе постају аридније, а неке хумидније, док има и оних подручја у којима се смјењују сушни и екстремно кишни периоди са поплавама. Када су климатске промјене у питању, за подручје Европе су најактуелније информације Европске уније, које се у посљедње вријеме често користе и на глобалном нивоу, генерално. Наиме, званичне информације Европске уније базирају се на подацима Сервиса за

климатске промјене Коперникус (Copernicus Climate Change Service, C3S) (веб-сајт <https://climate.copernicus.eu/about-us>), који функционише у оквиру Европског центра за средњорочну прогнозу времена из Рединга (European Center for Medium-Range Weather Forecasting, ECMWF) (<https://www.ecmwf.int/>).

Најновији подаци које је објавила служба C3S показују да је на глобалном нивоу 2020. година била у рангу са 2016. годином, која је оцијењена као најтоплија икад забиљежена од 1851. године. Година 2020. била је екстремно топла над Арктиком и сјеверним Сибиrom – позитивна одступања и до 6 °C у односу на просјечну температуру за период 1981–2010. године (Сл. 7.1).



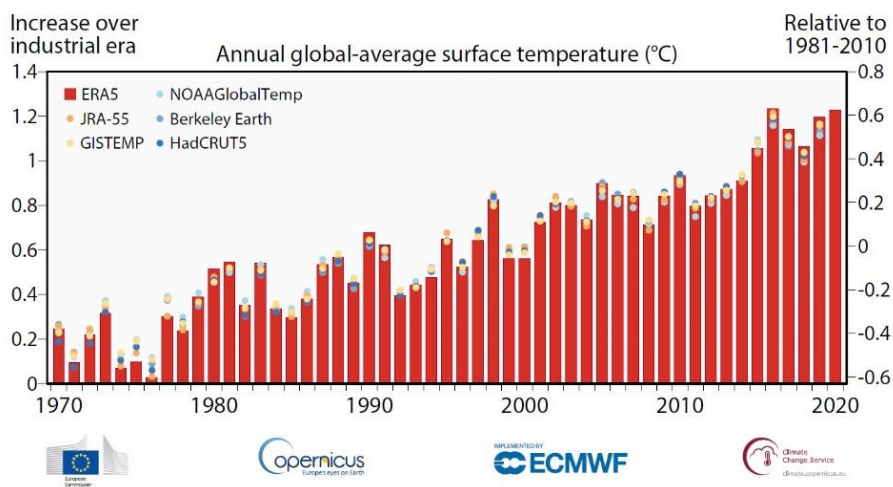
Сл. 7.1. Одступања температуре ваздуха на висини од два метра у 2020. години у односу на просјек периода 1981–2010. године. Извор података: ERA5. Заслуга: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Fig. 7.1. Anomalies of surface air temperature in 2020, shown relative to the 1981–2010 reference period. Data source: ERA5. Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Нарочито су високе температуре регистроване у западном Сибиру током зиме и прољећа, а на сибирском Арктику и над већим дијелом Сјеверног леденог океана током љета и јесени. Иако доминирају позитивна одступања, треба истаћи да је било подручја у којима је 2020. година била хладнија од

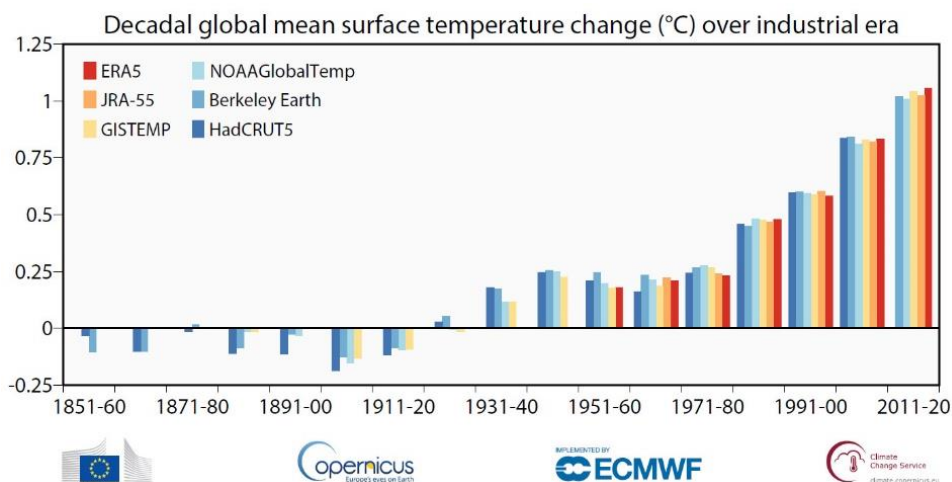
просјека: запад Канаде, дијелови Аљаске, Гренланда, Антарктика, Индије, сјевер Атлантика, источни дијелови тропског Пацифика итд.

С3S скуп података за глобалну површинску температуру ваздуха показује да је 2020. година била за 0,6 °C топлија од референтног периода 1981–2010. године, односно да је позитивно одступање износило приближно 1,25 °C изнад преиндустријског периода 1850–1900. године. У саопштењу С3S истиче се да су све године у претходном шестогодишњем периоду (2015–2020) биле изузетно топле, односно најтоплије у инструменталном периоду (Сл. 7.2). То је допринијело да је посљедња деценија (2011–2020) најтоплија деценија у инструменталном периоду (Сл. 7.3), а то потврђују сви скупови података глобалне температуре.



Сл. 7.2. Одступања годишњих просјека глобалне температуре ваздуха на висини од два метра у периоду 1970–2020. године у односу на преиндустријски период (лијева ордината) и у односу на период 1981–2010. године (десна ордината), према различитим скуповима података: црвено: ERA5 (ECMWF, С3S); тачке: GISTEMPv4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Center), NOAA GlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA) и Berkeley Earth; Заслуге: С3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Fig. 7.2. Annual averages of the estimated global surface temperature increase above the 1850–1900 reference level (left-hand axis) and relative to 1981–2010 (right-hand axis) according to different datasets: Red bars: ERA5 (C3S); Coloured dots: GISTEMPv4 (NASA); HadCRUT5 (Met Office Hadley Centre); NOAA GlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA); and Berkeley Earth; Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)



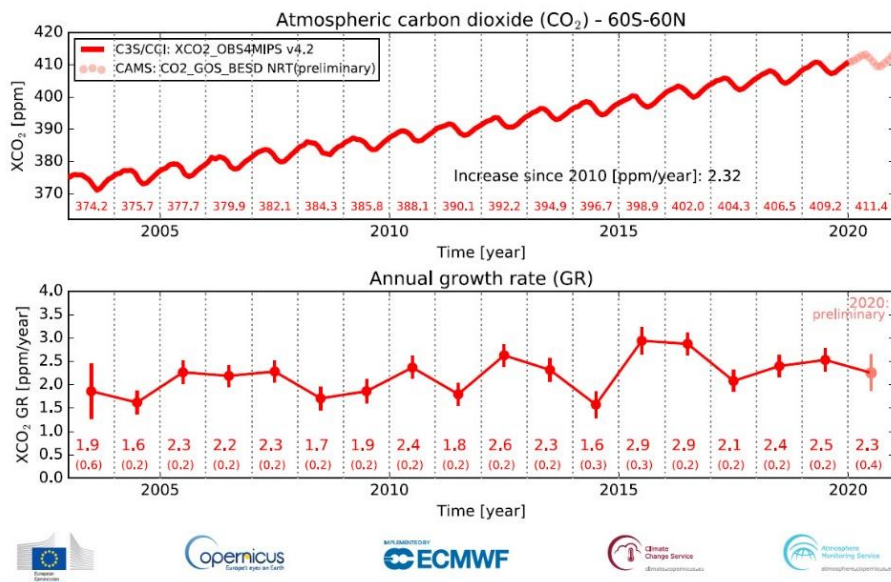
Сл. 7.3. Одступања декадних просјека глобалне температуре ваздуха на висини од два метра у односу на преиндустријски период према различитим скуповима података: ERA5 (ECMWF, C3S), GISTEMPV4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Center), NOAAGlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA) и Berkeley Earth; Заслуга: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Fig. 7.3. Deviations of decadal averages of global air temperature at a height of two meters compared to the pre-industrial period according to different data sets: ERA5 (ECMWF Copernicus C3S), GISTEMPV4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Center), NOAAGlobalTempv5 (NOAA) JRA-55 (JMA) and Berkeley Earth; Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 2021a)

Генерално, већи дио сјеверне хемисфере су током 2020. године карактерисале натпросјечне температуре, а како је већ поменуто, највећа позитивна одступања температуре регистрована су унутар Арктичког круга – над Арктиком и над сјеверним Сибором. То је за посљедицу имало необично активну сезону пожара у овом региону. Штавише, унутар поларног круга пожари су први пут регистровани у мају мјесецу, а било их је током цијелог љета и све до јесени. Подаци указују да су пожари у Арктичком кругу током 2020. године ослободили 244 мегатона CO_2 , што је за 1/3 више од рекорда из 2019. године. Даље се истиче да су у јулу и октобру регистроване најниже површине Арктичког морског леда за те мјесеце.

Заједно са Службом за праћење атмосфере Коперникус (Copernicus Atmosphere Monitoring Service, CAMS), C3S извјештава да су концентрације CO_2 у атмосфери у 2020. години наставиле расти по стопи од $2,2 \pm 0,4$ ppm годишње, односно нешто мање од раста у претходној години ($2,5 \pm 0,2$ ppm годишње). Ипак,

сателитски подаци глобалних атмосферских концентрација CO₂ показују да је просјечни максимум од 413 ppm регистрован током маја 2020. године (Сл. 7.4). Треба поменути да и CAMS, као и C3S, спроводи ECMWF у име Европске уније (тачније Европске комисије).



Сл. 7.4. Мјесечне глобалне концентрације CO₂ са сателита (горња слика) и годишње средње стопе раста (доња слика) за период 2003–2020. Горња слика: црвени бројеви означавају годишње просјекe XCO₂. Доња слика: средње годишње стопе раста XCO₂ изведене из података приказаних на горњој табли; бројеви одговарају стопи раста у ppm по години, укључујући процјену несигурности у загадама. Извор података: C3S/Obs4MIPs(v4.2) консолидовани (2003–2019) и CAMS прелиминарни подаци из готово реалног времена (2020). Заслуге: C3S/CAMS/ECMWF/Универзитет у Бремену/ SRON (ECMWF 2021a)

Fig. 7.4. Monthly global CO₂ concentrations from satellites (top panel) and annual mean growth rates (bottom panel) for 2003–2020. Top: The numbers in red indicate annual XCO₂ averages. Bottom: Annual mean XCO₂ growth rates derived from data shown in the top panel. The numbers correspond to the growth rate in ppm/year, including an uncertainty estimate in brackets. Data source: C3S/Obs4MIPs(v4.2) consolidated (2003–2019) and CAMS preliminary near real-time data (2020) records. Credit: C3S/CAMS/ECMWF/University of Bremen/SRON (ECMWF 2021a)

У контексту пандемије COVID-19, односно принудног ограничења или смањења многих економских активности, процјене указују да је током 2020. године дошло до привременог смањења дневних глобалних фосилних емисија CO₂ за око 7% (Le Quéré et al. 2020). Треба истаћи да је рекордно топла 2016. година била у вези и са изразитом топлим фазом ЕНСО феномена (Ел Нињо догађај). Међутим, током већег дијела 2020. године била је развијена Ла Ниња, односно негативна фаза ЕНСО феномена, а ипак се та година сврстава у ред глобално најтоплијих година у инструменталном периоду.

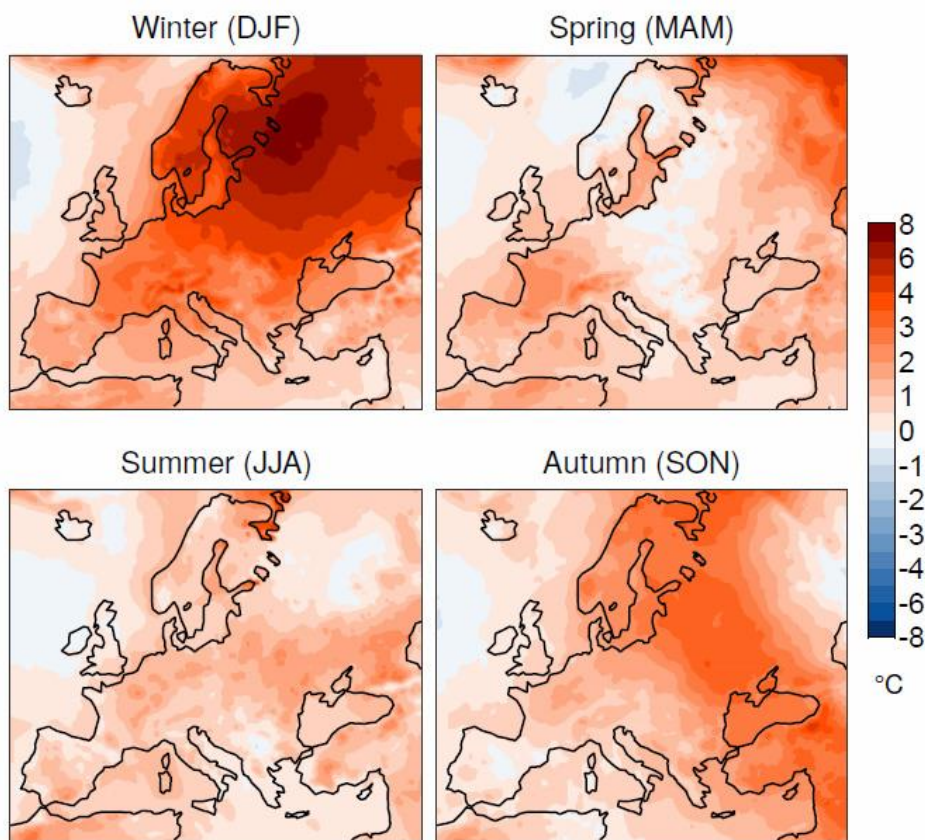
Када је Европа у питању, 2020. година је најтоплија година у инструменталном периоду (од 1851. године), са одступањем температуре од 1,6 °C у односу на просјек референтног периода 1981–2010. године, што је 0,4 °C изнад претходне најтоплије, 2019. године. На изразито загријавање Европе упућује чињеница да је 5 најтоплијих година регистровано у посљедњој деценији (2011–2020).

Када се посматра Европа у цјелини, сва годишња доба била су топлија од просјека за период 1981–2010. године, нарочито сезоне зима и јесен (Сл. 7.5). Зима 2020. године (децембар 2019. – фебруар 2020. године) била је топлија од просјека за 3,4 °C, односно премашила је претходну најтоплију, 2016. годину за готово 1,4 °C. И јесен 2020. године (септембар–новембар) била је најтоплија у инструменталном периоду – топлија за близу 2 °C у односу на просјек периода 1981–2010. године и за 0,4 °C топлија у односу на стари рекорд – јесен 2006. године. Западну Европу је крајем јула и почетком августа 2020. године захватио јак топлотни талас.

СЗС истиче да у периоду 1950–2020. године постоји изразит тренд пораста температуре на простору Европе, како на годишњем, тако и на сезонском нивоу (Сл. 7.6). Али, временски посматрано, трендови су неуједначени, јер је од 1950-их до 1980-их присутна тенденција захлађења, а након тога региструје се загријавање Европе (ECMWF 2021б).

Промјене температуре ваздуха и падавина, као и чешћи и интензивнији временски екстрими, региструју се и на подручју Медитерана. Примјера ради, већи дио Шпаније у периоду 1961–2006. године забиљежио је тренд пораста максималних и минималних температура (Del Rio et al. 2012). Подручје Пиринеја постаје сушније и топлије, а пројекције указују да ће се такав тренд наставити и у будућности (Lemus-Canovas and Lopez-Bustins 2021). Према Kostoroulou et al. (2017), Грчка биљежи негативну тенденцију падавина. Не само у Грчкој већ и на цијелом Медитерану дошло је до повећања учесталости суша и смањења падавина у другој половини XX вијека (Hoerling et al. 2012). Тренд промјена температуре ваздуха (раст) и падавина дешава се у Словенији (Milošević et al. 2016, 2017).

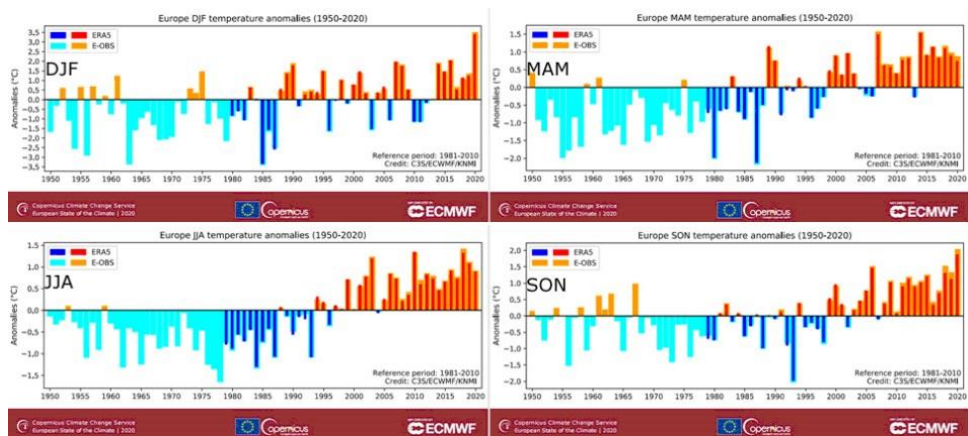
2020 seasonal mean temperature anomaly - ERA5



Reference period: 1981-2010, Credit: C3S/ECMWF

Сл. 7.5. Аномалије површинске температуре ваздуха за зиму, прољеће, љето и јесен 2020. године у односу на одговарајући сезонски просјек за референтни период 1981–2010. године. Извор података: ERA5 за: C3S/ECMWF (ECMWF 20216)

Fig. 7.5. Surface air temperature anomalies for winter, spring, summer and autumn 2020, relative to the respective seasonal averages for the 1981–2010 reference period; Data source: ERA5. Credit: C3S/ECMWF (ECMWF 20216)



Сл. 7.6. Сезонске аномалије површинске просјечне температуре у Европи за период 1950–2020. године у односу на референтне вриједности у периоду 1981–2010. године. Извор података: ERA5 и E-OBS. Заслуге: C3S/ECMWF/KNMI (ECMWF 2021б)

Fig. 7.6. Seasonal anomalies of surface average temperature in Europe for the period 1950–2020 in relation to the reference values 1981–2010. Data source: ERA5, E-OBS. Credit: C3S/ECMWF/KNMI (ECMWF 2021б)

Иначе, истраживања показују да је Медитеран (укључујући и Балканско полуострво) једна од климатски најосјетљивијих регија у свијету. Пројекције за XXI вијек указују да ће Медитеран постати топлији и сушнији (Giorgi 2006; Norrant and Douguédroit 2006; Lopez-Bustins et al. 2013; IPCC 2014; Adloff et al. 2015; Lelieveld et al. 2016; Bucchignani et al. 2018; Hochman et al. 2018; Mostafa et al. 2019). Савременим климатским промјенама погођена је и Карпатска регија (Szabó et al. 2019).

Истраживања показују да Западни Балкан постаје топлији и са чешћим екстремним временским догађајима, као што су екстремне температуре, топлотни таласи, суше, екстремне падавине, али да су промјене годишњих сума падавина безначајне (Stagge et al. 2017). На подручју Србије, током друге половине XX и почетком XXI вијека забиљежен је негативан тренд падавина и чешће суше (Тошић and Unkašević 2014; Arsenović et al. 2015). О трендовима климатских индекса у Србији писано је у радовима: Vajat et al. (2013, 2015), Luković et al. (2014, 2015), Stanojević et al. (2014), Malinović-Miličević et al. (2016), Pecelj et al. (2020). Детаљнију анализу промјене падавина за простор Србије и Црне Горе дали су Kutiel et al. (2015). У раду Mihajlović et al. (2016) дат је исцрпан опис једне екстремне временске ситуације (водена пијавица у Сплиту). Тренд загријавања присутан је и у Босни и Херцеговини (Трбић и сар. 2009; Trbić et al. 2017; Popov et al. 2017, 2018а, 2018б, 2018в, 2019; Trbic et al.

2018). Генерално, Западни Балкан је регија која се и у будућности (према климатским пројекцијама) може суочити са значајним порастом температуре и екстремним временским појавама (Giorgi 2006; Kržič et al. 2011; Lung and Hilden 2017).

Савремене климатске промјене и екстремне временске појаве нису заобишле ни Црну Гору. Током претходних 20 година регистровани су рекорди температуре, падавина и вјетра на простору Црне Горе (Burić et al. 2011, 2015а, 2015б; Ducić et al. 2012; Бурић 2014; Миђајловић et al. 2021). Потенцијалне узроке екстрема температуре и падавина у Црној Гори проучавали су Doderovic and Buric (2015), Burić et al. (2018, 2019), Burić and Stanojević (2020) доводе у везу промјене количине облачности у Црној Гори са варијацијама атмосферских и океанских телеконекција. Климатске пројекције за југ (Подгорица) и сјевер (Колашин) Црне Горе указују да до краја XXI вијека треба рачунати на даљи тренд пораста температуре и чешће временске екстреме (Burić and Doderović 2020, 2021; Doderović et al. 2020). Што се тиче количине падавина, пројекције климатских модела за Црну Гору се разликују, али не указују на значајне промјене. Резултати до којих су дошли Burić and Doderović (2021) потврђују тезу да је моделовање падавина далеко сложеније у односу на температуру и да треба очекивати значајне регионалне разлике (Nkiaka et al. 2018; Trambly and Somot 2018; Seager et al. 2019).

У сваком случају, IPCC (2014) истиче да се регија Медитерана, укључујући подручје југоисточне Европе и Блиског истока, сматра потенцијалним жариштем на пројектоване климатске промјене. То се потврђује чињеницом да је регија Медитерана од средине XX вијека једна од најрањивијих у свијету на климатске промјене, односно да је већ постала топлија, ариднија и са чешћим екстремним временским појавама (високе температуре, суше, јаке краткотрајне кише, поплаве итд.) у односу на просјечно глобално стање. Висока осјетљивост региона Медитерана на климатске промјене, али и уочена просторна и временска варијабилност атмосферских и хидролошких услова у овој регији, највјероватније је у вези са његовим положајем (површ барометарског дисконтинуитета) и топографијом обода његовог басена. Из тог разлога, од значаја је истраживање мањих просторних цјелина – подрегија и појединих локација Медитерана.

Није згорег подсјетити да је Свјетска метеоролошка организација установила континуирана осматрања од по тридесет година као стандардне климатске периоде, почев од 1901. године (1901–1930, 1931–1960, 1961–1990...). Климатолози и националне метеоролошке службе су посљедњих деценија анализирали одступања температуре, падавина и других климатских елемената у односу на климатску нормалу углавном посљедњег климатског

периода, а то је период 1961–1990. године. Са завршетком 2020. године, Свјетска метеоролошка организација препоручује да се користе нове климатске нормале, тј. из периода 1991–2020. године (WMO 2017). То значи да ће се почев од јануара 2021. године климатске анализе (одступања) радити у односу на нови референтни период (1991–2020). Узимајући у обзир двије поменуте чињенице (значај истраживања мањих просторних цјелина региона Медитерана и уважавајући препоруку Свјетске метеоролошке организације у вези коришћења новог референтног климатског периода 1991–2020. године), овај рад има за циљ да на простору Црне Горе испита тренд температуре и падавина у периоду 1951–2020. године и да упореди нове (1991–2020) и претходне (1961–1990) климатске нормале, односно квантитативно утврди величине промјена два најважнија климатска елемента.

7.2. Подручје истраживања

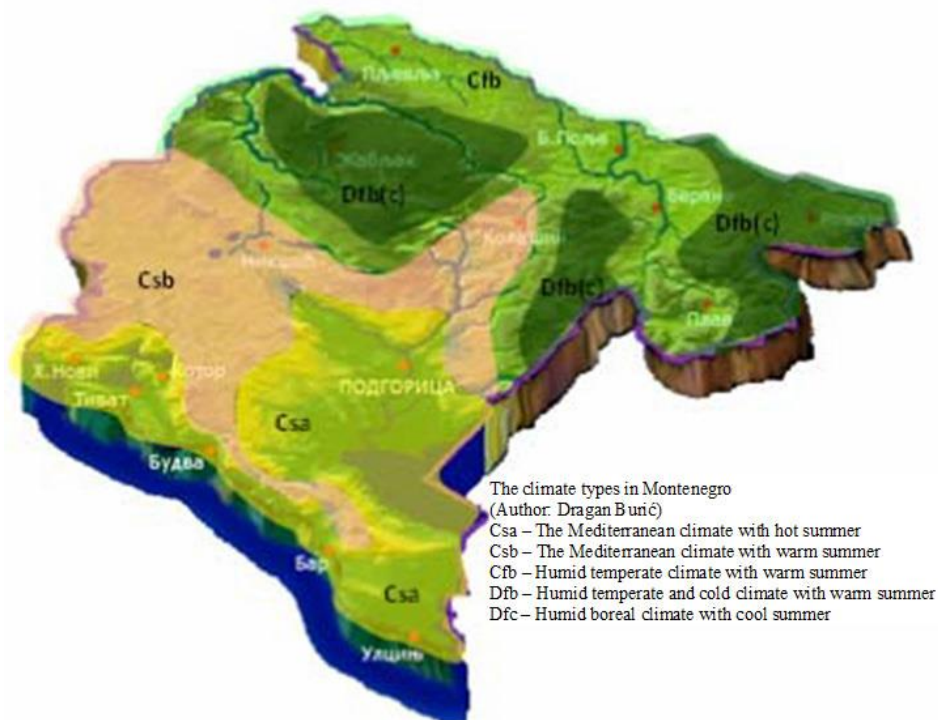
Подручје истраживања је Црна Гора, држава која захвата површину од 13.812 км² и има око 620.000 становника. Три су примарна фактора која утичу на климу Црне Горе: математичко-географски положај, близина мора и рељефне карактеристике (Burić et al. 2013). На основу климатског периода 1961–1990. године, а користећи критеријуме Кепенове класификације (*Köppen criteria*), Burić et al. (2014) у Црној Гори издвајају два климата (C и D), три типа (Cs, Cf и Df) и пет подтипова климе (Csa, Csb, Cfb, Dfb и Dfc) (Сл. 7.7).

7.3. База података и методологија

За потребе студије коришћени су подаци са 10 метеоролошких станица у Црној Гори, водећи рачуна о равномјерној расподјели (приморска, централна и сјеверна регија): Улцињ, Херцег Нови, Подгорица, Цетиње, Никшић, Колашин, Жабљак, Пљевља, Бијело Поље и Рожаје (Сл. 7.8). Разматран је период 1951–2020. године, односно обухваћен је готово читав период континуираних инструменталних мјерења температуре и падавина у Црној Гори. Једино су низови краћи од 70 година за двије станице, јер су касније почеле са радом: Жабљак 63 године (1958–2020) и Рожаје 51 година (1970–2020). Сви скупови података били су подвргнути испитивању релативне хомогености помоћу MASH v3.02 и MISH v1.02 метода (Szentimrey 1999, 2004, 2007). Важно је нагласити да су временске серије биле углавном цјеловите – само у неколико случајева недостајали су подаци од 0,01% до 3% од укупног броја података.

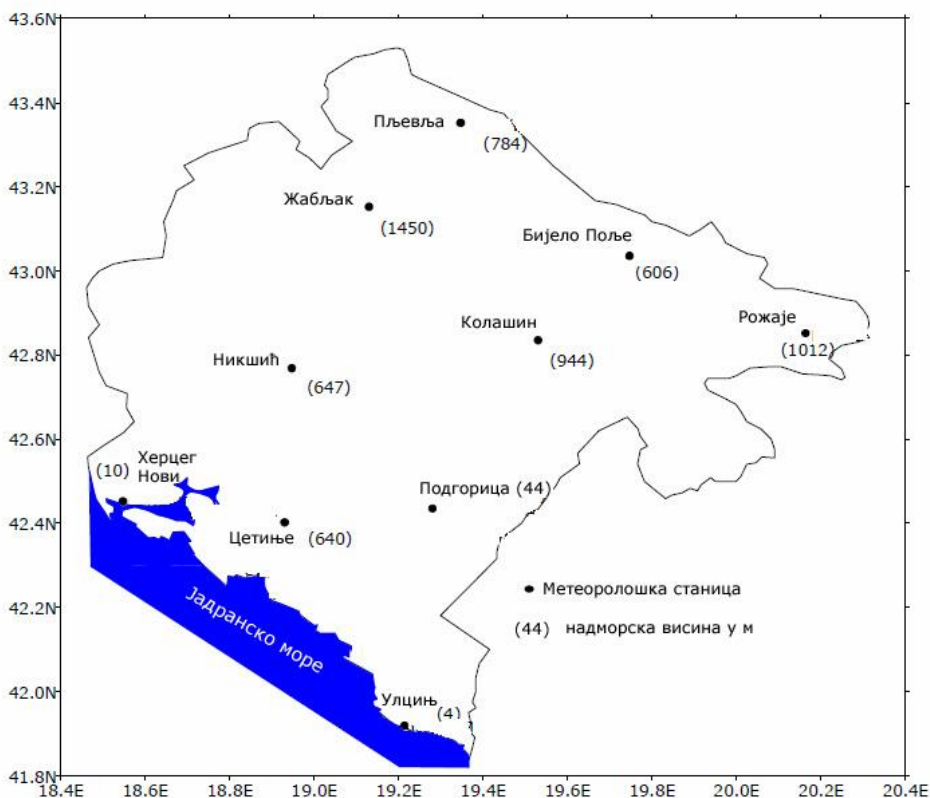
У раду су коришћене уобичајене математичке и статистичке методе: тренд, стандардизована одступања, перцентили, клизни средњаџи итд. Тренд је израчунат Сеновом методом (*Sen's slope*), а његова значајност испитана је Ман-Кендаловим тестом (*Mann-Kendall test*). Значајност тренда испитана је на нивоу ризика од: $p < 0,001$, $p < 0,01$, $p < 0,05$ и $p < 0,1$ (степен исправности хипотезе од 99,9%, 99%, 95% и 90%).

Подаци за температуру ваздуха и падавине добијени су од државног Завода за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе.



Сл. 7.7. Општа климатска рејонизација Црне Горе по критеријумима В. Кепена на основу стандардног климатског периода 1961–1990. године: Cs/s''/ – средоземна клима / прелазна варијанта етезијске климе;/ Cf – умјерено топла и влажна клима; Df – умјерено хладна и влажна клима (Burić et al. 2014)

Fig. 7.7. General climatic regionalization of Montenegro according to the criteria of W. Köppen based on the standard climatic period 1961–1990: Cs/s''/ – Mediterranean climate / transitional variant of ethesian climate;/ Cf – moderately warm and humid climate; Df – moderately cold and humid climate (Burić et al. 2014)



Сл. 7.8. Локације метеоролошких станица чији су подаци коришћени у анализи

Fig. 7.8. Locations of meteorological stations whose data were used for the analysis

7.4. Резултати

7.4.1. Количина падавина

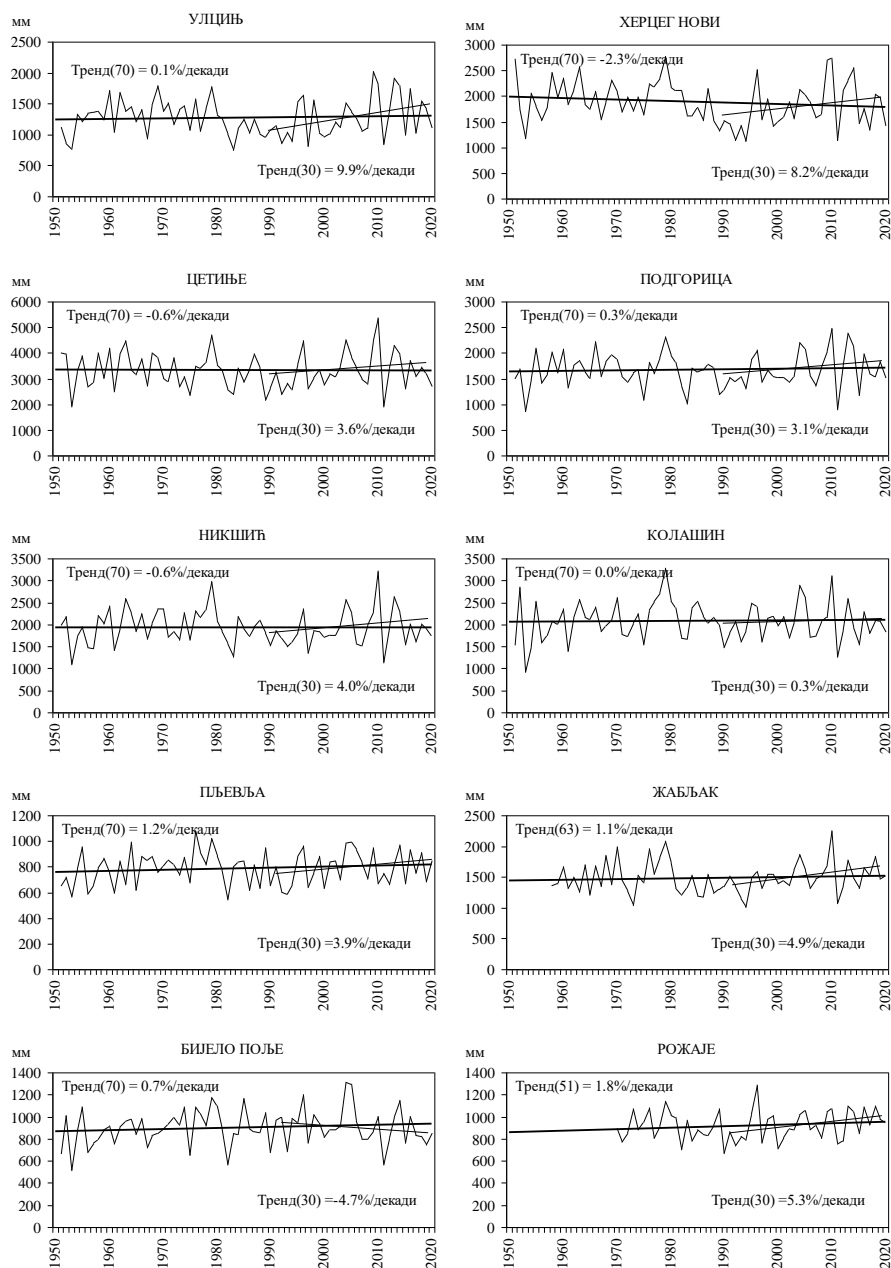
Током разматраног седамдесетогодишњег периода (1951–2020), тренд годишњих сума падавина је безначајан на свим станицама, а износи од -41,8 мм по декади (Херцег Нови) до 16,7 мм по декади (Рожаје). Изражено у процентима (ради упоредивости, тренд падавина је исправније изражавати у % него у мм), промјене количине падавина крећу се у интервалу од -2,3% по декади у Херцег Новом до 1,8% у Рожајама. Осим у Херцег Новом, тренд је

негативан и у Никшићу и на Цетињу, док је на осталих 7 разматраних станица тенденција позитивна. Код знака тренда уочава се извјесна регионализација, а то је да југозападни и западни дио Црне Горе региструје смањење падавина (Херцег Нови, Цетиње и Никшић), а остали већи дио државе благо повећање. У сваком случају, промјене годишњих количина падавина у периоду 1951–2020. године не указују на аридизацију Црне Горе, а требало би је очекивати у условима доминације антропогеног ефекта стаклене баште.

Интересантно је видјети шта се дешава са годишњим падавинама у претходном тридесетогодишњем периоду (1991–2020), када по мишљењу многих постоји доминација утицаја антропогеног ефекта стаклене баште, генерално. Међутим, прорачуни тренда су показали да једино станица Бијело Поље региструје негативан тренд (-4,7% по декади), док је на свим осталим станицама дошло до повећања годишњих падавина у периоду 1991–2020. године, а највише у Улцињу, 9,9% по декади (Сл. 7.9). Дакле, о очекиваној аридизацији Црне Горе, посматрано на годишњем нивоу, нема ни говора.

Да би се детаљније утврдиле промјене падавина у Црној Гори, урађени су прорачуни за поједине дневне екстремне вриједности, односно за број дана са падавинама < 1 мм (сушни дани) и ≥ 20 мм (врло кишни дани). По дефиницији, кишни (падавински) дан је дан са количином падавина од минимално 0,1 мм, али то је занемарљива количина, те се у пракси најчешће узима број дана са количином < 1 мм као један од показатеља потенцијалне аридизације датог подручја. Са друге стране, дани са количином падавина ≥ 20 мм добар су показатељ промјена екстремних временских догађаја у супротном смјеру (у конкретном случају врло кишни дани). Резултати прорачуна су показали да је током посматраног периода број сушних дана ($R_d < 1$ мм) повећан по линији тренда у свим посматраним мјестима. У већини случајева дошло је до значајног повећања броја сушних дана (тренд износи 2,0–2,9 дана по декади).

И у овом случају уочава се одређена регионализација повећања броја сушних дана – безначајан тренд на крајњем сјеверу и сјевероистоку (Пљевља, Бијело Поље и Рожаје) и значајан у осталом већем дијелу државе (Таб. 7.1). Међутим, годишњи број влажних ($R_d \geq 10$ мм) и врло влажних дана ($R_d \geq 20$ мм) не показује значајне промјене. Изузетак су једино Цетиње и Рожаје, гдје се број дана са $R_d \geq 10$ мм смањио (-2,1 дан по декади), односно $R_d \geq 20$ мм повећао (0,7 дана по декади), а у оба мјеста те промјене су значајне на нивоу исправности хипотезе од 95% (степен ризика $p < 0,05$).



Сл. 7.9. Тренд годишњих сума падавина у Црној Гори у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Fig. 7.9. Trend of annual precipitation in Montenegro in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

Таб. 7.1. Вриједност и значајност тренда броја сушних ($R_d < 1$ мм), влажних ($R_d \geq 10$ мм) и екстремно влажних дана ($R_d \geq 20$ мм) у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Table 7.1. Value and significance of the trend of the number of dry ($R_d < 1$ mm), wet ($R_d \geq 10$ mm) and extremely wet days ($R_d \geq 20$ mm) in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

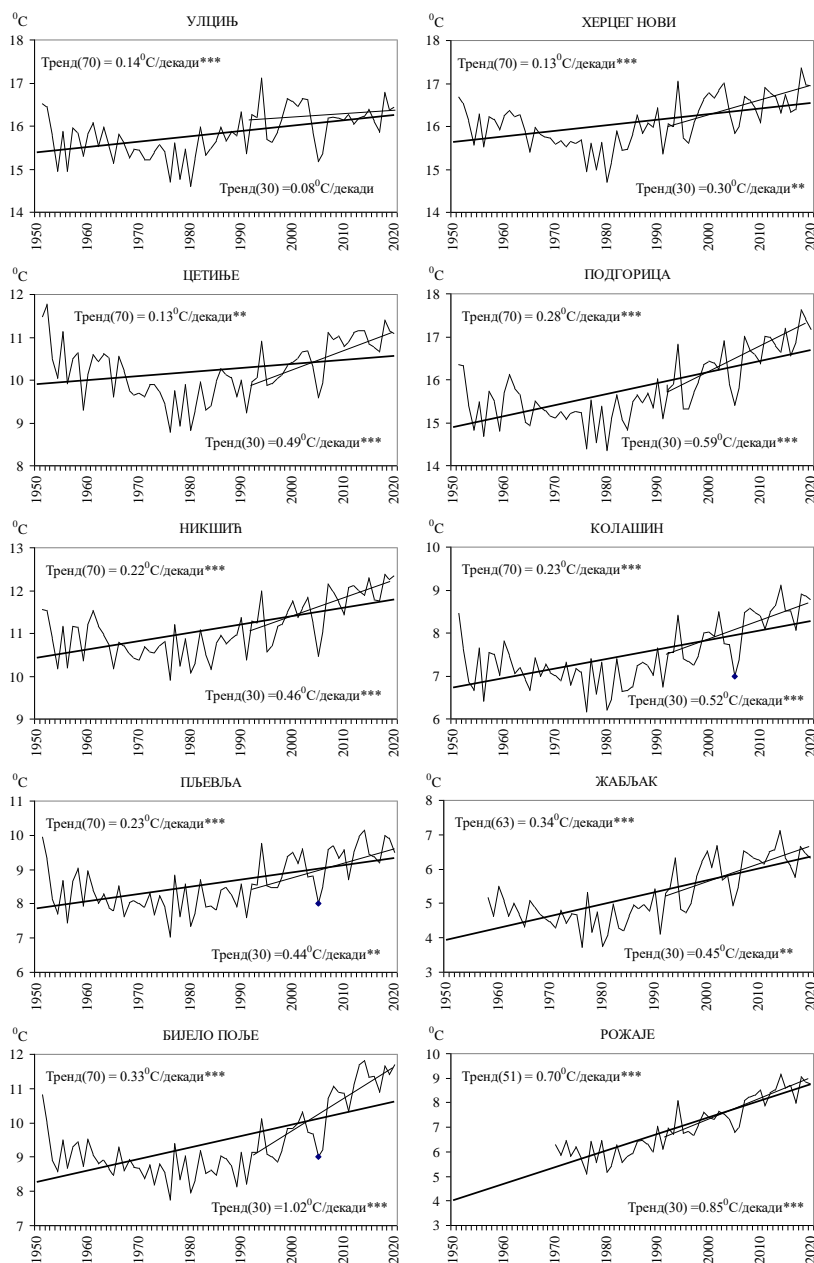
Метеор. станица	Сушни дани	Влажни дани	Врло влажни дани
	Тренд (дана по декади)	Тренд (дана по декади)	Тренд (дана по декади)
Улцињ	2,0**	0,3	0,4
Херцег Нови	2,9**	-0,9	-0,7
Цетиње	2,1 ⁺	-2,1*	-0,8
Подгорица	2,3*	-0,5	0,0
Никшић	2,5*	-1,0	-0,4
Колашин	2,5*	-1,0	-0,4
Пљевља	0,6	0,5	0,1
Жабљак	2,4*	-0,1	0,4
Бијело Поље	0,7	-0,1	0,2
Рожаје	1,1	0,1	0,7*

Напомена: Ризик значајности хипотезе: ⁺ $p < 0,1$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ и *** $p < 0,001$

7.4.2. Температура ваздуха

Тренд средње годишње температуре указује да је на простору Црне Горе присутно значајно загријавање, које се креће у интервалу од 0,13 °C по декади у Херцег Новом и на Цетињу до чак 0,70 °C по декади у Рожајама. Треба истаћи да су временске серије дужине 70 година (1951–2020), осим у Рожајама (51 година) и на Жабљаку (63 године), те вриједност тренда на двије поменуте станице треба у том контексту и посматрати.

У посљедњем тридесетогодишњем периоду (1991–2020), добијени резултати указују на интензивније загријавање у односу на цијели посматрани период. Током претходних 30 година, најинтензивнији тренд пораста средње годишње температуре региструју мјеста на сјевероистоку Црне Горе: Бијело Поље 1,02 °C по декади и Рожаје 0,85 °C по декади (Сл. 7.10). Изузетак је једино станица Улцињ, која показује бржи раст температуре у цијелом седамдесетогодишњем периоду (0,14 °C по декади) у односу на посљедњих тридесет година (0,08 °C по декади).



Сл. 7.10. Тренд средње годишње температуре у Црној Гори у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Fig. 7.10. Trend of average annual temperature in Montenegro in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

Међутим, важно је напоменути да је, у односу на остале станице, временска серија температуре за Улцињ задовољила услове релативне хомогености (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*, MASH метод) готово на граници прихватања. Низак праг задовољења услова релативне хомогености за Улцињ највјероватније је последица промјене микролокације станице 2005. године, али то захтијева детаљнију провјеру.

Као и за падавине, анализирано је неколико климатских индекса, како би се видјело шта се дешава са екстремним дневним температурама у Црној Гори. У том контексту, издвојени су: љетни (дневна $T_{\max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$), тропски (дневна $T_{\max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$), мразни (дневна $T_{\min} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$) и ледени (дневна $T_{\max} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$) дани, као и тропске ноћи (дневна $T_{\min} > 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Годишњи број љетних дана повећава се по стопи тренда од 2,8 дана по декади на Жабљаку до 9,1 дан по декади у Рожајама (Таб. 7.2). Повећање броја љетних дана значајно је у свим посматраним мјестима, и то углавном на највишем нивоу ($p < 0,001$) прихватања хипотези (99,9% ниво значајности).

Такође, значајно се повећава и број тропских дана – од 2,0 дана по декади у Пљевљима до 5,1 дан по декади у Подгорици и на Цетињу. С обзиром на то да се на Жабљаку тропски дани ријетко региструју, њихов тренд није рачунат. Наиме, током анализираног 63-годишњег периода (1958–2020. године) у 75% случајева Жабљак није забиљежио ниједан тропски дан, односно ови дани су регистровани само током 16 година, и то од 1 до 6 дана годишње. У тих 16 година укупно је забиљежено 38 тропских дана, а од тог броја 29 тропских дана било је у периоду 2000–2020. Дакле, подаци за Жабљак и статистички значајан позитиван тренд на свим осталим метеоролошким станицама, недвосмислено указују на више дневне максималне температуре и тенденцију загријавања Црне Горе.

Тропске ноћи су љети уобичајене у Подгорици и на Црногорском приморју, док у осталим мјестима нису регистроване или је њихов број занемарљив. Примјера ради, тропске ноћи до сада нису забиљежене у Колашину и Рожајама, а у Пљевљима и Бијелом Пољу, као и на Цетињу и Жабљаку, ових ноћи је за 70 година регистровано укупно по 3–4. Тропске ноћи се ријетко јављају и у Никшићу – за 70 година (1951–2020) било је укупно 48 тропских ноћи, а од тог броја њих 35 у периоду 2000–2020. године. У Подгорици и Херцег Новом годишњи број тропских ноћи је значајно повећан по линији тренда (у оба мјеста за 4,6 тропских ноћи по декади).

Таб. 7.2. Тренд (број дана по декади) годишњег броја дана са дневном максималном и минималном температуром изнад или испод фиксних прагова у периоду 1951–2020. године (Жабљак у периоду 1958–2020, а Рожаје 1970–2020. године)

Table 7.2. Trend (number of days per decade) of the annual number of days with daily maximum and minimum temperature above or below fixed thresholds in the period 1951–2020 (Žabljak 1958–2020, Rožaje 1970–2020)

Метеор. станица	Љетни дани	Тропски дани	Тропске ноћи	Мразни дани	Ледени дани
Улцињ	3,5***	5,0***	0,8	-0,1	/
Херцег Нови	3,0***	5,0***	4,6***	-0,2	/
Цетиње	5,1***	5,1***	/	-0,2	-0,5
Подгорица	4,3***	5,1***	4,6***	-0,5	/
Никшић	3,3**	3,6***	/	-0,5	-0,7
Колашин	4,2***	1,1**	/	-2,0*	-0,5
Пљевља	4,3***	2,0**	/	-1,3	-2,6***
Жабљак	2,8***	/	/	-3,4***	-3,2***
Бијело Поље	5,0***	4,3***	/	-3,9***	-2,5***
Рожаје	9,1***	3,9***	/	-13,8***	-1,7 ⁺

Напомена: Ризик значајности хипотезе: ⁺ p < 0,1; * p < 0,05; ** p < 0,01 и *** p < 0,001

Са друге стране, годишњи број мразних и ледених дана показује тенденцију смањења у свим посматраним мјестима (Таб. 7.2), што иде у прилог тренду загријавања Црне Горе. У просјечној години, Подгорица региструје 24 мразна дана, а Улцињ и и Херцег Нови свега 9, односно 4 овакве појаве. Ипак, на приморју се број мразних дана смањује по стопи тренда од 0,1–0,2 дана по декади, а у Подгорици је вриједност негативног тренда 0,5 дана по декади. У планинским мјестима на сјеверу Црне Горе мразни дани се чешће региструју, па је тако њихов просјечан број у Бијелом Пољу око 100, у Рожајама 145, док Жабљак има око 160 мразних дана годишње. У три поменута мјеста присутан је значајан тренд смањења броја мразних дана, а најинтензивнији је у Рожајама (-13,8 мразних дана по декади). Ледени дани су врло ријетка појава на приморју и у Подгорици, па се тада не практикују прорачуни тренда. У осталим мјестима годишњи број ледених дана показује тренд смањења, који је значајан на сјеверу државе, гдје се ови дани најчешће региструју у јануару, док их мање има у децембру и фебруару. Жабљак има највећи број ледених дана – годишњи просјек је 39 дана, и у овом мјесту је и најинтензивније смањење броја ових дана (-3,2 ледена дана по декади).

Повећање броја љетних и тропских дана, као и тропских ноћи, а смањење броја мразних и ледених дана јасно указује да је у Црној Гори присутна тенденција загријавања у претходних 70 година (1951–2020). Дакле, сви разматрани температурни индекси указују на топлију климу. У вези с тим, у наставку се простом диференцијом настоји утврдити квантитативна величина промјена температуре и падавина између два посљедња климатска периода: 1991–2020. и 1961–1990. године.

7.4.3. Диференције климатских нормала температуре и падавина два климатска периода: 1991–2020. и 1961–1990. године

Анализирајући просјечне годишње суме падавина два климатска периода, као просту диференцију, може се закључити да су промјене занемарљиве. Наиме, у Херцег Новом је посљедњи климатски период (1991–2020) био сушнији у просјеку за 141,5 мм на годишњем нивоу у односу на климатску нормалу периода 1961–1990. године. У свим осталим мјестима разлика у падавинама два климатска периода мања је од 100 мм у апсолутном износу (Таб. 7.3).

Таб. 7.3. Разлика између просјечних годишњих вриједности падавина и броја сушних, влажних и врло влажних дана периода 1991–2020. (Р1, СД1, ВД1 и ВВД1) и 1961–1990. (Р2, СД2, ВД2 и ВВД2) године

Table 7.3. The difference between the average annual precipitation and the number of dry, wet and very wet days for the period 1991–2020 (R1, SD1, VD1 and VVD1) and 1961–1990 (R2, SD2, VD2 and VVD2)

Метеор. станица	Р1-Р2	СД1-СД2	ВД1-ВД2	ВВД1-ВВД2
Улцињ	14,4	5,9	1,1	0,0
Херцег Нови	-141,5	6,5	-2,1	-2,0
Цетиње	57,2	2,4	-3,6	0,7
Подгорица	31,6	2,2	0,6	0,5
Никшић	-76,4	6,5	-2,0	0,1
Колашин	-97,0	6,5	-2,0	0,1
Пљевља	-5,3	2,3	-0,2	-0,7
Жабљак	26,7	8,4	0,4	0,6
Бијело Поље	10,5	1,6	-0,9	0,6
Рожаје	25,9	0,8	0,1	1,1

Осим у Херцег Новом, негативну разлику имају и Никшић, Колашин и Пљевља, док је на осталих 6 станица диференција позитивна, што значи да је последњи климатски период (1991–2020) био нешто богатији падавинама него претходни (1961–1990). Када су у питању падавински индекси, такође се не уочавају изражене промјене, нарочито код просјечног годишњег броја влажних и врло влажних дана (ВД и ВВД). Разлика у броју ВД између два тридесетогодишња периода креће се од -3,6 дана (Цетиње) до 1,1 дан (Улцињ). Још је мања разлика броја ВВД – од -2,0 дана (Херцег Нови) до 1,1 дан (Рожаје). Са друге стране, просјечан годишњи број сушних дана (СД) повећан је у свим мјестима у периоду 1991–2020. године у односу на претходни период (1961–1990), а највише на Жабљаку (8,4 дана). Без обзира на то што промјене нису велике, чињеница је да се чешће јављају СД, и ово је једини разматрани параметар падавина који указује на незнатну аридизацију Црне Горе.

Просјечне годишње вриједности температуре и климатских температурних индекса јасно указују да је климатски период 1991–2020. године топлији у односу на период 1961–1990. године (Таб. 7.4).

Таб. 7.4. Разлика између просјечних годишњих вриједности температуре и броја љетних, тропских, мразних и ледених дана, као и тропских ноћи у периоду 1991–2020. (Т1, ЉД1, ТД1, МД1, ЛД1 и ТН1) и 1961–1990. (Т2, ЉД2, ТД2, МД2, ЛД2 и ТН2) године

Table 7.4. The difference between the average annual temperatures and the number of summer, tropical, frost and ice days, and tropical nights, in the period 1991–2020 (T1, LjD1, TD1, MD1, LD1 and TN1) and 1961–1990 (T2, LjD2, TD2, MD2, LD2 and TN2)

Метеор. станица	Т1 - Т2	ЉД1 - ЉД2	ТД1 - ТД2	МД1 - МД2	ЛД1 - ЛД2	ТН1 - ТН2
Улцињ	0,7	14,3	18,5	-0,6	-0,1	12,0
Херцег Нови	0,7	11,5	19,5	-1,7	-0,1	24,2
Цетиње	0,7	22,1	21,0	-7,3	-1,4	0,0
Подгорица	1,1	18,3	24,2	-4,2	-0,4	21,1
Никшић	0,9	16,5	15,6	-1,0	-1,9	1,1
Колашин	1,1	18,8	7,8	-10,2	-0,9	0,0
Пљевља	1,1	21,3	12,7	-8,0	-10,2	0,0
Жабљак	1,3	11,5	0,9	-16,0	-11,7	0,0
Бијело Поље	1,6	22,6	19,8	-12,1	-9,7	0,1
Рожаје	1,8	27,2	11,6	-37,7	-4,2	0,0

Упоређујући климатске нормале два тридесетогодишња периода, просјечна годишња температура је на Жабљаку порасла за 1,3 °С. И остала мјеста на сјеверу Црне Горе региструју виши пораст температуре него јужни дио државе. У односу на претходну климатску нормалу (1961–1990), у Улцињу, Херцег Новом и на Цетињу је нова климатска нормала (1991–2020) за просјечну температуру виша за 0,7 °С.

Просјечан годишњи број љетних дана (ЉД) најбрже се повећава у Рожајама (27,2 дана). Подгорица биљежи највеће повећање броја тропских дана (ТД) (24,2 дана), али код овог, највећег града Црне Горе врло је вјероватан утицај урбаног острва топлоте на температурне индексе.

Да је присутно загријавање, показује и негативна диференција просјечног годишњег броја мразних (МД) и ледених (ЛД) дана (Таб. 7.4). Поменути дани се ријетко јављају у нижим теренима на југу Црне Горе, па је логично њихово веће смањење у сјеверној регији. Примјера ради, за период 1991–2020. године просјечан годишњи број МД мањи је за 37,7 дана у Рожајама, а на Жабљаку за 16,0 дана у односу на климатску нормалу периода 1961–1990. године. На Жабљаку се годишњи број ЛД смањило за 11,7 дана у односу на њихов просјечан број за период 1961–1990. године.

Тропске ноћи (ТН) ријетка су појава на сјеверу државе, али тамо гдје се љети региструју (Подгорица и приморје), уочљиво је њихово чешће јављање. Тако је у Подгорици нова климатска нормала за ТН већа за 21,1 дан, а у Херцег Новом за 24,2 дана (Таб. 7.4).

На годишњем нивоу, претходни резултати су показали да су код падавина нове климатске нормале (1991–2020) готово истих вриједности као и претходне (1961–1990). Међутим, анализа свих температурних параметара указује да су нове климатске нормале „топлије“ у односу на претходне. Ипак, током претходних готово 120 година (1901–2019), резултати истраживања указују да централна Европа и медитерански регион постају сушнији, док сјеверна Европа постаје влажнија (Ionita and Nagavciuc 2021), али се та сушност не уочава на простору Црне Горе.

7.5. Закључак

У овом раду предочени су резултати истраживања промјене температуре и падавина на простору Црне Горе у периоду 1951–2020. године. Коришћени су подаци са 10 метеоролошких станица, равномерно распоређених на територији државе, а анализа је обухватила годишње и дневне вриједности два поменути климатска елемента.

Када су у питању падавине, годишње суме не показују значајне промјене у посматраном седамдесетогодишњем периоду (1951–2020). Промјене количине падавина крећу се у интервалу од -2,3% по декади у Херцег Новом до 1,8% по декади у Рожајама. Код тренда годишњих падавина уочава се извјесна регионализација, а то је да југозападни и западни дио Црне Горе региструје смањење падавина (Херцег Нови, Цетиње и Никшић), а остали већи дио државе благо повећање. Ако се посматра само посљедњи тридесетогодишњи период (1991–2020), прорачуни тренда су показали да једино станица Бијело Поље региструје негативан тренд (-4,7% по декади), док је на свим осталим станицама дошло до повећања годишњих падавина, а највише у Улцињу, 9,9% по декади. У већем дијелу Црне Горе ни годишњи број влажних ($R_d \geq 10$ мм) и врло влажних дана ($R_d \geq 20$ мм) не показује значајне промјене. Изузетак су једино Цетиње и Рожаје, гдје се број дана са $R_d \geq 10$ мм смањио (-2,1 дан по декади), односно $R_d \geq 20$ мм повећао (0,7 дана по декади), а у оба мјеста те промјене су значајне на нивоу исправности хипотезе од 95% (степен ризика $p < 0,05$). Једини падавински индекс који указује на извјесну аридизацију Црне Горе јесте број сушних дана (СД), јер резултати прорачуна су показали да је током посматраног периода број СД ($R_d < 1$ мм) повећан по линији тренда у свим посматраним мјестима. У већем дијелу државе дошло је до значајног повећања броја СД (тренд износи 2,0–2,9 дана по декади).

Што се тиче промјена топлотног стања, тренд средње годишње температуре указује да је на простору Црне Горе присутно значајно загријавање, које се креће у интервалу од 0,13 °C по декади у Херцег Новом и на Цетињу до чак 0,70 °C по декади у Рожајама. За посљедњи тридесетогодишњи период (1991–2020), добијени резултати указују на интензивније загријавање у односу на цијели посматрани период, генерално. Током претходних 30 година најинтензивнији тренд пораста средње годишње температуре региструју мјеста на сјевероистоку Црне Горе: Бијело Поље 1,02 °C по декади и Рожаје 0,85 °C по декади. И сви разматрани температурни индекси указују на топлију климу. Повећање броја љетних и тропских дана, као и тропских ноћи, а смањење броја мразних и ледених дана, јасно указује да је у Црној Гори присутна тенденција загријавања у претходних 70 година (1951–2020).

И на крају, простом диференцијом настојала се утврдити квантитативна величина промјена температуре ваздуха и падавина између два посљедња стандардна климатска периода: 1991–2020. (нова климатска нормала) и 1961–1990. (стара климатска нормала) године. На годишњем нивоу, претходни резултати су показали да су код падавина нове климатске нормале (1991–2020) готово истих вриједности као и претходне. Међутим, анализа свих температурних параметара указује да су нове климатске нормале (1991–2020) „топлије“ у односу на претходне. Примјера ради, у односу на стару

климатску нормалу (1961–1990), просјечна годишња температура за период 1991–2020. виша је у Подгорица за 1,1 °C, а на Жабљаку за 1,3 °C.

Да ли се промијенила клима Црне Горе? Најједноставније речено, клима Црне Горе постала је топлија, али не и ариднија или влажнија, односно са количином падавина и бројем разматраних падавинских дана не дешава се ништа забрињавајуће.

Литература

- Adloff F, Somot S, Sevault F, Jordà G, Aznar R, Déqué M, Herrmann M, Marcos M, Dubois C, Padorno E, Alvarez-Fanjul E, Gomis D (2015) Mediterranean Sea Response to Climate Change in an Ensemble of Twenty First Century Scenarios. *Climate Dynamics* 45(9–10):2775–2802. doi.10.1007/s00382-015-2507-3
- AGBM (Australian Government Bureau of Meteorology) (2020) Annual Climate Statement 2019. Доступно на: <http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/>, Приступљено: 11. мај 2020
- Arsenović P, Tošić I, Unkašević M (2015) Trends in Combined Climate Indices in Serbia from 1961 to 2010. *Meteorology and Atmospheric Physics* 127(4):489–498. doi.10.1007/s00703-015-0380-6
- Ahmed K, Shahid S, Chung E-S, Ismail T, Wang X-J (2017) Spatial Distribution of Secular Trends in Annual and Seasonal Precipitation over Pakistan. *Climate Research* 74(2):95–107. doi.10.3354/cr01489
- Bajat B, Blagojević D, Kilibarda M, Luković J, Tošić I (2015) Spatial Analysis of the Temperature Trends in Serbia During the Period 1961–2010. *Theoretical and Applied Climatology* 121:289–301. doi.10.1007/s00704-014-1243-7
- Bajat B, Pejović M, Luković J, Manojlović P, Ducić V, Mustafić S (2013) Mapping Average Annual Precipitation in Serbia (1961–1990) by Using Regression Kriging. *Theoretical and Applied Climatology* 112:1–13. doi.10.1007/s00704-012-0702-2
- Blöschl G, Hall J, Viglione A, Perdigão RAP, Parajka J, Merz B, Lun D, Arheimer B, Aronica GT, Bilibashi A, Boháč M, Bonacci O, Borga M, Čanjevac I, Castellarin A, Chirico GB, Claps P, Frolova N, Ganora D, Gorbachova L, Gül A, Hannaford J, Harrigan S, Kireeva M, Kiss A, Kjeldsen TR, Kohnová S, Koskela JJ, Ledvinka O, Macdonald N, Mavrova-Guirguinova M, Mediero L, Merz R, Molnar P, Montanari A, Murphy C, Osuch M, Ovcharuk V, Radevski I, Salinas JL, Sauquet E, Šraj M, Szolgay J, Volpi E, Wilson D, Zaimi K, Živković N (2019) Changing Climate Both Increases and Decreases European River Floods. *Nature* 573(7772):108–111. doi.10.1038/s41586-019-1495-6

- Burić D, Ducić V, Luković J (2011) Kolebanje klime u Crnoj Gori u drugoj polovini XX i početkom XXI vijeka. Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, str 270
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J (2013) The Climate of Montenegro: Modifiers and Types – Part Two. Bulletin of the Serbian Geographical Society 93(4):83–102. doi.10.2298/GSGD1304083B
- Бурић Д (2014) Динамика и могући узроци температурних и падавинских екстрема на територији Црне Горе у периоду 1951–2010. Докторска дисертација, Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J (2014) The Climate of Montenegro: Modifiers and Types – Part Two. Bulletin of the Serbian Geographical Society 94(1):73–90. doi.10.2298/GSGD1401073B
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Popović Lj (2015a) Temperature Altitude Amplification as a Footprint of a Possible Anthropogenic Impact on the Climate of Australia. Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA 65(3):297–307. doi.10.2298/IJGI1503297B
- Burić D, Luković J, Bajat B, Kilibarda M, Živković N (2015b) Recent Trends in Daily Rainfall Extremes over Montenegro (1951–2010). Natural Hazards and Earth System Sciences 15(9):2069–2077. doi.10.5194/nhess-15-2069-2015
- Burić DB, Dragojlović JM, Milenković MĐ, Popović LjZ, Doderović MM (2018) Influence of Variability of the East Atlantic Oscillation on the Air Temperature in Montenegro. Thermal Science 22(1 Part B):759–766. doi.10.2298/TSCI170710211B
- Burić D, Dragojlović J, Penjišević-Sočanac I, Luković J, Doderović M (2019) Relationship Between Atmospheric Circulation and Temperature Extremes in Montenegro in the Period 1951–2010. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change, pp 29–42. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_3
- Burić D, Doderović M (2020) Projected Temperature Changes in Kolašin (Montenegro) up to 2100 According to EBU-POM and ALADIN Regional Climate Models. Időjárás 124(4):427–445. doi.10.28974/idojaras.2020.4.1
- Burić D, Stanojević G (2020) Trends and Possible Causes of Cloudiness Variability in Montenegro in the Period 1961–2017. Climate Research 81:187–205. doi.10.3354/cr01615
- Burić D, Doderović M (2021) Changes in Temperature and Precipitation in the Instrumental Period (1951–2018) and Projections up to 2100 in Podgorica (Montenegro). International Journal of Climatology 41(S1):E133–E149. doi.10.1002/joc.6671
- Bucchignani E, Mercogliano P, Panitz HJ, Montesarchio M (2018) Climate Change Projections for the Middle East-North Africa Domain with COSMO-CLM at Different Spatial Resolutions. Advances in Climate Change Research 9(1):66–80. doi.10.1016/j.accre.2018.01.004

- Garreaud RD (2018) Record-Breaking Climate Anomalies Lead to Severe Drought and Environmental Disruption in Western Patagonia in 2016. *Climate Research* 74(3):217–229. doi.10.3354/cr01505
- Giorgi F (2006) Climate Change Hot-Spots. *Geophysical Research Letters* 33(8): L08707. doi.10.1029/2006GL025734
- Del Rio S, Cano-Ortiz A, Herrero L, Penas AP (2012) Recent Trends in Mean Maximum and Minimum Air Temperatures over Spain (1961–2006). *Theoretical and Applied Climatology* 109:605–626. doi.10.1007/s00704-012-0593-2
- Doderovic MM, Buric BD (2015) Atlantic Multi-Decadal Oscillation and Changes of Summer Air Temperature in Montenegro. *Thermal Science* 19(2):405–414. doi.10.2298/TSCI150430115D
- Doderović M, Burić D, Ducić V, Mijanović I (2020) Recent and Future Air Temperature and Precipitation Changes in the Mountainous North of Montenegro. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 70(3):189-201. doi.10.2298/IJGI2003189D
- Ducić V, Luković J, Burić D, Stanojević G, Mustafić S (2012) Precipitation Extremes in the Wettest Mediterranean Region (Krivošije) and Associated Atmospheric Circulation Types. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12(3):687–697. doi.10.5194/nhess-12-687-2012
- ECMWF (2021a) Copernicus: 2020 Warmest Year on Record for Europe; Globally, 2020 Ties With 2016 for Warmest Year Recorded. Доступно на: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-recorded>, Приступљено: 11. фебруар 2022
- ECMWF (2021b) ESOTC 2020, Europe, Temperature. Доступно на: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2020/temperature>, Приступљено: 11. фебруар 2022
- Ionita M, Nagavciuc V (2021) Changes in Drought Features at the European Level over the Last 120 Years. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21(5):1685–1701. doi.10.5194/nhess-21-1685-2021
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp 151
- Kostopoulou E, Giannakopoulos C, Krapsiti D, Karali A (2017) Temporal and Spatial Trends of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece Using Observations and Output from Regional Climate Models. In: Karacostas T, Bais A, Nastos P (eds) *Perspectives on Atmospheric Sciences*, pp 475–481. Springer. doi.10.1007/978-3-319-35095-0_68
- Kržić A, Tošić I, Djurdjević V, Veljović K, Rajković B (2011) Changes in Climate Indices for Serbia According to the SRES-A1B and SRES-A2 Scenarios. *Climate Research* 49(1):73–86. doi.10.3354/cr01008

- Kutiel H, Luković J, Burić D (2015) Spatial and Temporal Variability of Rain-Spells Characteristics in Serbia and Montenegro. *International Journal of Climatology* 35(7):1611–1624. doi.10.1002/joc.4080
- Le Quéré C, Jackson R, Jones M, Smith A, Abernethy S, Andrew R, De-Gol A, Willis D, Shan Y, Canadell J, Friedlingstein P, Creutzig F, Peters G (2020) Temporary Reduction in Daily Global CO₂ Emissions During the COVID-19 Forced Confinement. *Nature Climate Change* 10:647–653. doi.10.1038/s41558-020-0797-x
- Lelieveld J, Proestos Y, Hadjinicolaou P, Tanarhte M, Tyrllis E, Zittis G (2016) Strongly Increasing Heat Extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st Century. *Climatic Change* 137(1–2):245–260. doi.10.1007/s10584-016-1665-6
- Lemus-Canovas M, Lopez-Bustins JA (2021) Assessing Internal Changes in the Future Structure of Dry–Hot Compound Events: The Case of the Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21(6):1721–1738. doi.10.5194/nhess-21-1721-2021
- Lopez-Bustins JA, Pascual D, Pla E, Retana J (2013) Future Variability of Droughts in Three Mediterranean Catchments. *Natural Hazards* 69(3):1405–1421. doi.10.1007/s11069-013-0754-3
- Lukić T, Leščešen I, Sakulski D, Basarin B, Jordaan A (2016) Rainfall Erosivity as an Indicator of Sliding Occurrence Along the Southern Slopes of the Bačka Loess Plateau: A Case Study of the Kula Settlement, Vojvodina (North Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11(2):303–318
- Luković J, Bajat B, Blagojević D, Kilibarda M (2014) Spatial Pattern of Recent Rainfall Trends in Serbia (1961–2009). *Regional Environmental Change* 14(5):1789–1799. doi.10.1007/s10113-013-0459-x
- Luković J, Blagojević D, Kilibarda M, Bajat B (2015) Spatial Pattern of North Atlantic Oscillation Impact on Rainfall in Serbia. *Spatial Statistics* 14:39–52. doi.10.1016/j.spasta.2015.04.007
- Lung T, Hilden M (2017) Multi-Sectoral Vulnerability and Risks, Section 6.2: Multi-Sectoral Impacts and Vulnerabilities Across Europe. In: *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016, An Indicator-Based Report*, EEA Report, No 1/2017, pp 273–281. European Environment Agency
- Malinović-Miličević S, Radovanović MM, Stanojević G, Milovanović B (2016) Recent Changes in Serbian Climate Extreme Indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology* 124:1089–1098. doi.10.1007/s00704-015-1491-1
- Milošević DD, Savić SM, Pantelić M, Stankov U, Žiberna I, Dolinaj D, Leščešen I (2016) Variability of Seasonal and Annual Precipitation in Slovenia and Its Correlation with Large-Scale Atmospheric Circulation. *Open Geosciences* 8(1):593–605. doi.10.1515/geo-2016-0041
- Milošević D, Savić M, Stankov U, Žiberna I, Pantelić M, Dolinaj D, Leščešen I (2017) Maximum Temperatures over Slovenia and Their Relationship with

- Atmospheric Circulation Patterns. *Geografie* 122(1):1–20. doi.10.37040/geografie2017122010001
- Mihajlović J, Ducić V, Burić D (2016) Tornadic Waterspout Event in Split (Croatia) – Analysis of Meteorological Environment. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijic“ SASA* 66(2):185–202. doi.10.2298/IJGI1602185M
- Mihajlović J, Burić D, Ducić V, Milenković M (2021) Synoptic Characteristics of an Extreme Weather Event: The Tornadic Waterspout in Tivat (Montenegro), on June 9, 2018. *Geographia Polonica* 94(1):69–90. doi.10.7163/GPol.0194
- Mostafa AN, Wheida A, El Nazer M, Adel M, El Leithy L, Siour G, Coman A, Borbon A, Magdy AW, Omar M, Saad-Hussein A, Alfaro SC (2019) Past (1950–2017) and future (–2100) Temperature and Precipitation Trends in Egypt. *Weather and Climate Extremes* 26:100225. doi.10.1016/j.wace.2019.100225
- Nkiaka E, Nawaz R, Lovett JC (2018) Assessing the Reliability and Uncertainties of Projected Changes in Precipitation and Temperature in Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 Models over the Lake Chad Basin. *International Journal of Climatology* 38(14):5136–5152. doi.10.1002/joc.5717
- Narrant C, Douguédroit A (2006) Monthly and Daily Precipitation Trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology* 83(1–4): 89–106. doi.10.1007/s00704-005-0163-y
- Pattison I, Lane SN (2018) The Relationship Between Lamb Weather Types and Long-Term Changes in Flood Frequency, River Eden, UK. *International Journal of Climatology* 32(13):1971–1989. doi.10.1002/joc.2415
- Pecelj MM, Lukić ZM, Filipović JD, Protić MB, Bogdanović MU (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2017) Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in Bosnia and Herzegovina. *Zbornik radova–Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu* 65(1):5–24. doi.10.5937/zrgfub1765005P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-Based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijic“ SASA* 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018b) Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia Hercegovina. *Időjárás* 122(4):433–452. doi.10.28974/idojaras.2018.4.5
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018b) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019) Changes in Precipitation over the East Herzegovina Region. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 99(1):29–44. doi.10.2298/GSGD1901029P

- Santos M, Santos JA, Fragoso M (2017) Atmospheric Driving Mechanisms of Flash Floods in Portugal. *International Journal of Climatology* 37(S1):671–680. doi.10.1002/joc.5030
- Seager R, Osborn TJ, Kushnir Y, Simpson IR, Nakamura J, Liu H (2019) Climate Variability and Change of Mediterranean-Type Climates. *Journal of Climate* 32(10):2887–2915. doi.10.1175/JCLI-D-18-0472.1
- Szabó S, Szopos NM, Bertalan-Balázs B, László E, Milošević DD, Conoscenti C, Lázár I (2019) Geospatial Analysis of Drought Tendencies in the Carpathians as Reflected in a 50-Year Time Series. *Hungarian Geographical Bulletin* 68(3):269–282. doi.10.15201/hungeobull.68.3.5
- Szentimrey T (1999) Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data 2nd Session, November 09 – 13, 1998, Budapest, WMO, Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, pp 27–46
- Szentimrey T (2004) Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH); Verification Procedure for Homogenized Time Series. Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases (4th Session), October 06 – 10, 2003, Budapest, WMO, Proceedings of the Fourth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, pp 193–201
- Szentimrey T (2007) Manual of Homogenization Software MASHv3.02. Hungarian Meteorological Service, Budapest, pp 61
- Stagge JH, Kingston DG, Tallaksen LM, Hannah DM (2017) Observed Drought Indices Show Increasing Divergence Across Europe. *Scientific Reports* 7:14045. doi.10.1038/s41598-017-14283-2
- Stanojević G, Stojilković J, Spalević A, Kokotović V (2014) The Impact of Heat Waves on Daily Mortality in Belgrade (Serbia) During Summer. *Environmental Hazards* 13(4):329–342. doi.10.1080/17477891.2014.932268
- Tošić I, Unkašević M (2014) Analysis of Wet and Dry Periods in Serbia. *International Journal of Climatology* 34(5):1357–1368. doi.10.1002/joc.3757
- Tramblay Y, Somot S (2018) Future Evolution of Extreme Precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change* 151(2):289–302. doi.10.1007/s10584-018-2300-5
- Trbić G, Bajić D, Djurdjević V, Ducic V, Cupac R, Markez Đ, Vukmir G, Dekić R, Popov T (2018) Limits to Adaptation on Climate Change in Bosnia and Herzegovina: Insights and Experiences. In: Leal Filho W, Nalau J (eds) *Limits to Climate Change Adaptation*, pp 245–259. Springer. doi.10.1007/978-3-319-64599-5_14
- Трбић Г, Дуцић В, Рудан Н (2009) Регионалне промјене количина падавина у Републици Српској. *Гласник/Herald* 13:71–78. doi.10.7251/HER0913071T
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01

- Hoerling M, Eischeid J, Perlwitz J, Quan X, Zhang T, Pegion P (2012) On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate* 25(6):2146–2161. doi.10.1175/JCLI-D-11-00296.1
- Hochman A, Harpaz T, Saaroni H, Alpert P (2018) Synoptic Classification in 21st Century CMIP5 Predictions over the Eastern Mediterranean with Focus on Cyclones. *International Journal of Climatology* 38(3):1476–1483. doi.10.1002/joc.5260
- Caloiero T (2017) Trend of Monthly and Daily Data Extreme Temperature During 1951–2012 in New Zealand. *Theoretical and Applied Climatology* 129:111–127. doi.10.1007/s00704-016-1764-3
- Croitoru AE, Piticar A, Ciupertea FA, Rosca CF (2016) Changes in Heat Wave Indices in Romania over the Period 1961–2015. *Global and Planetary Change* 146:109–121. doi.10.1016/j.gloplacha.2016.08.016
- WMO (2017) WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203). Geneva, pp 29

Contemporary Climate Change in Montenegro

Dragan Burić, Vladan Ducić, Jelena Luković

Summary

The Mediterranean area, including the Western Balkans, is one of the world's most vulnerable to climate change. Many papers point out that the Mediterranean region has become warmer, more arid and with more frequent extreme weather events (high temperatures, droughts, heavy short-term rains, floods, etc.) since the middle of the 20th century, compared to the average global situation, in general. The results of the projections for the Mediterranean indicate that this trend will continue throughout the 21st century. This is a general picture of events and projections of climate change for the entire Mediterranean area, but in recent times the importance of researching smaller spatial units, subregions and individual locations of the Mediterranean has been emphasized. Second, given that the 1991–2020 climate period has recently ended, the World Meteorological Organization (WMO) has recommended the use of that reference period, that is, new climatic normals in the analysis of climate element deviations.

Taking into account the two mentioned facts (importance of research of smaller spatial units of the Mediterranean region and taking into account the WMO recommendation regarding the use of the new reference climate period 1991–2020), this paper aimed to present the results of temperature and precipitation changes in Montenegro. Data from 10 meteorological stations, evenly distributed over the territory of the country, were used in the period 1951–2020, as part of the Western Balkans and the Mediterranean, and the analysis included annual and daily values of the two mentioned climatic elements.

When it comes to precipitation, the annual sums do not show significant changes in the observed 70-year period (1951–2020). Changes in precipitation range from -2,3% per decade in Herceg Novi to 1,8% per decade in Rožaje. Year-on-year fluctuations are noticeable, which are common for precipitation, but we cannot talk about the aridization of Montenegro, and it should be expected in the conditions of domination of the anthropogenic greenhouse effect. The trend of annual precipitation shows a certain regionalization, namely that the southwestern and western part of Montenegro registers a decrease in precipitation (Herceg Novi, Cetinje and Nikšić), and the rest of most of the country slightly increases. If we look only at the last 30-year period (1991–2020), the trend calculations showed that only the station Bijelo Polje registers a negative trend (-4,7% per decade), while at all other stations there was

an increase in annual precipitation, the positive trend is up to 9,9% per decade (Ulcinj).

In most parts of Montenegro, the annual number of wet ($R_d \geq 10$ mm) and very wet days ($R_d \geq 20$ mm) does not show significant changes. The only exceptions are Cetinje and Rožaje, where the number of days with $R_d \geq 10$ mm decreased (-2,1 days per decade) and $R_d \geq 20$ mm increased (0,7 days per decade), and in both places these changes are significant at the level of hypothesis correctness of 95% (risk level $p < 0,05$). The only precipitation index that indicates the aridization of Montenegro is the number of dry days (SD), because the calculation results showed that during the observed period the number of SD ($R_d < 1$ mm) increased along the trend line in all observed places. In most parts of the country there was a significant increase in the number of SD (trend is in a range of 2,0–2,9 days per decade).

Regarding changes in thermal conditions, the trend of average annual temperature indicates that there is significant warming in Montenegro, ranging from 0,13 °C per decade in Herceg Novi and Cetinje to as much as 0,70 °C per decade in Rožaje. For the last 30-year period (1991–2020), the obtained results indicate a more intense warming in relation to the entire observed period, in general. During the previous 30 years, the most intensive trend of increasing average annual temperature was registered in places in the northeast of Montenegro: Bijelo Polje 1,02 °C per decade and Rožaje 0,85 °C per decade. Temperature indices also indicate an increase in temperature. The increase in the number of summer and tropical days, as well as tropical nights, and the decrease in the number of frost and ice days, clearly indicates that there is a tendency of warming in Montenegro in the previous 70 years (1951–2020). Thus, all considered temperature indices indicate a warmer climate.

Finally, a simple difference was used to determine the quantitative magnitude of temperature and precipitation changes between the last two climate periods: 1991–2020 (new climate normal) and 1961–1990 (old climate normal). On an annual basis, previous results have shown that the new climatic normals (1991–2020) have almost the same values as the previous ones (1961–1990). However, the analysis of all temperature parameters indicates that the new climate normals are „warmer“ compared to the previous ones. For example, in relation to the old climatic norm (1961–1990), the average annual temperature for the period 1991–2020 it is higher in Podgorica by 1,1 °C, and in Žabljak by 1,3 °C. Has the climate of Montenegro changed? Simply put, the climate of Montenegro has become warmer, but not more arid or humid, that is, nothing worrying is happening with the amount of precipitation and the number of considered precipitation days.

Keywords: Temperature, precipitation, trend, climatic periods, Montenegro



Хумана биоклиматологија – биоклиматски индекси UTCI и PET у контексту климатских промјена – Примјер Бања Лука

Милица Пецељ

Сажетак: *Анализа биоклиматских индекса постаје све релевантнија у тумачењу климе у урбаном планирању, туризму, јавном здрављу, спортским догађајима, биопрогнозама итд. У том контексту, ова студија представља опште биоклиматске услове у Бањој Луци, дефинисане на основу индекса UTCI и PET како би се показао образац сваког индекса у умјереној клими и испитале годишње и мјесечне разлике сваког индекса у посљедњих шездесет година. Мјесечни и годишњи биоклиматски индекси анализирани су на основу шездесетогодишњих метеоролошких података тако што су представљене биоклиматске особине два референтна периода 1961–1990. и 1991–2020. и трећег шездесетогодишњег периода 1961–2020. године. Позитиван тренд и повећање вриједности сва три индекса за периоде 1961–2020. и 1991–2020. указују на повећање субјективног топлотног стреса и топлотне нелагоде у Бањој Луци. Резултати студије указују на већи биотермални стрес у љетним мјесецима и већу подударност индекса током љета.*

Кључне ријечи: *Хумана биоклиматологија, спољашњи термички комфор, UTCI, PET, mPET, Бања Лука, БиХ*

Цитирање: Пецељ М (2023) Хумана биоклиматологија – биоклиматски индекси UTCI и PET у контексту климатских промјена – Примјер Бања Лука. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:401–424

Cite as: Pecelj M (2023) Human Bioclimatology – Bioclimatic Indices UTCI and PET in the Context of Climate Change – Example of Banja Luka. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:401–424

8.1. Увод

Актуелне климатске промјене манифестују се у интензивном порасту температуре ваздуха и површинске температуре копна и океана (IPCC 2013). Процењује се да је посљедњих година (2006–2015) глобална средња вриједност површинске температуре била виша за 0,87 °C од средње вриједности из периода 1850–1900. године (IPCC 2019). Према NOAA National Centers for Environmental Information (2020), у периоду 1880–2019. године на глобалном нивоу, девет од десет најтоплијих година догодило се након 2000. године, а најтоплија година била је 2016. Према Van der Schrier et al. (2013), загријавање у Европи у периоду 1980–2010. године напредовало је знатно брже од глобалног копна у просјеку 0,41 °C по деценији и 0,27 °C по деценији, респективно, што показује да се загријавање не догађа равномјерно. Уочено загријавање резултира све чешћом појавом топлотних екстрема, на примјер топлотних таласа. Према Hansen et al. (2012), распон вриједности температуре ваздуха класификован као врућ екстрем у периоду 1951–1980. године покривао је мање од 1% Земљине површине, а у периоду 2006–2011. године повећао се на ниво већи од 10%. Током посљедњих пар деценија у Европи се догодило неколико врло јаких топлотних таласа. Matzarakis et al. (2020) евидентирали су да се у посљедњих 70 година, 13 највећих топлотних таласа (од укупно 23) догодило у посљедњих 12 година, док се 7 од преосталих 10 топлотних таласа забиљежило током 50 година прије 2000. године. Russo et al. (2015) топлотне таласе из 1994, 2003, 2006, 2010. и 2015. године дефинисали су као најинтензивније топлотне таласе у Европи након 1950. године. Међутим, за простор Балканског полуострва треба истаћи и топлотне таласе који су се догодили током 2007, 2012. и 2015. године (Unkašević and Tošić 2015; Basarin et al. 2020; Pecelj et al. 2020, 2021) и јасно уочен пораст максималне температуре ваздуха у Босни и Херцеговини (БиХ) у посљедњих 55 година (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b).

Топлотни таласи су једна од највећих пријетњи људском здрављу у вези са климом, али често не изазивају исту пажњу као друге видљивије катастрофе као што су олујне непогоде или поплаве. Топлотни таласи, као опасност, често имају негативан ефекат, изазивајући топлотни стрес у људском тијелу. Већина студија о процјени топлотних таласа темељи се првенствено на једном метеоролошком параметру, најчешће максималној температури ваздуха, међутим, људски организам борави у природном окружењу на које утиче не само температура ваздуха већ цио комплекс датог окружења, а то подразумемијева више метеоролошких параметара заједно. Јаснију интерпретацију о утицају климатских екстрема на човјека дају нам хумана биометеоролошка и биоклиматска истраживања, јер поред температуре ваздуха узимају у обзир

и друге метеоролошке параметре као што су релативна влажност ваздуха, брзина вјетра и зрачење. Од свих наведених параметара, дуготаласно и краткоталасно зрачење, сажето као средња температура зрачења (*Mean Radiant Temperature, MRT*), има највећи утицај на субјективни топлотни осјећај (Middel et al. 2016) и често се не представља као извор података у истраживањима. На субјективну перцепцију времена нарочито у урбаним срединама утичу и карактеристике изграђеног окружења као што су отворено небо, хладовина, саобраћај, зелене површине итд. Поред наведених метеоролошких параметара важну улогу имају и физиолошки параметар метаболичке стопе и изолација од одјеће. Међусобна интеракција компоненти времена у атмосфери које се динамички мијењају и физиолошки процеси у човјеку суштински су важни за однос човјека и околине. Будући да се већина људских активности одвија напољу и да је људско тијело у сталној интеракцији са спољашњом околином, његове физичке (тјелесне) активности, рекреација и неке врсте одмора налазе се под физиолошким околностима размјене топлоте са околином.

Према Fanger (1970), температура ваздуха, температура зрачења, влажност ваздуха и кретање ваздуха четири су основне промјенљиве у непосредном окружењу човјека које утичу на одговор тијела на спољашње окружење у којем се налази. У комбинацији са метаболичком енергијом генерисаном физичком активношћу и одјећом коју носи особа, они чине шест основних параметара који дефинишу човјеков топлотни баланс са околином. На темељу Фангерове фундаменталне поставке једначине размјене топлоте са околином, у посљедњих двадесетак година појавило се неколико биоклиматских модела који дефинишу термофизиолошке биоклиматске индексе или сложене биоклиматске индексе помоћу којих се одређује термички комфор. Неки од тих индекса су између осталог: физиолошка еквивалентна температура – PET (*Physiologically Equivalent Temperature, PET*) (Mayer and Höppe 1987; Matzarakis et al. 1999; Höppe 1999), која се често примјењује посљедњих двадесетак година, затим физиолошко оптерећење – PhS (*Physiological Stress, PhS*) и физиолошка субјективна температура – PST (*Physiological Subjective Temperature, PST*) из Менекс модела (*Menex Model*) (Błazejczyk 1994; Błazejczyk and Matzarakis 2007; Błazejczyk et al. 2012), универзални термални климатски индекс – UTCI (*Universal Thermal Climate Index, UTCI*) (Błazejczyk et al. 2013) и други (De Freitas and Grigorieva 2015, 2017; Staiger et al. 2019). Један од најчешће коришћених биоклиматских топлотних индекса у посљедњих десет година је UTCI индекс, који има широку просторну примјену у различитим географским регијама, различитим климатским зонама и у различитим урбаним подручјима.

Улога хумане биоклиматологије у интердисциплинарним истраживањима континуирано расте током посљедњих двадесет година. Током протекле

деценије појавио се велики број публикација у којима се интерпретира клима за потребе човјека на основу сложених биометеоролошких индекса (*Heat Buget Indices*) у различитим научним дисциплинама као што су просторно и урбанистичко планирање, туризам, јавно здравље, животна средина урбаних подручја, спорт и рекреација и др.

Због напредујућег глобалног загријавања оправдано је анализирати биоклиматске услове и спољашњи термички комфор за референтне тридесетогодишње периоде у урбаним срединама за које се претпоставља да су веома рањиве на пораст глобалне температуре. У овом раду је представљена општа анализа биоклиматских услова у Бањој Луци на основу UTCI и PET индекса за вишегодишња мјерна осматрања у периоду 1961–2020. године. Подаци су добијени од Федералног хидрометеоролошког завода и Хидрометеоролошког завода Републике Српске. Метеоролошки подаци који су коришћени у раду су: средња дневна температура ваздуха (t , °C), минимална и максимална температура ваздуха (t_{\min} и t_{\max} , °C), средња дневна релативна влажност ваздуха (f , %), средња дневна брзина вјетра (v , m s^{-1}), средња дневна облачност (N). Наведени подаци пружају основу за израчунавање UTCI индекса, који се темељи на топлотној размјени између човјека и околине. Основни задатак истраживања је да се представе биоклиматске особине два референтна тридесетогодишња периода 1961–1990. и 1991–2020. године, као и укупног шездесетогодишњег периода 1961–2020. године. Циљ овога рада је да се укаже на важност интерпретације екстремних временских догађаја и климе за потребе човјека у различитим друштвеним секторима.

8.2. Преглед досадашњих истраживања

Радам Павла Вујевића под називом *Прилози за биоклиматологију области Копаоника* (Вујевић 1962), објављеног у журналу Географског института „Јован Цвијић“ Српске академије наука и уметности, почињу биоклиматолошка истраживања на просторима бивше СФРЈ. Комбинујући температуру ваздуха, брзину вјетра и напон водене паре, Вујевић (1962) је одредио еквивалентне температуре, ваздушну моћ хлађења и моћ сушења за Копаоник, Врњачку Бању, Куршумлију и Рашку, истичући и геоклиматску моћ сушења. Према Вујевић (1962), биоклиматологија или медицинска климатологија развила се у самосталну дисциплину опште климатологије. Неколико година касније, Štraser i Godić (1969) објављују књигу *Увод у медицинску биоклиматологију и основи балнеоклиматологије*, у којој повезују биоклиматологију и медицину кроз директан утицај времена и климе на здравље људи (Pecelj et al. 2007; Миловановић и сар. 2017; Пецељ 2019).

Крајем седамдесетих година двадесетог вијека у БиХ, Радмило Милосављевић (Милосављевић 1979) на основу еквивалентних температура представио је биоклиматску рејонизацију БиХ за потребе човјека, гдје је Кригерову скалу допунио са двије нове класе и прилагодио условима БиХ (Pecelj et al. 2007; Миловановић и сар. 2017). То је била прва биоклиматска рејонизација на основу еквивалентних температура и запаре у тадашњој Југославији. Даље, деведесетих година двадесетог вијека представљене су биоклиматске анализе Републике Српске (Пецељ 1998) на основу еквивалентних температура и запаре, гдје је запара представљана климограмом Шарлоа (Scharlau 1950).

Новији концепт биоклиматских истраживања, који поред климатских узимају у обзир и физиолошке карактеристике човјека, у домаћој литератури се спомиње у прегледној публикацији о теоријско-методолошком концепту биоклиматских и еоклиматских истраживања (Pecelj et al. 2007). У посљедњој деценији објављују се разноврсни чланци који анализирају биоклиматске карактеристике у земљама бивше СФРЈ са аспекта термофизиолошких индекса топлоте. Конкретно, у БиХ у посљедњих десетак и више година објављено је више публикација из биоклиматских истраживања са сложеним биоклиматским индексима (Пецељ 2010; Pecelj et al. 2010а, 2010б, 2010в, 2011, 2013; Пецељ и Пецељ-Пурковић 2012, Pecelj 2013; Šušnjar and Pecelj 2014; Пецељ 2019; Włażejczyk et al. 2021), као и биоклиматска анализа Бање Луке на основу индекса HUMIDEX користећи дневне податаке за период 2000–2005. године (Pecelj et al. 2010а). У монографској студији Пецељ (2019) поред биоклиматске временске класификације представља примјену биометеоролошких индекса за потребе бањског туризма у Републици Српској. У монографској студији Пецељ (2019) представљени су биоклиматски принципи на примјеру анализа бањских мјеста Републике Српске у функцији здравствено-љечилишног и рекреативног туризма са идејом да се прикаже на који начин се вријеме и клима могу вредновати за здравствено-љечилишне и рекреативне потребе људи. Такође, представљен је принцип временске биоклиматске класификације засноване на термичким, физичким и естетским аспектима. Наведена класификација, помоћу седам цифара, представља актуелне биоклиматске временске карактеристике у облику временског *типа*, *субтипа* и *класе*. Примјери поменуте класификације дати су за Бању Луку (Pecelj et al. 2010а) и Добој (Pecelj et al. 2011). Биоклиматска анализа планине Бјелашнице заснована на термичким, физичким и естетским аспектима помоћу индекса погодности времена (*Weather Suitability Index*, WSI) урађена је на основу средњих мјесечних вриједности метеоролошких параметара за период од 11 година (2000–2010) (Šušnjar and Pecelj 2014). Затим, анализа спољашњег термалног комфора на основу индекса температура кугле по влажном термостату (*Wet*

Bulb Globe Temperature, WBGT) представљена је за Бијељину на основу десетогодишњих дневних података (Ђурић and Topalić Marković 2019).

Иако је посљедњих година објављено више радова који се баве овом тематиком, углавном анализирајући податке са метеоролошких станица у Републици Српској, ипак прате их слична ограничења везана за недостатак континуираног низа дневних података мјерених у терминима 7 х, 14 х или 21 х. До сада је за територију БиХ урађена процјена биоклиме на основу UTCI индекса у оквиру Динарског планинског система као дио анализе планинских система у централној и источној Европи. Анализа је фокусирана на термички стрес у зависности од надморске висине за метеоролошке станице Сарајево, Ливно, Иван седло, Бугојно и Бјелашница (Błażejczyk et al. 2021). Међутим, детаљније анализе термичког стреса засноване на UTCI и PET индексима нису обрађиване за референтне периоде осматрања.

8.3. Методологија истраживања

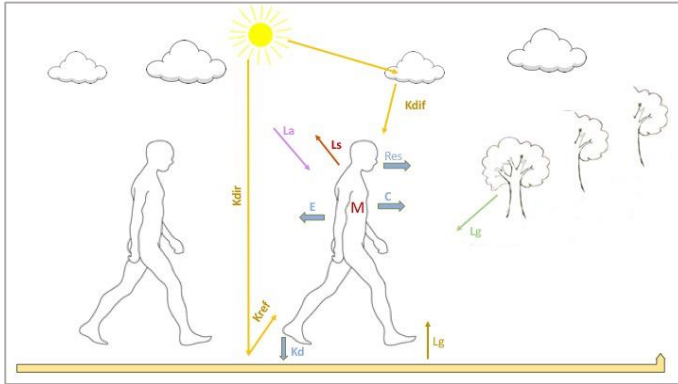
У хуманој биометеорологији користе се прости и сложени биометеоролошки индекси за интерпретацију субјективног осјећаја топлоте.

Прости биометеоролошки индекси описују утицај неколико појединачних метеоролошких параметара, најчешће температуре ваздуха, брзине вјетра и влажности ваздуха, који се односе директно на физиолошки одговор организма. Њихов утицај на људски организам разматра се на основу анализа топлотне перцепције или топлотног стреса (Błażejczyk et al. 2012). Ова група индекса укључује између осталих индексе: Humidex (Masterson and Richardson 1979), ефективна температура – ET (Houghton and Yaglou 1923) и привидна температура – AT (Steadman 1984), топлотни индекс WBGT (Yaglou and Minard 1957).

Сложени биометеоролошки индекси засновани су на различитим моделима човјекове топлотне равнотеже. Према Błażejczyk et al. (2012), карактеристике термалног окружења са становишта термичко-физиолошких услова подразумијевају примјену цјеловитог модела топлотног буџета са свим механизмима размјене топлоте. На Сл. 8.1. приказане су компоненте човјекове топлотне равнотеже (*Human Heat Balance*) кроз:

- топлотне флуксе: метаболизам (M), испаравање (E), дисање (Res), конвекција (C), провођење (Kd),
- топлотну радијацију: зрачење земље (Lg), зрачење неба (La), зрачење човјековог тијела (Ls),

- соларну радијацију: директно (K_{dir}), дифузно (K_{dif}) и рефлектовано зрачење (K_{ref}).



Сл. 8.1. Компоненте топлотне равнотеже између човјека и околине (*Human heat balance*) (Пецељ 2019)

Fig. 8.1. The components of human heat balance (Пецељ 2019)

За разлику од таквих индекса, једноставни биометеоролошки индекси никада не могу испунити основни захтјев да за сваку вриједност индекса увијек мора постојати одговарајуће значајно термофизиолошко стање (интензитет топлотног оптерећења), без обзира на комбинацију метеоролошких вриједности (Blazejczyk et al. 2012). Због тога је њихова примјенљивост ограничена, а резултати често нису упоредиви. Ови недостаци су отклоњени увођењем сложених биоклиматских индекса.

Методолошки концепт истраживања у овом раду заснован је на принципу размјене топлоте између човјека и околине, који је интерпретиран на основу модела који омогућавају рачунање UTCI и PET.

8.3.1. Универзални термални климатски индекс

Универзални термални климатски индекс (UTCI) представља индикатор топлотног стреса. За дефинисање овог индекса метаболизам игра веома важну улогу. Метаболички процеси у људском тијелу стварају топлоту која се непрекидно размјењује са околином, постижући стање топлотне равнотеже у тијелу како би се одржала константна тјелесна температура. Количина произведене и ослобођене топлоте зависи од сљедећих параметара: физичке активности, изолације од одјеће, пола, старости, тјелесне масе, исхране, менталног стања, здравља, спољашњих услова, аклиматизације итд. Стопа

метаболизма представља базалну или основну метаболичку продукцију увећану за вриједност енергије коју произведе људско тијело услед обављања одређене врсте физичке активности. Као мјера физичке активности уведена је јединица „МЕТ“, гдје је вриједност од 1 МЕТ једнака ослобођеној топлоти од $58,2 \text{ W m}^{-2}$ са просјечне површине коже одрасле особе ($1,8 \text{ m}^2$). Ова јединица једнака је стопи енергије произведене по јединици површине просјечне особе која сједи у миру (ANSI/ASHARE Standars 55 2017). Према стандардима Међународне организације за стандардизацију (ISO 8996 2004), метаболичка топлотна енергија особе која се креће брзином од $1,1 \text{ m s}^{-1}$ износи 135 W m^{-2} , тј. 2,3 МЕТ (Fiala et al. 2001, 2012; Bröde et al. 2012, 2013; Jendritzky et al. 2012; Havenith et al. 2012).

Да би се олакшало тумачење и разумијевање UTCI индекса, референтни услови за израчунавање UTCI индекса требало би да буду дефинисани у терминима који одговарају искуствима већине људи и релевантни за цијели спектар климатских зона на које се примјењује UTCI. Због тога је важно метеоролошке промјенљиве метаболичку стопу (М) и термалне особине одјеће (изолација од одјеће, пропусност) узети као универзалне константе у моделу. За UTCI се узима репрезентативна активност особе на отвореном која хода брзином од 4 km h^{-1} ($1,1 \text{ m s}^{-1}$), што одговара производњи метаболичке енергије од 2,3 МЕТ. За референтне вриједности окружења користе се:

- брзина вјетра (v) од $0,5 \text{ m s}^{-1}$ на висини 10 м (приближно $0,3 \text{ m s}^{-1}$ на 1,1 м),
- средња температура зрачења (T_{mrt}) једнака температури ваздуха,
- притисак водене паре (e) (релативна влажност од 50% при високим температурама ваздуха $> 29 \text{ }^\circ\text{C}$) (референтна влажност је константна на 20 hPa).

UTCI је могуће рачунати једино помоћу регресионих функција, што доводи до врло уског опсега улазних параметара, а то су метеоролошки параметри температуре ваздуха T_a ($^\circ\text{C}$), притиска водене паре p_p (hPa), брзине вјетра v (m s^{-1}) и средње температуре зрачења T_{mrt} ($^\circ\text{C}$). Сви физиолошки параметри одређују се аутоматски. Због ограничења за T_a од $-50,0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+50,0 \text{ }^\circ\text{C}$, као и за важећи распон брзине вјетра од $0,5 \text{ m s}^{-1}$ до $17,0 \text{ m s}^{-1}$ свакако постоје ограничења у примјени. То може довести до тенденције у резултатима јер су изостављени нарочито услови топлотног напрезања са високим и ниским вриједностима (Fröhlich and Matzarakis 2016). Ограничење које такође даје UTCI индекс постоји услед притиска водене паре референтног окружења, који је ограничен на 20,0 hPa (Jendritzky et al. 2012). Унутар прихваћеног опсега, UTCI је веома осјетљив на брзину вјетра (Fröhlich and Matzarakis 2016). Осим температуре ваздуха (T_a), такође и средња температура зрачења (T_{mrt}) снажно утиче на UTCI (Fröhlich and Matzarakis 2016; Chen and Matzarakis 2018).

Ради олакшаног тумачења резултата представљене су различите категорије стреса за одређене вриједности UTCI индекса (Таб. 8.1).

Таб. 8.1. Скала индекса са категоријама стреса UTCI (Blazejczyk et al. 2012)
 Table 8.1. Thermal perception and stress classification of UTCI (Blazejczyk et al. 2012)

UTCI (°C)	Категорија стреса	Скраћеница
> 46	Екстремно јак топлотни стрес	EHS
38 до 46	Веома јак топлотни стрес	VSHS
32 до 38	Јак топлотни стрес	SHS
26 до 32	Средњи топлотни стрес	MHS
9 до 26	Без термалног стреса	NTS
0 до 9	Благи хладни стрес	SLCS
0 до -13	Средњи хладни стрес	MCS
-13 до -27	Јак хладни стрес	SCS
-27 до -40	Веома јак хладни стрес	VSCS
< -40	Екстремно јак хладни стрес	ECS

8.3.2. Физиолошка еквивалентна температура

Физиолошка еквивалентна температура (PET) један је од најчешће коришћених топлотних индекса за процјену термичког комфора. Према дефиницији Хопа (Höppe 1999), PET представља температуру ваздуха при којој се у типичном затвореном окружењу одржава равнотежа између топлоте човјековог тијела (температура коже и температура унутрашњости тијела) и топлоте спољашње средине. Заснован је на Минхенском термофизиолошком моделу енергетског баланса (*Munich Energy-balance Model for Individuals*, MEMI) и средњој температури зрачења (T_{mrt}). PET се може израчунати коришћењем RayMan софтвера (Matzarakis et al. 2007, 2010). Модел PET температуре описан је у смјерници VDI 3787 Њемачког инжењерског друштва (*German Engineering Society*) (VDI 1998) под називом *Методе за процјену климе хигијене ваздуха за урбано и регионално планирање на основу метода из хумане биометеорологије (Methods for the Human-Biometeorological Assessment of Climate and Air Hygiene for Urban and Regional Planning)*. Његова сврха је израчунавање флукса зрачења на основу различитих параметара, као што су температура ваздуха, влажност ваздуха, брзина вјетра, степен облачности, доба дана и године, албео и надморска висина околних површина. Примјена RayMan модела користи се за одређивање услова топлотне удобности на основу релевантних

метеоролошких промјенљивих и промјенљивих људског тијела, а модел подразумијева сљедеће константне вриједности:

- тјелесна површина је стандардизована на $1,9 \text{ m}^2$, што представља човјека висине 1,75 м и тјелесне тежине од 75 кг (Mayer and Höppe 1987),
- стопа метаболичке енергије (радни метаболизам) од 80 W за особу која стоји,
- фактор изолације одјеће је стандардизован на 0,9 clo за затворени пословни простор (VDI 1998).

Одређене вриједности PET категорисане су према топлотном стресу у Таб. 8.2. За разлику од UTCI, модел PET не користи самоприлагођавајући модел одјеће већ је фиксиран за одређену вриједност. Један од најважнијих фактора који одређује PET јесте средња температура зрачења T_{mrt} ($^{\circ}\text{C}$), затим брзина вјетра v (m s^{-1}) и температура T_{a} ($^{\circ}\text{C}$). Влажност ваздуха показује веома слаб утицај на PET (Chen and Matzarakis 2018).

Таб. 8.2. Скала индекса са категоријама стреса физиолошке еквивалентне температуре (PET) (Matzarakis et al. 1999)

Table 8.2. Thermal perception and stress classification of physiological equivalent temperature (PET) (Matzarakis et al. 1999)

PET ($^{\circ}\text{C}$)	Категорија стреса	Скраћеница
> 41	Екстремно врућ стрес	EHS
35 до 41	Јак топлотни стрес	SHS
29 до 35	Средњи топлотни стрес	MHS
23 до 29	Благи топлотни стрес	SLHS
18 до 23	Без термалног стреса	NTS
13 до 18	Благи хладни стрес	SLCS
8 до 13	Средњи хладни стрес	MCS
4 до 8	Јак хладни стрес	SCS
< 4	Екстремно јак хладни стрес	ECS

PET који се већ више од двадесет година користи за одређивање људске топлотне удобности (Mayer and Höppe 1987; Matzarakis et al. 1999; Höppe 1999) недавно је модификована као измијењена физиолошки еквивалентна температура (*Modified Physiologically Equivalent Temperature*, mPET) (Chen and Matzarakis 2018; Lin et al. 2019; Chen et al. 2020) како би употпунила ограничења која је имала у вези са влажношћу ваздуха и изолацијом одјеће.

Измијењена физиолошки еквивалентна температура (mPET) потиче од PET, што је реалнија демонстрација човјекове топлотне удобности у различитим

климатским зонама. Улазни метеоролошки подаци слични су PET, а за бољу корелацију mPET користи исту класификацију као PET (Таб. 8.2) будући да се резултати крећу унутар истог спектра. За разлику од PET, mPET користи вишечворни модел транспорта топлоте аналогно моделу Фиала (Fiala et al. 2001, 2012) као и самоприлагодљиви вишеслојни модел одјеће, који симулира отпор водене паре. Дакле, mPET интегрише понашање одјеће у укупном преносу топлоте у зависности од датих топлотних услова, што је био главни недостатак PET (Chen et al. 2018, 2020). RayMan модел омогућава израчунавање средње температуре зрачења (T_{mrt}), важне промјенљиве за процјену PET и mPET. Модел физиолошке еквивалентне температуре успостављен је ради комбиновања биометеорологије са урбаном климатологијом и може се користити у другим областима, попут туристичких студија.

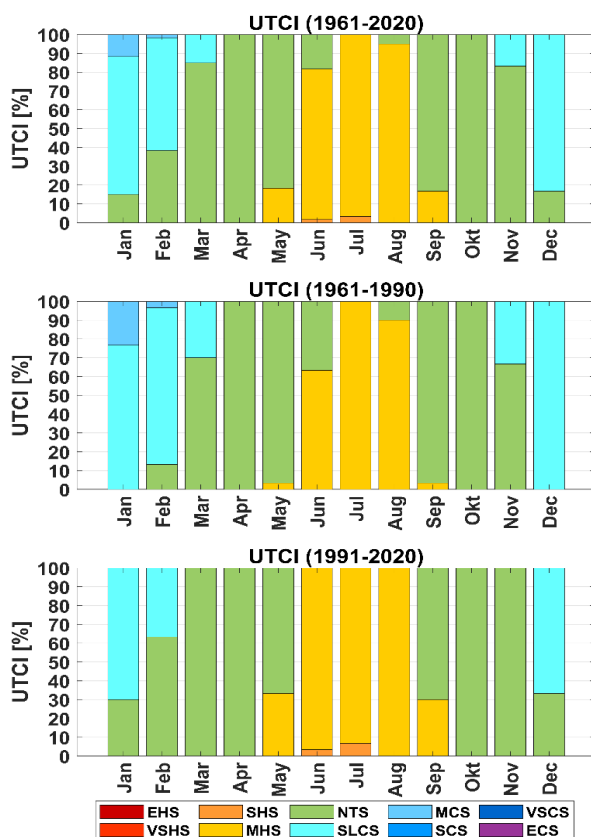
Разлике између улазних параметара који се користе за прорачуне PET и UTCI индекса су сљедеће: брзина вјетра за PET индекс смањена је на 1,1 м, што је еквивалентно центру тијела особе која стоји, док се вриједност брзине вјетра која се користи за UTCI индекс мјери на 10 м. Још једна важна разлика између PET и UTCI јесте та што се PET модел увијек заснива на параметру одјеће од 0,9 clo, док модел UTCI индекса прилагођава параметре одјеће посебним спољним условима (Jendritzky et al. 2012). Наведена разлика је ублажена код mPET. Квантификација биоклиматских услова у Бањој Луци осмишљена је за сваки индекс на дневној основи за сваку дефинисану категорију стреса. Добијени PET, mPET и UTCI индекси представљени су кроз опште класе стреса средњим мјесечним вриједностима. Да би се добио бољи увид у вриједности индекса за истраживани период, за сваку годину су дати просјечни UTCI, PET и mPET, заједно са временским серијама и трендовима. Даље су представљене средње мјесечне вриједности свих индекса за посматрани период (1961–2020). Брзина вјетра сведена је на висину од 1,1 м изнад површине користећи Хелманов експоненцијални закон (Ваћuelos-Ruedas et al. 2011) читавања брзине вјетра на двије различите висине, како слиједи у Формули (1):

$$\frac{v}{v_{10}} = \left(\frac{H}{H_{10}} \right)^\alpha \quad (1)$$

гдје је v брзина вјетра на висини $H = 1,1$ м, v_{10} је брзина вјетра на висини $H_{10} = 10$ м и α је коефицијент трења (Хелманов експонент). За градско подручје коришћено је $\alpha = 0,40$.

8.3. Резултати и дискусија

Користећи поменуте моделе израчунати су UTCI помоћу софтверског пакета BioKlima2.6 (доступно на: <https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>), а PET и mPET помоћу софтверског пакета RayMan (Matzarakis et al. 2010). Користећи вишегодишњи низ података индекси су интерпретирани у три временска интервала. Први временски интервал је шездесетогодишњи период 1961–2020. године, затим референтни тридесетогодишњи период 1961–1990. и референтни тридесетогодишњи период 1991–2020. године. Индекси су за дате периоде представљени на основу мјесечне учесталости класа топлотног стреса и средњих мјесечних вриједности индекса, укључујући њихове средње сезонске и средње годишње вриједности.

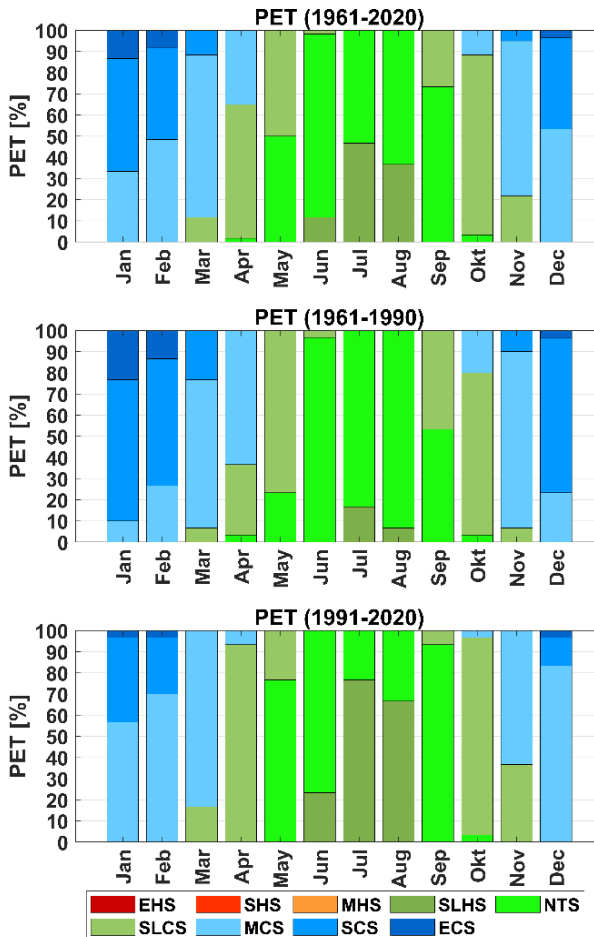


Сл. 8.2. Мјесечна учесталост класа топлотног стреса UTCI индекса за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020. (доље)

Fig. 8.2. Monthly frequency of UTCI heat stress classes for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

На Сл. 8.2. представљене су мјесечне категорије топлотног стреса UTCI индекса за сва три периода, гдје се категорија јаког топлотног стреса уочава у јуну и јулу референтног периода 1991–2020, док у претходном референтном периоду 1961–1990. није присутна. Такође, у истом периоду (1991–2020) уочава се недостатак категорије средњег хладног стреса током јануара и фебруара, која је у претходном референтном периоду 1961–1990. године била присутна. Слична је ситуација са категоријом благи хладни стрес у марту и новембру.

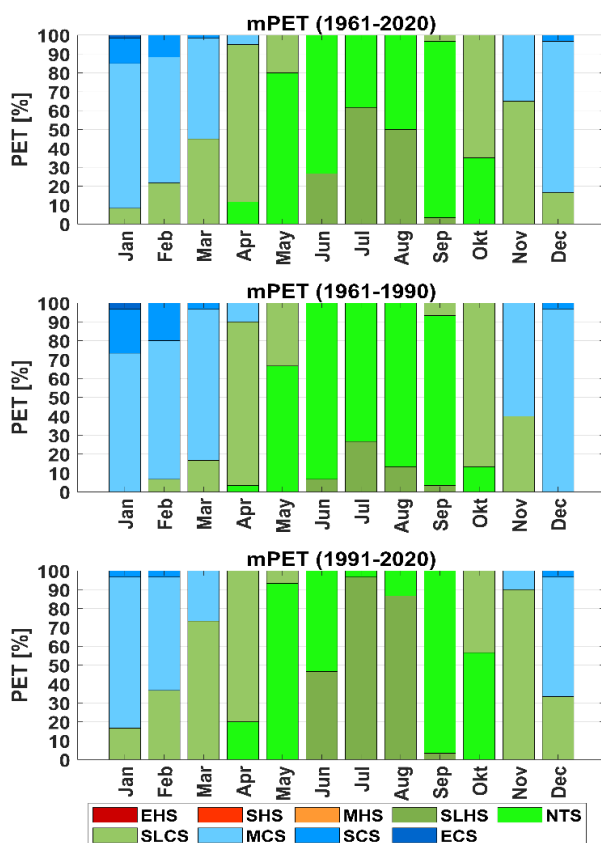
На Сл. 8.3. је представљена учесталост класа топлотног стреса PET индекса.



Сл. 8.3. Мјесечна учесталост класа топлотног стреса PET индекса за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020. (доље)

Fig. 8.3. Monthly frequency of PET heat stress classes for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

У погледу категорије стреса РЕТ и mPET индекса, на Сл. 8.3. може се уочити слична ситуација, гдје за референтни период 1991–2020. у љетним мјесецима јун, јул и август имају значајно више заступљену категорију лагани топли стрес у односу на период 1961–1990. године, када је у истим мјесецима доминантна категорија без стреса. Са друге стране, у хладнијем периоду године смањила се учесталост средње хладног стреса у периоду 1991–2020. у односу на период 1961–1990, када је та категорија била доминантнија. У истом периоду се уочава присуство категорије екстремно хладни стрес, која у посљедњих тридесет година ишчезава. На Сл. 8.3. и Сл. 8.4. треба уочити разлику у учесталости стреса код оба индекса еквивалентне температуре РЕТ и mPET.



Сл. 8.4. Мјесечна учесталост класа топлотног стреса mPET индекса за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020. (доље)

Fig. 8.4. Monthly frequency of mPET heat stress classes for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

Разлике између ова два топлотна индекса у погледу хладних термичких услова у поређењу са осталим годишњим добима је тај што PET има фиксну изолацију одјеће (0,9 clo), што је један од основних недостатака PET модела. Као што Chen et al. (2020) истичу, PET не реагује у погледу промјене компоненте изолације одјеће, за разлику од mPET, који има различите резултате када се компонента изолације одјеће мијења. То се нарочито уочава код mPET у хладнијем периоду године (Сл. 8.4).

Улога одјеће је важна у спречавању латентног губитка топлоте у људском тијелу, посебно зими. Према Jendritzky et al. (2012) топлотни стрес утиче на људски терморегулациони систем усљед размјене топлоте између тијела и његовог термичког окружења, у чему и одјећа игра значајну улогу. За разлику од PET, модел mPET нема фиксну изолацију одјеће, што му омогућава да одражава реалније биотермално стање и ублажи разлику у односу на UTCI индекс, посебно зими. Поред ове разлике између PET и UTCI, треба узети у обзир и разлику у степену физичке активности којој одговара метаболички енергетски ток у облику константне вриједности 135 W m^{-2} за UTCI модел и 80 W m^{-2} за PET модел. Опште поређење између PET и UTCI најприхватљивије је у топлијем периоду године.

Када се погледају средње мјесечне вриједности сва три индекса у сва три временска интервала, уочавају се минималне вриједности у мјесецу јануару и максималне вриједности у јулу, што прати типичну слику континенталног годишњег тока (Таб. 8.3).

Средња јулска вриједност UTCI индекса указује на средњи топлотни стрес док средња јануарска указује на средњи хладни стрес. Код PET индекса средње јануарске вриједности показују јак хладни стрес, док код mPET показују средњи хладни стрес. Средње јулске вриједности PET индекса у периоду 1961–2020. и 1961–1990. године показују да нема топлотног стреса, међутим у периоду 1991–2020. показују благи топлотни стрес. Код mPET показују благи топлотни стрес и у периоду 1961–2020. године (Таб. 8.3).

Средње годишње вриједности сва три индекса (UTCI, PET и mPET) у посљедњих тридесет година повећале су се за $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ код UTCI индекса, затим за $5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ код PET индекса и $1,9 \text{ }^\circ\text{C}$ код mPET индекса у односу на претходни тридесетогодишњи референтни период.

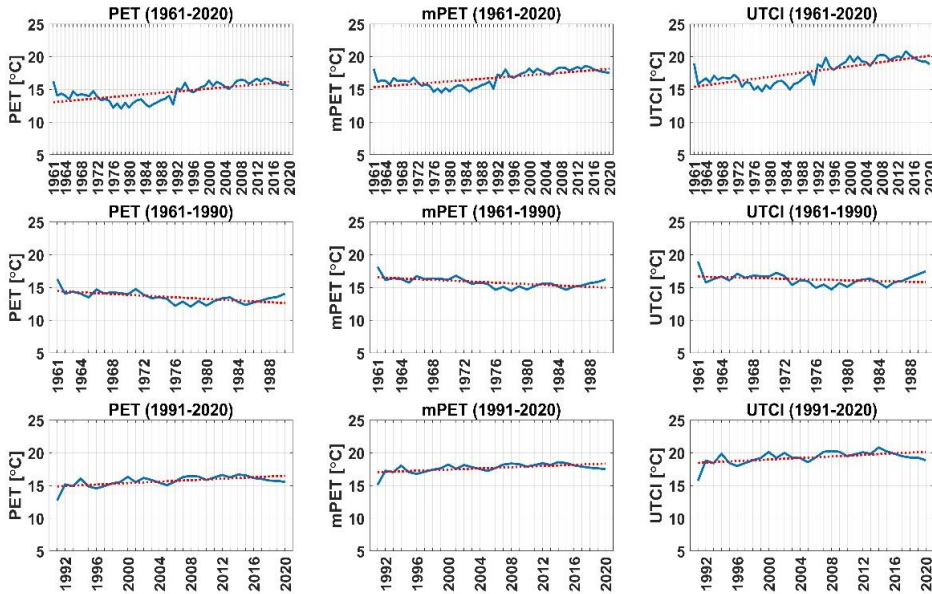
Таб. 8.3. Средње мјесечне вриједности и средњи годишњи UTCI, PET и mPET за период 1961–1990. (I), 1991–2020. (II) и 1961–2020. (III)

Table 8.3. Mean monthly and mean annual of UTCI, PET and mPET for the period 1961–1990. (I), 1991–2020. (II) and 1961–2020. (III)

	UTCI			PET			mPET		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Јан.	2,6	7,2	4,9	5,3	7,2	6,8	8,8	11,6	10,2
Феб.	5,8	9,4	7,6	6,6	9,4	7,7	9,9	12,0	10,9
Март	10,2	13,9	12,0	9,1	13,9	10,1	11,9	13,9	12,9
Апр.	16,1	19,6	17,9	12,7	19,6	13,7	14,8	16,8	15,8
Мај	22,6	24,9	23,8	17,0	24,9	17,9	18,6	20,1	19,4
Јун	26,4	29,1	27,8	19,9	29,1	21,1	21,2	23,1	22,1
Јул	28,0	30,6	29,3	21,4	30,6	22,6	22,5	24,4	23,4
Авг.	27,4	30,1	28,7	21,0	30,1	22,2	22,2	24,2	23,2
Септ.	23,6	25,2	24,4	18,4	25,2	19,0	19,9	21,0	20,5
Окт.	17,4	19,9	18,7	14,2	19,9	15,1	16,5	18,1	17,3
Нов.	10,4	13,8	12,1	10,1	13,8	11,2	13,0	15,0	14,0
Дец.	4,4	7,9	6,2	6,8	7,9	8,0	10,1	12,3	11,2
Просјек	16,2	19,3	17,8	13,5	19,3	14,6	15,8	17,7	16,7

Горепоменућа ситуација јасније се може уочити на графиконима на Сл. 8.5. гдје су представљене просјечне годишње вриједности UTCI (десни графикони) индекса за период 1961–2020, 1961–1990. и 1991–2020. године. Примјећује се негативан тренд UTCI индекса у периоду 1961–1990, док је код остала два периода позитиван тренд, нарочито интензивнији за шездесетогодишњи период 1961–2020. Такође, индекси PET и mPET показују негативан тренд за референтни период 1961–1990.

Како су навели Blazejczyk et al. (2012), UTCI веома добро представља различите временске услове и веома је осјетљив на промјене температуре, влажности, Сунчевог зрачења и брзине вјетра, док је PET највише повезан са температуром ваздуха. Повећање брзине ваздуха у великој мјери стимулише смањење биотермалних услова дефинисаних UTCI индексом. Треба нагласити да је сваки модел UTCI, PET и mPET ограничен фиксном брзином метаболизма, која се приближава благо израженој физичкој активности. То значи да класе топлотног стреса сва три индекса не дају реалне биотермалне показатеље топлотног стреса за интензивну физичку активност.



Сл. 8.5. Просјечни годишњи UTCI, PET и mPET за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020 (доље)

Fig. 8.5. Average annual UTCI, PET and mPET indices for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

Ради побољшања будућих истраживања, важно је истаћи и поједина ограничења ове студије, а тичу се доступности и релевантности дневних података. У раду су за анализу искоришћени средњи дневни метеоролошки подаци који су били доступни. Међутим, дневна терминска мерења у 7 х, 14 х и 21 х, уколико вишесатни дневни подаци нису доступни, могу показати детаљнију учесталост па и јачину термичког стреса нарочито у екстремно хладним или екстремно топлим годинама. Имајући у виду глобалне закључке о порасту топлотних таласа и њиховом негативном ефекту на људе, нарочито у урбаним срединама, може се закључити да у досадашњим студијама у БиХ недостају јаснији приједлози за даља истраживања о њиховом утицају на локалном нивоу. Због тога су нарочито релевантна микрометеоролошка мјерења како би омогућила просторну дистрибуцију термичког стреса и спољашњег термичког комфора у урбаним срединама. Један од најбољих примјера како се различити параметри могу прикупити микрометеоролошким мјерењима јесте платформа за биометеоролошко посматрање под називом MaRTy (Middel et al. 2016, 2019, 2020). Даље, концентрисана просторна

мјерења у урбаним срединама обезбјеђују временске сатне податке довољне за осјетљивију анализу спољне топлотне нелагоде у здравствене сврхе.

8.4. Закључак

Истраживање биоклиматских услова у Бањој Луци засновано на UTCi и PET дало је идентификацију мјесечних и годишњих биотермалних карактеристика током три периода: 1961–1990, 1991–2020. и 1961–2020. Уочен је позитиван тренд и повећање вриједности индекса за периоде 1991–2020. и 1961–2020, што указује на повећање субјективног топлотног стреса и топлотне нелагоде Бањој Луци, нарочито посљедњих тридесет година. Посматрајући међусобно индексе, њихова компатибилност је веома уочљива у топлијем периоду године, углавном у љетним временским условима високих температура и ниже влажности. У хладнијем и влажнијем периоду године смањује се њихова компатибилност. С тим у вези, mPET показује свеобухватније карактеристике за процјену спољашњег термичког комфора, посебно током зимске сезоне, када су флуксеви зрачења мањи, и током прољећних или јесенских сезона, када је влажност већа.

Ова студија пружа општу процјену биоклиматских услова у контексту човјековог доживљаја метеоролошких и климатолошких услова и спољашњег термичког комфора и наглашава неопходност типских микрометеоролошких мјерења у урбаним срединама за даља истраживања на локалном нивоу.

Литература

- ANSI/ASHARE Standard 55 (2017) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, pp 37
- Bañuelos-Ruedas F, Angeles-Camacho C, Rios-Marcuello S (2011) Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource Assessment in a Region. In: Suivre GO (eds) Wind Farm—Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment, Chapter 4. InTech. doi.10.5772/20669
- Basarin B, Lukic T, Matzarakis A (2020) A Review of Biometeorology of Heatwaves and Warm Extremes in Europe. Atmosphere 11(12):1276. doi.10.3390/atmos 11121276
- Błażejczyk K (1994) New Climatological and Physiological Model of the Human Heat Balance Outdoor (MENEX) and Its Application in Bioclimatological Studies in Different Scales. Zeszyty IGiPZ PAN 28:27–58

- Błażejczyk K, Matzarakis A (2007) Assessment of Bioclimatic Differentiation of Poland Based on the Human Heat Balance. *Geographia Polonica* 80:63–82
- Błażejczyk K, Epstein Y, Jendritzky G, Staiger H, Tinz B (2012) Comparison of UTCI to Selected Thermal Indices. *International Journal of Biometeorology* 56(3):515–535. doi.10.1007/s00484-011-0453-2
- Błażejczyk K, Jendritzky G, Bröde P, Fiala D, Havenith G, Epstein Y, Psikuta A, Kampmann B (2013) An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica* 86(1):5–10. doi.10.7163/GPol.2013.1
- Błażejczyk K, Kuchcik M, Błażejczyk A, Milewski P, Szmyd J (2014) Assessment of Urban Thermal Stress by UTCI – Experimental and Modelling Studies: An Example from Poland. *Die ERDE* 145:16–33. doi.10.12854/erde-145-3
- Błażejczyk K, Pecelj M, Nejedlik P, Skrynyk O, Mikulova K (2021) Thermal Stress in Selected Mountain System in Central and Eastern Europe – Initial Research Based on UTCI Characteristics. *Geographia Polonica* 94(2):223–236. doi.10.7163/GPol.0202
- Bröde P, Fiala D, Błażejczyk K, Holmér I, Jendritzki G, Kampmann B, Tinz B, Havenith G (2012) Deriving the Operational Procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology* 56(3):481–494. doi.10.1007/s00484-011-0454-1
- Bröde P, Krüger EL, Fiala D (2013) UTCI: Validation and Practical Application to the Assessment of Urban Outdoor Thermal Comfort. *Geographia Polonica* 86(1):11–20
- Van der Schrier G, van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Verver G (2013) Monitoring European Average Temperature Based on E-OBS Gridded Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118:5120–5135. doi.10.1002/jgrd.50444
- VDI (1998) VDI/DIN—Handbuch Reinhaltung der Luft. Band 1b. Environmental Meteorology, Methods for the Human-Biometeorological Evaluation of Climate and Air Quality for the Urban and Regional Planning at Regional Level—Part I: Climate. VDI, Düsseldorf, pp 29
- Бујевић П (1962) Прилози за биоклиматологију области Копаоника. Зборник радова Географског института “Јован Цвијић” 18:1–91
- De Freitas CR, Grigorieva EA (2015) A Comprehensive Catalogue and Classification of Human Thermal Climate Indices. *International Journal of Biometeorology* 59(1):109–120. doi.10.1007/s00484-014-0819-3
- De Freitas CR, Grigorieva EA (2017) A Comparison and Appraisal of a Comprehensive Range of Human Thermal Climate Indices. *International Journal of Biometeorology* 61(3):487–512. doi.10.1007/s00484-016-1228-6
- Đurić D, Topalić Marković J (2019) Thermal Comfort in the City of Bijeljina for the Period 2009–2018 Defined by WGBT. *Archives for Technical Sciences* 21(1):69–74. doi.10.7251/afts.2019.1121.069Dj

- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1535
- IPCC (2019) *Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp 84
- ISO 8996 (2004) *Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of Metabolic Rate*. Доступно на: <https://www.iso.org/standard/34251.html>, Приступљено: 2. фебруар 2020
- Jendritzky G, De Dear R, Havenith G (2012) UTCI—Why Another Thermal Index? *International Journal of Biometeorology* 56(3):421–428. doi.10.1007/s00484-011-0513-7
- Lin TP, Yang SR, Chen YC, Matzarakis A (2019) The Potential of a Modified Physiologically Equivalent Temperature (mPET) Based on Local Thermal Comfort Perception in Hot and Humid Regions. *Theoretical and Applied Climatology* 135:873–876. doi.10.1007/s00704-018-2419-3
- Masterson J, Richardson FA (1979) *Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity*. Environment Canada, Downsview, pp 45
- Matzarakis A, Mayer H, Iziomon MG (1999) Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2):76–84. doi.10.1007/s004840050119
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2007) Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments—Application of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology* 51(4):323–334. doi.10.1007/s00484-006-0061-8
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2010) Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: Basics of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology* 54(2):131–139. doi.10.1007/s00484-009-0261-0
- Matzarakis A, Fröhlich D, Bermon S, Adami PE (2018) Quantifying Thermal Stress for Sport Events—The Case of the Olympic Games 2020 in Tokyo. *Atmosphere* 9(12):479. doi.10.3390/atmos9120479
- Matzarakis A, Laschewski G, Muthers S (2020) The Heat Health Warning System in Germany—Application and Warnings for 2005 to 2019. *Atmosphere* 11(2): 170. doi.10.3390/atmos11020170
- Mayer H, Höppe P (1987) Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. *Theoretical and Applied Climatology* 38:43–49
- Middel A, Selover H, Hagen B, Chhetri H (2016) Impact of Shade on Outdoor Thermal Comfort—A Seasonal Field Study in Tempe, Arizona. *International Journal of Biometeorology* 60(12):1849–1861. doi.10.1007/s00484-016-1172-5
- Middel A, Krayenhoff ES (2019) Micrometeorological Determinants of Pedestrian Thermal Exposure During Record-Breaking Heat in Tempe, Arizona:

- Introducing the MaRTy Observational Platform. *Science of the Total Environment* 687(15):137–151. doi.10.1016/j.scitotenv.2019.06.085
- Middel A, Turner VK, Schneider FA, Zhang Y, Stiller M (2020) Solar Reflective Pavements—A Policy Panacea to Heat Mitigation? *Environmental Research Letters* 15(6):064016d. doi.10.1088/1748-9326/ab87d4
- Милосављевић Р (1979) Приказ и анализа притиска водене паре (апсолутне влажности) изнад Босне и Херцеговине. *Географски преглед* 22:7–8
- Миловановић Б, Радовановић М, Станојевић Г, Пецељ М, Николић Ј (2017) Клима Србије. У: Радовановић М (уредник) *Географија Србије*, стр 94–156. Географски институт “Јован Цвијић” САНУ
- NOAA National Centers for Environmental Information (2020) State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019. Доступно на: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>, Приступљено: 22. фебруар 2021
- Pecelj MR, Milinčić M, Pecelj MM (2007) Bioklimatska i ekoklimatska istraživanja—pravci razvoja. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 87(2):199–210
- Пецељ М (2010) Биоклиматска анализа Вишеграда у функцији спа туризма. *Интердисциплинарност и јединство модерне науке*, 22 – 24. мај 2009, Пале, Универзитет у Источном Сарајеву, Филозофски факултет, Зборник радова, књига 4, том 2, стр 481–493
- Pecelj M, Pecelj MR, Mandić D, Pecelj J, Milinčić M, Tošić D (2010a) Informational Technology in Bioclimate Analysis of Banja Luka for Tourism Recreation. The 9th WSEAS International Conference on Telecommunication and Informatics, May 29 – 31, 2010, Sicily, WSEAS, Book of Preceedings, pp 35–39
- Pecelj M, Pecelj MR, Mandić D, Pecelj J, Vujadinović S, Šećerov V, Šabić D, Gajić M, Milinčić M (2010b) Bioclimatic Assessment of Weather Condition for Recreation in Health Resorts. The 8th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, December 28 – 30, 2010, Athens, WSEAS, Book of Preceedings, pp 211–214
- Pecelj MR, Pecelj MM, Mandić D, Pecelj J, Lukić B, Filipović D (2010в) Informational Technology in Bioclimate Analysis of Višegrad for Health Spa Tourism. The 7th WSEAS International Conference on Engineering Education, July 22 – 24, 2010, Corfu Island, WSEAS, Book of Preceedings, pp 322–332
- Pecelj M, Pecelj M, Cutovic M, Pavlovic M, Zivkovic D, Zivkovic L, Vujadinovic S, Pecelj J, Gajic M, Mandic D (2011) Bioclimate Weather Classification of Doboј for Helth Spa Tourism. The 10th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 20 – 22, 2011, Cambridge, WSEAS, Book of Proceedings, pp 292–296
- Пецељ М, Пецељ-Пурковић Ј (2012) Могућност биоклиматских истраживања и њихова примена у бањском туризму. Трећи конгрес српских географа, 12 – 13. октобар 2011, Бања Лука, Географско друштво Републике Српске, Српско географско друштво, Природно-математички факултет Универзитета у Бањој Луци, Географски факултет Универзитета у Београду, Зборник радова, стр 268–280

- Pecelj M (2013) Bioclimatic Indices Based on the Menex Model-Example on Banja Luka. *Journal of Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 63(1):1–10. doi.10.2298/IJGI120803003
- Pecelj M, Trbić G, Pecelj MR (2013) Biothermal Condition Based on the Bioclimatic Index Heat Load. The 7th WSEAS International Conference on Waste Management, Water Pollution, Indoor Climate, March 20 – 22, 2013, Limasol, WSEAS, Book of Proceedings, pp 250–254
- Пецељ ММ (2019) Биоклиматске одлике бањских места Републике Српске—Климатско-медицински аспект. Асоцијација просторних планера Србије, Београд, стр 125
- Pecelj M, Lukić M, Filipović D, Protić B, Bogdanović U (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Pecelj M, Matzarakis A, Vujadinović M, Radovanović M, Vagić N, Đurić D, Cvetkovic M (2021) Temporal Analysis of Urban-Suburban PET, mPET and UTCI Indices in Belgrade (Serbia). *Atmosphere* 12(7):916. doi.10.3390/atmos12070916
- Пецељ РМ (1998) Биоклиматска истраживања Републике Српске. *Гласник/Herald* 3:67–72
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018b) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Russo S, Sillmann J, Fischer EM (2015) Top Ten European Heatwaves Since 1950 and Their Occurrence in the Coming Decades. *Environmental Research Letters* 10(12):124003. doi.10.1088/1748-9326/10/12/124003
- Siple P, Passel CF (1945) Measurements of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society* 89:177–199
- Staiger H, Laschewski G, Matzarakis A (2019) Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies. *Atmosphere* 10(1):18. doi.10.3390/atmos10010018
- Steadman RG (1984) A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Applied Meteorology* 23:1674–1687. doi.10.1175/1520-0450(1984)0232.0.CO;2
- Scharlau K (1950) Einführung eines Schwülemasstabes und Abgrenzung von Schwülezeiten durch Isohygrothermen. *Erdkunde* 4:188–201
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01

- Unkašević M, Tošić I (2015) Seasonal Analysis of Cold and Heat Waves in Serbia During the Period 1949–2012. *Theoretical and Applied Climatology* 120:29–40. doi.10.1007/s00704-014-1154-7
- Fanger PO (1970) *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen, pp 244
- Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M (2001) Computer Prediction of Human Thermoregulatory and Temperature Responses to a Wide Range of Environmental Conditions. *International Journal of Biometeorology* 45(3):143–159. doi.10.1007/s004840 100099
- Fiala D, Havenith G, Bröde P, Kampmann B, Jendritzky G (2012). UTCI-Fiala Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation. *International Journal of Biometeorology* 56(3):429–441. doi.10.1007/s00484-011-0424-7
- Fröhlich D, Matzarakis A (2016) A Quantitative Sensitivity Analysis on the Behaviour of Common Thermal Indices Under Hot and Windy Conditions in Doha, Qatar. *Theoretical and Applied Climatology* 124(1–2):179–187. doi.10.1007/s00704-015-1410-5
- Hansen J, Sato M, Ruedy R (2012). Perception of Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(37): 14720–14721. doi.10.1073/pnas.1205276109
- Havenith G, Fiala D, Błażejczyk K, Richards M, Bröde P, Holmér I, Rintamäki H, Benschabat Y, Jendritzky G (2012) The UTCI-Clothing Model. *International Journal of Biometeorology* 56(3):461–470. doi.10.1007/s00484-011-0451-4
- Höppe PR (1999) The Physiological Equivalent Temperature—A Universal Index for the Bioclimatological Assessment of the Thermal Environment. *International Journal of Biometeorology* 43(2):71–75. doi.10.1007/s004840050118
- Houghton FC, Yaglou CP (1923) Determining Equal Comfort Lines. *Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers* 29:165–176
- Chen YC, Matzarakis A (2018) Modified Physiologically Equivalent Temperature—Basics and Applications for Western European Climate. *Theoretical and Applied Climatology* 132:1275–1289. doi.10.1007/s00704-017-2158-x
- Chen YC, Chen WN, Chou CCK, Matzarakis A (2020) Concepts and New Implements for Modified Physiologically Equivalent Temperature. *Atmosphere* 11(7):694. doi.10.3390/atmos11070694
- Štraser T, Godić V (1969) *Uvod u medicinsku bioklimatologiju i osnovi balneoklimatoterapije*. Medicinska knjiga, Beograd–Zagreb, str 78
- Šušnjar S, Pecelj M (2014) Bioclimatic Analysis of Mountain Bjelasnica. *Bulletin of Serbian Geographical Society* 44(1):91–98. doi.10.2298/GSGD1401091S
- Yaglou CP, Minard D (1957) Control of Heat Casualties at Military Training Centers, A.M.A. *Archives of Industrial Health* 16:302–316

Human Bioclimatology – Bioclimatic Indices UTCI and PET in the Context of Climate Change – Example of Banja Luka

Milica Pecelj

Summary

Interpretation of bioclimatic conditions becomes more relevant in spatial planning, tourism, public health, sports events, etc. The study presents the general weather bioclimatic conditions in Banja Luka, defined on the basis of UTCI, PET, mPET indexes in order to show the pattern of each index in temperate climate and examine the annual and monthly differences of each index in the last sixty years. Monthly and annual indices were analyzed on the basis of 60 annual meteorological data by presenting the bioclimatic characteristics of the two reference periods 1961–1990 and 1991–2020 and the third sixty-year period 1961–2020. Positive trend and increase in the value of all three indices for the periods 1961–2020 and 1991–2020 years indicate an increase in subjective heat stress and heat discomfort in Banja Luka.

Keywords: Human bioclimatology, outdoor thermal comfort, UTCI, PET and mPET, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

Геотермални потенцијал Републике Српске и могућност коришћења субгеотермалних ресурса ниске енталпије у функцији превенције климатских промјена

Петар Беговић, Бранко Иванковић, Дуња Јосиповић

Сажетак: Геотермална енергија представља онај дио топлоте који се може употребити као корисна топлота за њено директно коришћење или за претварање у друге видове енергије. Геотермална и хидрогеотермална енергија јединствени су извори обновљиве енергије, чије су главне предности у лакој и чистом начину коришћења уз релативно једноставну и јефтину технологију.

Груба подјела територије Републике Српске с аспекта потенцијалности геотермалне енергије извршена је на основу постојећих не тако обимних истраживања која су вршена у прошлости и регистрованих појава термалних и термоминералних вода које се јављају на овом подручју. Подјела је извршена на двије драстично различите зоне: зона Спољашњих Динарида, тј. јужни дио територије Републике Српске са релативно слабијим геотермалним карактеристикама, и зона Унутрашњих Динарида и јужног

Цитирање: Беговић П, Иванковић Б, Јосиповић Д (2023) Геотермални потенцијал Републике Српске и могућност коришћења субгеотермалних ресурса ниске енталпије у функцији превенције климатских промјена. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:425–447

Cite as: Begović P, Ivanković B, Josipović D (2023) Geothermal Potential of the Republic of Srpska and the Possibility of Using Low Enthalpic Subgeothermal Resources in the Function of Climate Changes Prevention. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:425–447

дијела Панонског басена, тј. сјеверни и крајњи сјевероисточни дијелови Републике Српске са изузетним геотермалним карактеристикама, нарочито подручје Семберије. Потенцијалност наведених подручја потребно је потврдити детаљним хидрогеолошким систематским истраживањима јер је већина спроведених истраживања до сада била за потребе проналаска и експлоатације нафте.

Коришћење геотермалне енергије у Републици Српској и у региону недовољно је заступљено и своди се на бањски туризам и понегдје за топлификацију објеката. Људи још нису на адекватан начин упознати с овим драгоцијеним ресурсом, који умногоме може да супституише необновљиве изворе енергије, а тиме и утиче на очување животне средине и смањење климатских промјена.

Кључне ријечи: Обновљиви извори енергије, геотермална енергија, субгеотермални ресурси ниске енталпије, климатске промјене

9.1. Увод

Обновљиви извори енергије су извори енергије који се добијају из природе и који се могу обнављати у људском вијеку. Њихов нето биланс је увијек позитиван, што указује на чињеницу да је могућа производња увијек већа од потрошње (Миленић и Врањеш 2015). Основна предност обновљиве енергије у односу на остале видове енергије јесте њена нешкодљивост према природи и човјеку, односно заштита животне средине приликом њихове експлоатације. Како савремене климатске промјене пријете да угрозе планету, примјена обновљивих извора енергије у односу на све комерцијалне изворе енергије је најприхватљивија.

Термин „климатске промјене“ користи се када се говори о промјенама у клими које се догађају од почетка XX вијека и сматра се да су климатске промјене настале као продукт човјекових активности, а не као посљедица природних промјена које се дешавају у атмосфери. Климатске промјене највише су условљене емисијом штетних гасова у атмосфери, односно развојем енергетског сектора и индустрије. Европска агенција за животну средину (*European Environment Agency, EEA*) процјенила је да енергетски сектор утиче на преко 80% емисије гасова са ефектом стаклене баште. Највећи емитери штетних гасова су уједно најразвијеније, али и најмногољудније земље (Кина, САД, Европска унија, Индонезија, Индија). Као водећи извори обновљиве енергије на основу степена искоришћености у свијету издвајају се: енергија

биомасе, соларна енергија, енергија вјетра, хидропотенцијал и геотермална енергија. У групу мање искоришћених обновљивих извора енергије спадају: енергија плиме и осеке, енергија морских таласа и струја, као и енергија биогаса. Убједљиво највећи укупни свјетски потенцијал припада соларној енергији, која има потенцијал од 23.000 TW годишње, слиједи је вјетар са 25–27 TW годишње, док сви остали видови обновљиве енергије остварују потенцијал до 10 TW годишње. Геотермална енергија као један од видова обновљиве енергије има потенцијал од 0,3–2 TW годишње (Perez and Perez 2009).

Геотермална енергија представља јединствен извор обновљиве енергије чије се главне предности огледају у лакој начину коришћења уз релативно једноставну и јефтину технологију. Назив „геотермална енергија“ потиче од грчке ријечи *gea* – земља и *termos* – топлота. Једна од општих дефиниција геотермалне енергије у енергетском смислу гласи: „Геотермална енергија представља онај дио геотермалне топлоте који се може употријебити као корисна топлота за њено директно коришћење или претварање у друге видове енергије“ (Миљивојевић 1989).

Геотермална енергија представља топлотну енергију која је акумулирана у флуидима и стијенским масама унутар Земљине коре. Потенцијали геотермалне енергије изузетно су велики. Укупна топлота акумулирана у унутрашњости Земље је реда величине $12,6 \times 10^{24}$ MJ, а у Земљиној кори $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Dickson and Fanelli 2004). Наравно, ова укупна топлотна енергија је лимитирана на зоне гдје геолошки услови то дозвољавају, посебно гдје флуид, тј. вода или водена пара могу да трансферују топлотну енергију из дубоких врелих зона ка површини (Allen et al. 2003). Укупна просјечна густина топлотног флукса¹ који потиче из Земљине унутрашњости износи око 80 mW m^{-2} . Ова топлота потиче највећим дијелом од температуре Земљиног језгра ($4.000 \text{ }^\circ\text{C}$ на 6.000 км дубине), као и радиоактивног распадања стијена и дугоживећих изотопа урана, торијума и калијума. Доказе о Земљиној топлоти дају вулкани, топли извори и друге геотермалне појаве.

Пренос геотермалне топлотне енергије врши се на два начина: кондукцијом и конвекцијом. Топлотна кондукција представља процес којим се топлота шири кроз чврсте материје, течности или гасове у процесима молекуларне интеракције. Вриједност Земљиног кондуктивног топлотног тока процијењена је на око 31 TW, што је скоро половина од укупне количине топлоте која долази из унутрашњости Земље. Топлотна конвекција представља процес при којем топлота тече кретањем маса молекула флуида са једног мјеста на друго.

¹ Топлотни флукс представља брзину преношења топлотне енергије.

Транспорт топлоте који се јавља усљед особине флуида за кретањем јесте конвекција.

Кретање магме типичан је примјер конвективног преноса топлоте (Trkulja i Begović 2008). Преношењем топлоте из Земљиног језгра топе се стијене у Земљиним омотачу и формира се магма. Магма се даље креће према Земљиној кори, носећи топлоту конвективним преносом. Она може тећи као лава, мирно или експлозивно избијајући на површину Земље, или може остати испод површине терена, гријући околне стијене и подземне воде. Загријане подземне воде на овај начин кроз расједне зоне излазе на површину у виду топлих извора или гејзира, али углавном већи дио ових вода остаје заробљен у Земљиној кори, гдје се формирају геотермални резервоари. Под нормалним условима, на дубинама од 1 км до 1,5 км очекивана температура воде је од 30 °C до 50 °C, у геотермалним подручјима температура достиже и преко 150 °C. Хладне подземне воде се у оквиру геотермалног резервоара спуштају на веће дубине, загријавају се и иду ка површини терена, гдје се дренирају. На њихово мјесто долазе нове хладне, углавном атмосферске воде и успоставља се цикличност конвективног трансфера топлоте. У плиткој приповршинској геосредини, кондукција кроз минерале или порне средине и конвекција кроз подземне воде јесу два најважнија механизма топлотног тока.

Главни пренос топлоте кроз Земљино језгро, посебно кроз спољашње језгро, јесте конвекција (што је и логично имајући у виду кретање кроз флуидну течну магму), а након уласка у очврсли омотач и кору, кондукција постаје доминантан начин трансфера топлоте. Поред конвекције и кондукције, и зрачење је један од видова преноса топлоте, али је он са аспекта утицаја на подземне воде и геотермалну енергију мање значајан.

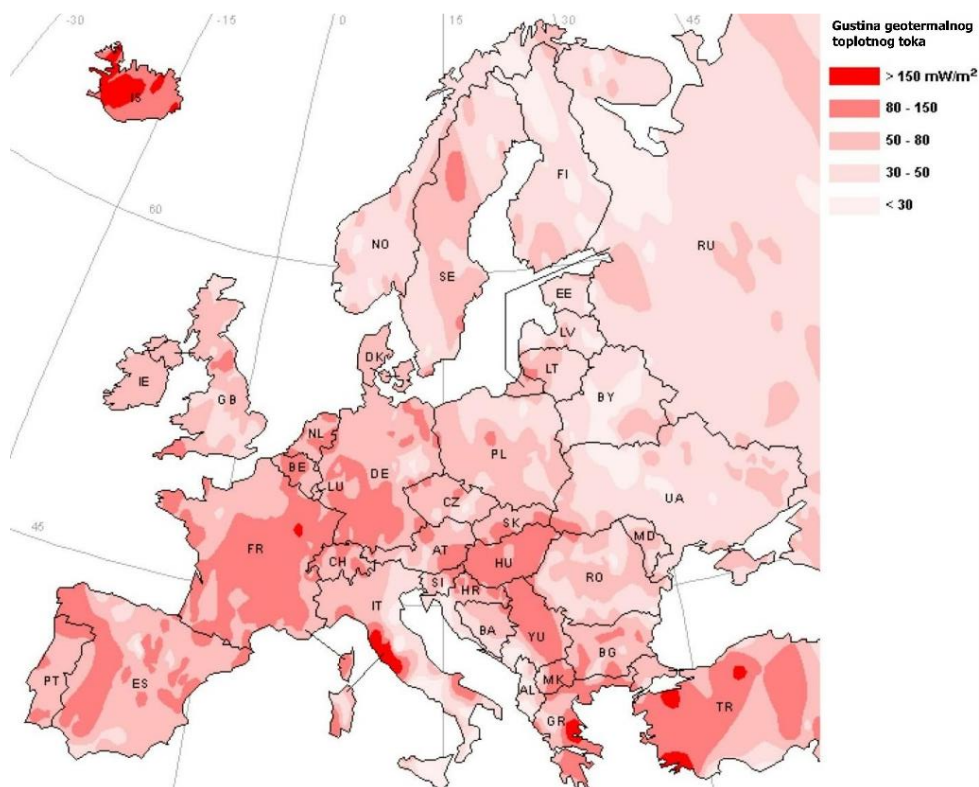
9.1.1. Топлотни ток и геотермални градијент

Топлотни ток, или како се још назива терестрични топлотни ток, представља топлоту која се кондукцијом преноси из Земљине унутрашњости до Земљине површине. Просјечна вриједност Земљиног топлотног тока је реда величине 60–100 mW m⁻², са глобално упросјеченом вриједношћу од око 87 mW m⁻² (Pollack et al. 1993).

Геотермални градијент представља пораст температуре са дубином Земље. Његова просјечна вриједност је око 2–3,5 °C на 100 м (0,02–0,035 K m⁻¹). Прорачун очекиваних температура на неким дубинама коришћењем геотермалног градијента не почиње рачунањем од нуле, већ од средње годишње температуре ваздуха сваког појединачног мјеста на којем се прорачун врши.

Геотермалне карактеристике неког терена, а самим тим и вриједности топлотног тока и геотермалног градијента, зависе од више фактора: дебљине и састава Земљине коре, старости и тектонских активности, врсте магматских процеса, садржаја радиоактивних елемената у стијенама и хидрогеолошких карактеристика.

Максималне вриједности топлотног тока у Европи иду преко 150 mW m^{-2} , док се минималне вриједности крећу испод 30 mW m^{-2} (Сл. 9.1).



Сл. 9.1. Карта топлотног тока Европе (Hurter and Haenel 2002)

Fig. 9.1. Heat flow map of Europe (Hurter and Haenel 2002)

На основу Сл. 9.1. уочљиво је да се на територији Републике Српске вриједност топлотног тока креће у границама $50\text{--}80 \text{ mW m}^{-2}$ и $80\text{--}150 \text{ mW m}^{-2}$ (крајњи сјевероисточни дио Републике Српске). Према искуству сусједних и других земаља у свијету, уложена средства за истраживање геотермалне енергије вишеструко су оправдана, те се у будућности велика пажња мора посветити истраживању геотермалне енергије нарочито бијељинске регије (Беговић и Иванковић 2013).

С обзиром на чињеницу да је енергија основ развоја цивилизације од постанка људског рода, посвећена је и посвећује се изузетно велика пажња производњи свих видова енергије. Општепознато је да се захтјеви за енергијом увећавају из године у годину, као посљедица општег економског развоја, увећања броја становника на планети, увећања броја електричних машина у индустрији и у домаћинствима, скоро свакодневним напретком технологије итд. Све више се, од стране одговорних тијела у међународној заједници, јасно указује, тј. инсистира на неопходности повећања учешћа обновљивих видова енергије: хидроенергије, соларне енергије, енергије вјетра, енергије биомасе, те свакако и геотермалне енергије.

Могућности коришћења геотермалних ресурса у новије вријеме придаје се све већи значај (посебно у смислу могућности производње електричне и топлотне енергије). У свијету је видљиво знатно увећање капацитета за производњу електричне енергије из геотермалних извора, посебно од седамдесетих година прошлог вијека до данашњег дана. Оно што овај извор енергије чини посебним јесте чињеница да геотермална енергија представља обновљив извор енергије, по чему се и разликује од најчешће коришћених фосилних горива (угаљ, нафта, гас, битуминозне стијене) и нуклеарних сировина (уранијум, торијум), чије су резерве ограничене и необновљиве. Посебно треба нагласити еколошку и економску оправданост улагања и коришћења геотермалне енергије, што значи да коришћење није временски ограничено, а има повољан утицај на човјекову – животну средину, што најбоље доказују данашњи трендови повећања учешћа обновљивих и еколошки чистих извора енергије у укупној енергетској производњи.

Резултати досадашњих, прије свих геолошких истраживања, указују на знатно присуство лежишта геотермалне енергије на територији Републике Српске, нарочито у њеном сјеверном дијелу територије (Беговић и Иванковић 2013). Подаци о геотермалним параметрима, односно индикације геотермалне потенцијалности дијелова територије Републике Српске добијени су након бројних геолошких, геофизичких, нафтогеолошких, хидрогеолошких и других истраживања, понекад сасвим споредно. И поред значајне констатоване геотермалне потенцијалности, коришћење потенцијала се до данас своди углавном на балнеолошко-туристичке сврхе. Стога је битно указати на велику апликативност овог вида енергије, која се може користити комплексно и каскадно у различите сврхе. Најраширенија примјена, тренутно код нас и у региону јесте у сврху загријавања, тј. топлификације простора, балнеолошке сврхе, сврхе узгајања агрокултура и аквакултура, у индустријске сврхе као и у сврхе развоја бањског и рекреативног туризма.

У наставку текста се дају предности и недостаци коришћења геотермалних ресурса, а све у циљу њиховог бољег разумијевања (Парађанин и сар. 1995).

Предности коришћења геотермалних ресурса:

- у највећем броју случајева геотермална енергија спада у обновљиве изворе енергије,
- укупни трошкови експлоатације су нижи у односу на друге конвенционалне енергетске изворе,
- ријеч је о чистој и сигурној енергији,
- експлоатација захтијева малу земљишну површину,
- без негативног утицаја на животну средину,
- допринос очувању и штедни фосилних горива, која се могу користити у друге сврхе,
- технолошко надопуњавање бушењем (за нафту и гас) и научним дисциплинама као што су геологија, геофизика, сеизмологија итд.

Ограничења при коришћењу геотермалне енергије:

- знатна иницијална улагања,
- ограничено тржиште услуга на нашим просторима у овој области,
- тешкоће при конверзији и преносу енергије од мјеста захватања ресурса до потрошача,
- неприпремљеност и неповјерљивост инвеститора и конзумента за коришћење овог ресурса као једног вида енергије,
- недостатак финансијских средстава и стручног кадра за програмирање истраживања, истраживање и коришћење ресурса као и заштиту геотермалног ресурса и животне средине.

Све претходно наведено јасно указује на велике могућности коришћења ресурса, али и на неопходност даљег програмирања и пројектовања нових истраживања, уз доистраживања постојећих геотермалних капацитета на територији Републике Српске.

9.1.2. Појам и дефиниција геотермалних ресурса и резерви

Под појмом геотермалних ресурса подразумејева се онај дио расположивог и доступног ресурса који би могао да се експлоатише на економски оправданим и легалним основама у одређеном времену у будућности. Под појмом геотермалних резерви подразумејева се онај дио расположивих и доступних ресурса који се могу тренутно економски оправдано експлоатисати у односу на друге енергетске ресурсе и који су утврђени или доказани

истражним бушењем или другим геохемијским, геофизичким и геолошким методама (Миленић и Врањеш 2015).

Класификација геотермалних ресурса на основу енталпије врши се према температури флуида, односно унутрашњем садржају топлотне енергије. Класификација се врши на: геотермалне ресурсе ниске енталпије код којих је температура флуида мања од 100 °C; геотермалне ресурсе средње енталпије код којих се температура флуида креће у распону 100–200 °C и геотермалне ресурсе високе енталпије код којих температура флуида премашује 200 °C (Benderriter and Cormy 1990).

Геотермални ресурси, тј. геотермални системи, представљају просторе у Земљиној кори гдје се у ограниченом простору, тј. издани (естиферу) акумулира геотермална енергија. Три основна елемента која чине геотермални систем су: извор топлоте, резервоар и флуид који преноси топлоту (Dickson and Fanelli 2004). Извор топлоте може бити магматска интрузија, аномална вриједност геотермалног топлотног тока или пак утицај геотермалног градијента са порастом дубине. Резервоар је представљен водопропусном стијеном из које циркулишући флуид извлачи топлоту – то је заправо издан у којој егзистирају подземне воде, а с обзиром на то да је ријеч о геотермалним водама, та издан се назива естифер. Трећи елемент који чини геотермални ресурс, тј. систем јесте флуид који преноси топлоту, а то су подземне воде. Од свих наведених елемената једино прва компонента, тј. извор топлоте, мора да буде природан, док остала два елемента могу бити формирана вјештачким путем.

У зависности од температуре геотермалног флуида, зависи и могућност примјене у различите сврхе. Геотермална енергија прије свега користи се у сврху добијања топлотне енергије, а при вишим и високим температурама користи се и у сврху добијања електричне енергије. Доња граница која се узима као ограничавајућа за производњу електричне енергије износи 100 °C. Ова подјела је глобално примјенљива, али с обзиром на то да је расподјела геотермалних ресурса неједнака у свијету, многе земље врше подјелу геотермалне енергије на основу температуре флуида у складу са ресурсима који се акумулирају на одређеној територији или региону.

С обзиром на то да је на територији Републике Српске доказано постојање геотермалних ресурса ниске енталпије, тј. постоји велики број термоминералних појава са температуром преко 20 °C, за класификацију термалних ресурса на основу температуре, користи се класификација настала у Републици Србији за потребе квантификовања геотермалних ресурса (Стевановић и сар. 2010; Миленић и Врањеш 2015), а та подјела гласи:

- субгеотермална енергија (до 30 °C),

- геотермални ресурси у ужем смислу (30–100 °C),
- геотермални ресурси температуре преко 100 °C.

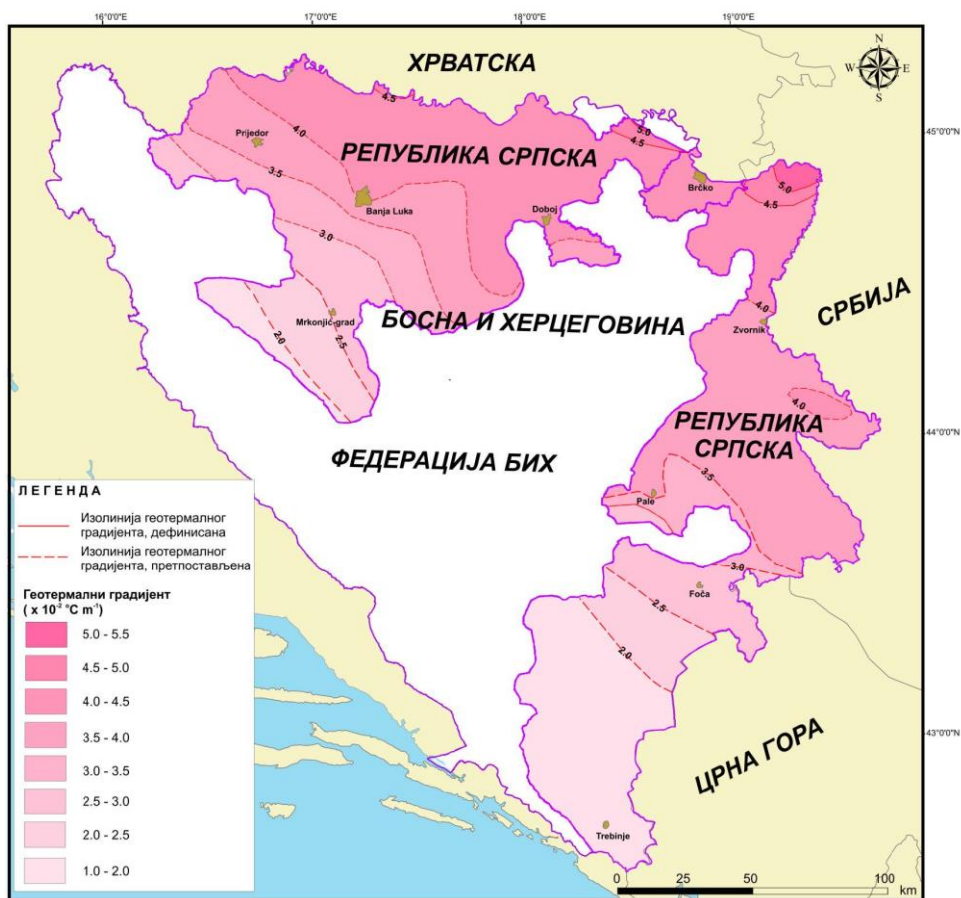
Субгеотермални извори енергије заправо представљају вид хидрогеотермалне енергије ниске енталпије акумулиран у подземним водама чији температурни распон износи до 30 °C и чија су експлоатација и коришћење условљени примјеном геотермалних пумпи (Milenić et al. 2010). Термин суб преузет је из латинског језика и користи се у смислу значења *испод*, *близу* и *сл.*, што говори да овај вид енергије представља геотермалну енергију акумулирану на релативно малим дубинама испод Земљине површине. Распољивост субгеотермалних ресурса везана је углавном за дубине до 200–300 м од површине терена и на територији Републике Српске није равномјерно распоређена.

Субгеотермална енергија представља једну мултидисциплинарну област у којој се приликом хидрогеолошких и хидрогеотермалних истраживања која се везују за хидрогеологију и геологију као науку, ангажују и стручњаци машинске, архитектонске, грађевинске као и еколошке струке.

9.2. Потенцијали и геотермалне карактеристике Републике Српске

Територија Републике Српске са аспекта геотермалне енергије може се подијелити у двије различите зоне. Јужни дијелови територије Републике Српске представљају зону Спољашњих Динарида и чине око 25% њене укупне територије. На овим подручјима вриједност геотермалног градијента је ниска, око 20 °C км⁻¹, тако да је овај дио Републике Српске невелике потенцијалности с аспекта истраживања и коришћења геотермалне енергије. Остатак територије Републике Српске (75%) има нешто већу потенцијалност и веће вриједности геотермалног градијента. У највећем дијелу Унутрашњих Динарида, а нарочито у јужним дијеловима Панонског басена, вриједности геотермалног градијента премашују европску просјечну вриједност, која износи 33 °C км⁻¹. У неким дијеловима Панонског басена (Семберија) ова вриједност прелази чак 50 °C км⁻¹ и тиме се ово подручје сврстава у једно од најперспективнијих у домену геотермалне потенцијалности. Осим ове зоне у сјевероисточним и сјеверним дијеловима Републике Српске, повећане вриједности геотермалног градијента налазе се и у централном дијелу, тачније у зони офиолитског тектонизованог појаса, у којој је регистрован највећи број термалних извора (Чичић и Миошић 1986).

Поред Семберије, која је најзначајнија са аспекта потенцијалности геотермалне енергије у Републици Српској, а уједно и највише истражена, истиче се и бањалучки регион са бројним појавама термалних вода на површини терена. У радијусу од 20 км, у овом региону регистроване су три зоне истицања термалних вода са температуром воде 30–43 °С (бање Шехер, Слатина и Лакташи) (Беговић и Иванковић 2013).



Сл. 9.2. Карта геотермалних градијената Републике Српске (Геолошки завод Републике Српске 2012)

Fig. 9.2. Geothermal gradient map of the Republic of Srpska (Геолошки завод Републике Српске 2012)

Централни дио Републике Српске, који представља зону контакта офиолитског појаса и терцијарних седимената (дуж тзв. „спречанског расједа“), такође је геотермално веома перспективан. Источно и јужно од Добоја регистроване

су термоминералне воде са високим температурама и до чак 40 °C (Беговић и Иванковић 2014а, 2014аб). На Сл. 9.2. приказана је карта геотермалних градијената Републике Српске, на основу које се уочавају геотермално најперспективније зоне (прије свега бијељинска и шира бањалучка регија).

9.2.1. Геотермалне карактеристике Семберије

Семберија је регион који се налази на крајњем сјевероистоку Републике Српске. То је равница која је смјештена између двије велике ријеке, Дрине и Саве, те планине Мајевице и представља крајњи јужни обод пространог Панонског басена.

Семберија представља најперспективније геотермално подручје Републике Српске, а уједно и до сада највише геотермално истражено подручје (Јоловић и сар. 2018). На површини од око 200 км² избушено је 6 бушотина, а свака је дубља од 1.300 м. Најдубља бушотина је БИЈ-1 дубине 2.479 м, а избушена је давне 1984. године. Ранијим истраживањима је утврђено да Семберија и Мачва (Република Србија) представљају један просторни регионални геотермални аквифер, вјероватно са екстензијама у подручју Срема. Према Миливојевић и Перић (1986), минимално распрострањење овог прекограничног аквифера износи 2.000 км². Приликом бушења у овом региону трагало се прије свега за нафтом, а посредно су се (да не кажемо случајно) добиле информације о постојању геотермалних вода. Прва дубока бушотина (дубине 1.345 м) избушена је на локалитету Дворова 1957. године. И дан-данас је у употреби – температура воде је око 75 °C, а самоизлив износи око 7,5 л с⁻¹. Бушотина је завршена у кредним кречњацима. До 1962. године избушене су још двије бушотине С-2 дубине 1.591 м у Поповима и С-3 дубине 1.746 м у Свињаревцу. Овим бушотинама нису регистроване појаве термалних вода. Током 1983. године започето је бушење БИЈ-1; бушотина је завршена на дубини од 2.479 м услед хаварије и није достигла своју предвиђену дубину од 4.000 м. Због хаварије која се десила, воде нису тестиране ни према квалитету ни према квантитету, али се на основу бушења претпоставља да је на дубинама од 2.500 м могуће добити знатну количину воде са температуром преко 100 °C (Миошић 1985). Даље, 1988. започето је бушење прве намјенски геотермалне бушотине ДВ-1, недалеко од бушотине С-1, када су се очекивале температуре и количине веће од оних регистрованих на бушотини С-1, али резултати су били сличних вриједности. Због недостатка материјалних средстава ова бушотина никад није у потпуности завршена, тестирана нити зацијевљена, тако да је конзервирана 1989. године и њен данашњи статус је непознат. Сљедећа бушотина била је ГД-2 на локалитету Слобомир. Бушотина је завршена

на дубини од 1.800 м, прошла је кроз терцијарне седименте и стигла до тријаских карбонатних стијена. Температура воде на устима бушотине износила је 73 °С.

Од горе побројаних бушотина у употреби су само двије: једна је на локалитету бање Дворови, а друга на локалитету Слобомира – и једна и друга недовољно искоришћене с обзиром на потенцијал који нуде.

Изведена истраживања на подручју Семберије с правом нам дају слободу да закључимо да је овај локалитет с изузетним геотермалним карактеристикама, да се на дубинама од преко 1.200 м налазе термалне воде температуре од око 70 °С и да се на дубинама већим од 2.500 м очекују воде температуре преко 100 °С, које као такве већ спадају у геотермалне ресурсе средње енталпије (100–200 °С) и могу се користити за производњу електричне енергије или топлофикацију знатне површине територије града Бијељине.

9.2.2. Геотермалне карактеристике бањалучког региона

Бањалучки регион захвата површину од неких 96,2 км² око ријеке Врбас. Центар града налази се на надморској висини од 163 м и окружен је брдима. Град се налази у долини ријеке Врбас, која се налази на прелазу између високих и ниских планинских подручја. Највише планине које окружују Бању Луку су: Мањача (1.214 м), Чемерница (1.338 м) и Тисовац (1.173 м). Рељефно припада подручју динарског орогена.

Бањалучки регион представља други по реду регион у Републици Српској кад је у питању перспективност истраживања геотермалне енергије (Begović 2009; Ivanković and Begović 2009; Marković et al. 2009; Ivanković i Begović 2013). На перспективност овог региона указују повећане вриједности геотермалних параметара. Геотермални градијент бањалучке котлине износи око 40 °С км⁻¹ (изнад европског просјека), а топлотни ток износи 60–70 mW м⁻². Најважнији показатељ потенцијалности с аспекта геотермалне енергије представљају појаве термалних и термоминералних вода на три локације у близини Бање Луке, тј. у Лакташима, Слатини и Шехеру.

Температура воде у Лакташима на термалном извору износи 30 °С (субгеотермална енергија) и извор има минимални капацитет од 15 л с⁻¹, у његовој близини избушене су још двије бушотине Л-1 и Л-2, које дају додатних 30 л с⁻¹ (Институт за грађевинарство "IG" 2009).

У Слатини је регистрована нешто виша температура воде у односу на Лакташе – 43 °С (геотермална енергија у ужем смислу). Средином осамдесетих година

прошлог вијека на овој локацији избушене су двије бушотине и још једна 2008. године. Најдубља бушотина у Слатини је бушотина СЛ-1, дубине 270 м, а посљедња бушена је СБ-4, дубине 205 м. Ове три бушотине (касније бунари) у паралелном раду дају више од 60 л с⁻¹. Набушене воде у Слатини спадају у термоминералне воде са минерализацијом од преко 3,5 г л⁻¹ и високим садржајем СО₂. По хемијском саставу воде су сличније онима регистрованим у Теслићу и Сочковцу код Петрова него термалним водама у Лакташима и Шехеру, а разлог томе је што Слатина, као и Теслић и Сочковац, припада офиолитском појасу. Температура воде регистрована у Теслићу износи 30–38 °С, а у Сочковцу 39 °С.

На локалитету Шехер, или како га још називају Српске Топлице, јављају се бројни термални извори, а избушено је и више бушотина средином седамдесетих година прошлог вијека. Температура воде на том локалитету износи 30 °С (субгеотермална енергија), а ова вода је по хемијском саставу доста слична термалној води у Лакташима. Бушотине које су тренутно у функцији на овом локалитету релативно су плитке (47 м и 74 м) и бушене су у тријаским доломитима. Термоминералне воде на локалитету Шехера налазе се у кањону Врбаса, тј. у тектонски уклијешеној зони врбаског расједа уз границу са динарским офиолитским појасом на сјеверу.

Најдубље бушотине које су се бушиле у бањалучком региону нису прелазиле 500 м дубине и стога је услед недовољно података незахвално говорити о примарном аквиферу термалних вода као и резервоару геотермалне енергије; до сада је само утврђено да он постоји, а систематским истраживањима, за које се надамо да ће се десити у ближој будућности, требало би детаљније истражити и утврдити геотермални потенцијал овог региона (Беговић и Иванковић 2014а).

Поред ова два издвојена региона (семберски и бањалучки регион), која су окарактерисана као најпотенцијалнија са аспекта геотермалне енергије, постоје и локалне појаве геотермалних вода повишене температуре у осталим дијеловима територије Републике Српске које завређују пажњу. То су прије свега територија општине Теслић (бања Врућица), Вишеград (бања Вилина влас), Нови Град (бања Љешљани), Прњавор (бања Кулаши), локалитет општине Петрово (Бољанићи – Какмуж) и многи други (Иванковић и сар. 2015; Ivanković i sar. 2015).

9.3. Субгеотермални енергетски ресурси ниске енталпије, валоризација и њихов значај

Оно што може да се закључи на основу бројних појава термалних и термоминералних вода на подручју Републике Српске јесте да одређени дијелови територије, тј. региони, имају велику потенцијалност геотермалне енергије и погодни су за детаљна истраживања и коришћење геотермалних ресурса. Бројне су појаве термалних и термоминералних вода просјечне температуре од око 39–40 °C, што овај геотермални ресурс сврстава у категорију енергетских ресурса ниске енталпије (температура флуида < 100 °C).

Највеће количине расположивих вода су температуре 20–30 °C и оне се налазе у геолошким формацијама дубине до 300 м и представљају субгеотермалне ресурсе ниске енталпије. Насупрот њима, хидрогеотермални ресурси са температурама изнад тих вриједности углавном су везани за магматске и метаморфне масиве (са знатно мањим расположивим резервама вода), али и за дубоке басенске структуре.

Горња температурна граница за субгеотермалне ресурсе (30 °C) узета је као температура изнад које почиње тзв. директно коришћење ресурса, односно то је температура до које се хидрогеотермални ресурси експлоатишу уз помоћ топлотне пумпе.

Значај коришћења субгеотермалних ресурса ниске енталпије огледа се у сљедећем (Миленић и Врањеш 2015):

- подземне воде, као носиоци субгеотермалне енергије ниске енталпије, „лаке“ су за захватање, а енергетски ресурс је јефтин за развој и експлоатацију,
- користи се локално расположиви енергетски обновљив ресурс кроз релативно просту технологију,
- могућа је конверзација фосилних горива енергетски обновљивим извором енергије,
- повећање квалитета стања животне средине кроз смањење односно редукацију емисије штетних гасова попут CO₂, CO и SO₂,
- побољшање националног имиџа у јавности и имиџа локалне власти која користи обновљиве енергетске ресурсе,
- финансијска уштеда усљед смањења набавке фосилних горива,
- увођење принципа одрживог развоја, стављање општина на европску мапу градова чија власт улаже и примјењује еколошки приступ планирању будућег развоја,

- коришћење геотермалне енергије се углавном не плаћа, једном добијена дозвола за експлоатацију подземних вода се обнавља.

Потенцијал и резерве многих геотермалних налазишта на простору Републике Српске су неиспитани, те стратегија развоја енергетског сектора Републике Српске треба да се фокусира интензивније на истраживању, а потом и на коришћењу, обновљивих субгеотермалних извора енергије, а нарочито нискотемпературних подземних вода кроз енергетски ефикасне технологије употребом топлотних пумпи. То даље значи да ће сваки хидрогеотермални ресурс са температуром нижом од 30 °C морати да прође кроз систем загријавања, односно подизања температуре уз помоћ топлотне пумпе, али ће и даље бити исплативији у односу на остале видове енергије који су тренутно заступљени у нашој држави и наравно еколошки прихватљиви.

9.3.1. Валоризација субхидрогеотермалних ресурса са еколошког аспекта

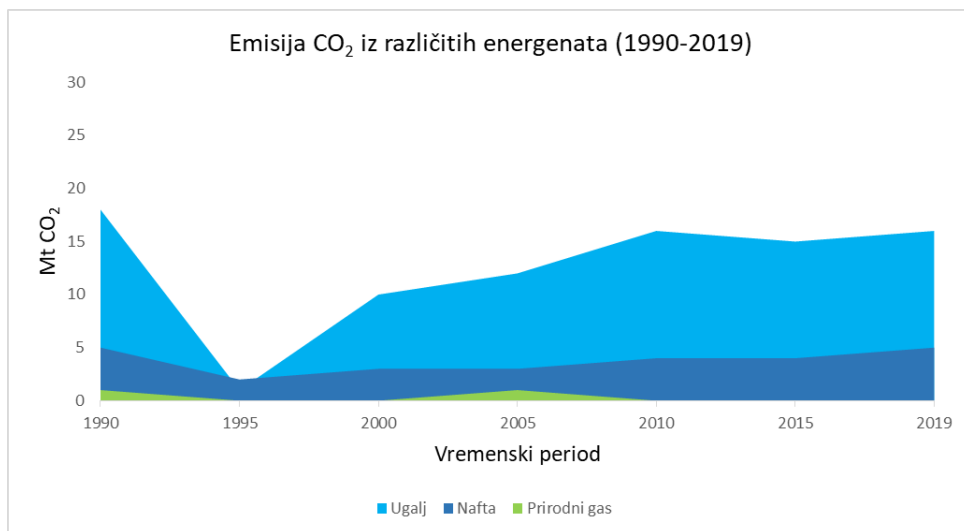
С обзиром на то да смо свакодневно свјedoци да наша планета клизи ка драстичним промјенама климе, примјена било каквих мјера енергетске ефикасности, а нарочито супституција фосилних енергената обновљивим изворима енергије, данас је више него прихватљива и добродошла.

Проблем загађења атмосфере сагоријевањем фосилних горива, пораст емисије CO₂, ефекат стаклене баште, проширење озонских рупа, мијењање климе те константна нестабилност око цијена и набавке нафте и гаса на свјетском тржишту током посљедњих година, довела је у Европи до рапидне експанзије коришћења одрживих и обновљивих енергетских ресурса. Борба против климатских промјена и максимално смањење њиховог учинка један је од приоритета Европске уније, али и сваке државе понаособ. Климатским промјенама у највећој мјери доприноси човјек и његова свакодневна активност, коришћење фосилних, тј. необновљивих извора енергије, који приликом свог сагоријевања штете планети Земљи, односно атмосфери, хидросфери и биосфери.

Од 1751. године сагоријевањем фосилних горива у атмосфери је емитовано око 337 милијарди тона CO₂, од чега је скоро половина емитована од средине седамдесетих година прошлог вијека. Највећа икад забиљежена концентрација CO₂ из фосилних горива десила се 2007. године и износила је 8.365 милиона тона (Boden et al. 2010).

Емитовању CO₂ на простору Босне и Херцеговине, тиме и Републике Српске, убједљиво највише доприноси употреба и сагоријевање угља, потом нафтних

деривата, док се на посљедњем мјесту налази емисија CO₂ настала употребом природног гаса. У 2019. години, максимална емисија CO₂ настала употребом и сагоријевањем угља износила је 16 МТ. У 2019. години, 5 МТ CO₂ емитовано је из нафтних енергената, док емисија CO₂ из природног гаса није регистрована јер се природни гас у посљедње вријеме третира као еколошки прихватљив енергетски ресурс. На Сл. 9.3. приказана је емисија штетног угљен-диоксида за читаву територију Босне и Херцеговине и Републике Српске у периоду од 1990. до 2019. године, према подацима преузетим од Међународне агенције за енергију.

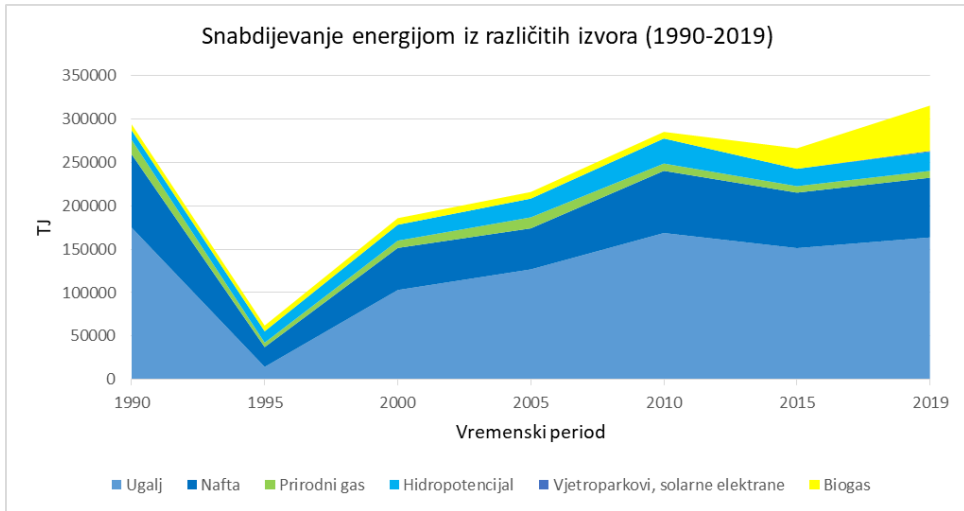


Сл. 9.3. Емисије CO₂ у периоду 1990–2019. године (International Energy Agency 2022)

Fig. 9.3. CO₂ emission by energy sources in 1990–2019 (International Energy Agency 2022)

На Сл. 9.4. даје се приказ снабдијевања енергијом из различитих енергената за период од 1990. до 2019. године на територији Босне и Херцеговине. Убједљиво највише енергије добија се из угља, потом из нафте и нафтних деривата, док се нешто мањи проценат енергије добија из природног гаса. Знатно повећање употребе биогаса као обновљивог извора у производњи енергије уочава се од 2016. године. Тренутно најзначајнији извор обновљиве енергије у Босни и Херцеговини добија се путем искоришћавања снаге већих и мањих ријечних токова – хидропотенцијал, потом искоришћавањем биомасе, тј. биогаса. У 2019. години укупна количина енергије добијена искоришћавањем хидропотенцијала износила је 21.964 ТЈ. Количина енергије добијена из

биомасе за 2019. годину износила је 52.202 TJ. Количина енергије добијена радом вјетроелектрана за 2019. годину износила је 1.022 TJ. Укупна количина енергије добијена из обновљивих извора и даље је знатно мања у односу на енергију добијену из фосилних енергената и не може се очекивати да у скорије вријеме обновљиви извори енергије у потпуности замијене фосилне енергенте, нарочито у индустријској производњи, али је знатна количина смањења штетног CO₂.



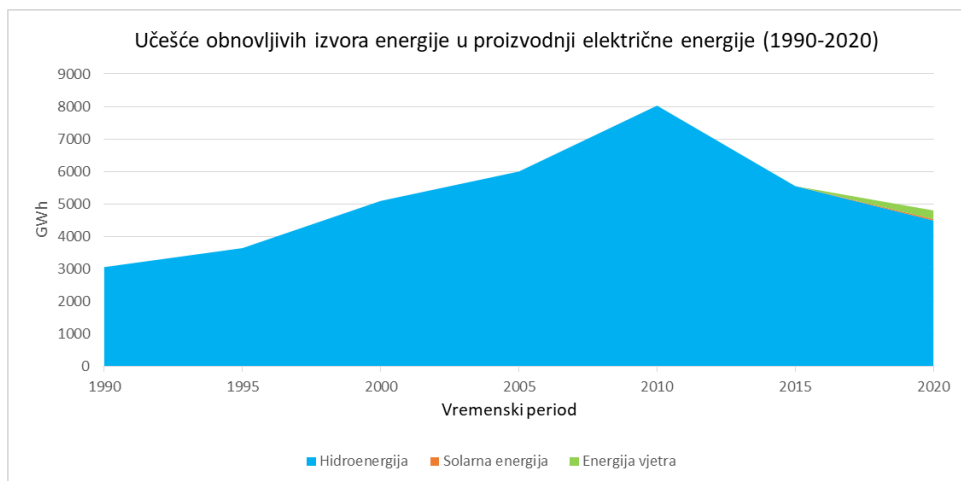
Сл. 9.4. Приказ снабдијевања енергијом из различитих извора у периоду 1990–2019. године (International Energy Agency 2022)

Fig. 9.4. Total energy supply by source in 1990–2019 (International Energy Agency 2022)

Убједљиво највећи емитери CO₂ посљедњих година на нашој територији су сектори за производњу електричне и топлотне енергије, потом индустријска активност и сектор транспорта. Остали емитери су занемарљиви по количинама CO₂ које емитују.

За похвалу је што се од 1990. године па све до 2020. године повећало учешће обновљивих извора енергије (нарочито хидроенергије, потом вјетроенергије и соларне енергије) у производњи електричне енергије. Велики пад овог учешћа у посљедњих десет година десио се 2017. године и износио је свега 18,5%, док је 2020. године учешће било значајно повећано и износило је 35,4%. Соларна енергија почела је да се искоришћава за ову намјену од 2016. године, док је учешће енергије вјетра почело од 2018. године и скоро је дупло веће у односу на соларну енергију (Сл. 9.5). Надамо се да ће се и у будућности проценат обновљивих извора енергије у производњи електричне енергије

повећавати. Биогас, тј. биомаса, највећу употребу има у стварању топлотне енергије и досадашње коришћење у сврху стварања електричне енергије на територији наше земље није познато.



Сл. 9.5. Учешће обновљивих извора енергије у производњи електричне енергије у периоду 1990–2020. године (International Energy Agency 2022)

Fig. 9.5. Renewable electricity generation by sources in 1990–2019 (International Energy Agency 2022)

Коришћењем геотермалних ресурса било за производњу електричне енергије (уколико је то могуће) или за производњу топлотне енергије, емитују се веома мале количине CO₂, за разлику од технологија код којих се као енергент користи угаљ или нафта.

Поред загађења атмосфере и ваздуха, чији смо свјedoци скоро сваког дана, нарочито у периоду зимских мјесеци, велики притисак трпи и хидросфера, тј. површинске, а самим тим и подземне воде, и управо су највећи загађивачи хидросфере из домена енергетског сектора. Живи организми можда највише и реагују на загађење животне средине изазвано коришћењем фосилних енергената. По овом аспекту, просто је питање шта прво изложити: утицај рада термоелектрана и испуштање штетних гасова на околно становништво и утицај на њихово здравље, утицај нуклеарних инцидената на живи свијет, изливања нафте са танкера итд.

Са друге стране, до сада ниједан инцидент везан за угрожавање животне средине није регистрован, нити има могућих предуслова да се деси због

потпуно безопасне технологије истраживања и експлоатације геотермалне енергије, па се лако закључује коју врсту енергената треба бирати и користити у будућности.

Геотермална енергија, поред тога што спада у обновљиве изворе енергије, представља и један од најсигурнијих и најчистијих извора енергије. Можда не може да супституише и потпуно замијени фосилне изворе енергије због простог непостојања геотермалних резервоара у неким дијеловима наше регије, па и свијета, али тамо гдје је има и гдје је њен потенцијал искористив, и више је него препоручљиво њено коришћење.

9.4. Закључак

Геотермална енергија на територији Републике Српске најзаступљенија – најпотенцијалнија је на подручју Семберије и бањалучког региона, али су због недостатка истраживања у ову сврху тачне вриједности резерви геотермалне енергије још неистражене и недовољно утврђене. Потенцијалност ових подручја потребно је потврдити детаљним геолошким и хидрогеолошким систематским истраживањима, јер је већина спроведених истраживања до сада била за потребе проналаaska и експлоатације нафте и нафтних деривата.

Основна предност геотермалне енергије јесте њена „чиста“ употреба и дистрибуција, без до сада утврђених штетних дејстава на човјека и животну средину. Геотермална енергија као један вид обновљивог извора енергије у почетку изискује већа материјална средства за истраживање и налажење геотермалног ресурса, већа иницијална улагања у хидрогеолошке објекте и пратећу опрему која претвара геотермалну енергију у топлотну енергију, али када се сагледају њене предности коришћења са различитих аспеката, почевши од еколошког па до финансијског, закључује се да је исплативост инвестиције улагања у геотермалну енергију оправдана и да се уложено може повратити у првих 4 до 5 година искоришћавања (некада и мање).

Залагањем за супституисање обновљивих видова енергије у домаћинствима и мањим индустријским објектима (бар када је ријеч о климатизацији објеката), држава, као и сваки појединац, може да допринесе очувању животне средине, а посредно и да утиче на смањење штетних гасова који доприносе климатским промјенама. Климатским промјенама у највећој мјери доприноси човјек и коришћење фосилних, тј. необновљивих извора енергије, који приликом свог сагоријевања штете планети Земљи, тј. атмосфери, хидросфери и биосфери. Стога инсистирање на геотермалним, тј. субгеотермалним изворима енергије, као и свим другим видовима обновљиве

енергије, мора да буде приоритет, прије свега државе и власти, а потом и нас као појединаца.

Литература

- Allen A, Milenic D, Sikora P (2003) Shallow Gravel Aquifers and the Urban Heat Island Effect: A Source of Low Enthalpy Geothermal Energy. *Geothermics* 32:569–578. doi.10.1016/S0375-6505(03)00063-4
- Begović P (2009) Hidrogeološke karakteristike banjalučke kotline. Међународна конференција о земљотресном инжинерству 4:247–256
- Беговић П, Иванковић Б (2013) Предстудија и могућности искоришћавања геотермалне енергије ниске енталпије из подземних вода на локалитету кампуса у Бањалуци са приједлогом даљих истраживања. Фондовска документација, Ибис-инжењеринг д.о.о., Бања Лука, стр 27
- Беговић П, Иванковић Б (2014а) Геотермални потенцијал урбаног подручја Српца. Фондовска документација, Ибис-инжењеринг д.о.о., Бања Лука, стр 8
- Беговић П, Иванковић Б (2014б) Извјештај о геолошком саставу тла и геотермалном потенцијалу локације Дома Омладине у Српцу. Ибис-инжењеринг д.о.о., Бања Лука, стр 16
- Benderriter Y, Cormy G (1990) Possible Approach to Geothermal Research and Relative Costs. In: Dickson MH, Fanelli M (eds) *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, pp 59–69. UNITAR
- Boden TA, Marland G, Andres RJ (2010) *Global, Regional and National Fossil – Fuel CO2 Emission, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Tennessee, U.S.A.*
- Геолошки завод Републике Српске (2012) Геотермални атлас Републике Српске. Геолошки завод Републике Српске, Зворник, стр 10–17
- Dickson M, Fanelli M (2004) *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Earthscan, pp 204
- Ivanković B, Begović P (2009) Geothermal Potential of the Banja Luka Region. 5th Congress of Balkan Geophysical Society „Geophysics at the Cross-Roads“, International Conference and Technical Exhibition, October 05 – 08, 2008, Belgrade, Balkan Geophysical Society, Association of Geophysicists of Serbia
- Ivanković B, Begović P (2013) Rejonizacija područja Banjaluke prema mogućnosti korišćenja geotermalne energije niske entalpije za potrebe klimatizacije objekata. IX међународни научно-стручни skup „Savremena teorija i praksa u graditeljstvu“, 11 –12. april 2013, Banja Luka, Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske, Arhitektonsko – građevinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Privredna komora Republike Srpske, Zavod za izgradnju a.d. Banja Luka

- Иванковић Б, Беговић П, Бијелић В (2015) Хидрогеолошка анализа утицаја рудника мрког угља и бентонита на термоминералне воде бање Љешљани. У: Бијелић В (уредник) Рударско-геолошки форум Сребреница 2015: Сребреница, 13 – 15. мај 2015. године, Зборник радова „Стање и даљи правци развоја са посебним освртом на приватизацију, концесионарство и легислативу“, стр 139–144. Савез инжењера рудара и геолога Републике Српске
- Ivanković B, Rajak S, Begović P (2015) Klizišta na teritoriji opštine Prnjavor – uzroci pojavljivanja, geotehnička ispitivanja i mogućnost sanacije. I kongres geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem, 21 – 23. oktobar 2015, Tuzla, Udruženje geologa u Bosni i Hercegovini
- Институт за грађевинарство "IG" (2009) Студија о геотермалним потенцијалима Републике Српске. Институт за грађевинарство „IG“, Бања Лука, стр. 44
- International Energy Agency (2022) IEA. Доступно на: <https://www.iea.org/>, Приступљено: 20. фебруар 2022
- Јоловић Б, Главаш С, Тохол Н (2018) Анализа сектора топлификације и могућа подршка коришћењем геотермалне енергије. Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске, стр 124
- Marković M, Begović P, Pešević D (2009) Ground Water Resources of Lijevče Field as a Potential for Irrigation in Agriculture. WMHE 2009: Eleventh International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, September 01 – 09, 2009, Ohrid, University of Ss. Cyril and Methodius, Faculty of Civil Engineering, Department of Hydraulics, Hydrology and River Engineering, pp 721–728
- Milenić D, Vasiljević P, Vranješ A (2010) Criteria for Use of Groundwater as Renewable Energy Source in Geothermal Heat Pump Systems for Building Heating/Cooling Purposes. Energy and Buildings 42(5):649–657. doi.10.1016/j.enbuild.2009.11.002
- Миленић Д, Врањеш А (2015) Истраживање и валоризација субгеотермалних енергетских ресурса. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, стр 457
- Миљивојевић М, Перић Ј (1986) Геотермална потенцијалност Мачве, Семберије и Срема. XI Конгрес геолога Југославије, књига 5, Српско геолошко друштво (Комитет за геофизику) СИТГМСЈ, Београд
- Миљивојевић М (1989) Оцена геотермалних ресурса територије СР Србије ван територија САП. Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд, стр 458
- Миошић Н (1985) Елаборат о геотермалним истраживањима дубоке истражне бушотине на нафту и плин БИЈ-1.
- Парађанин Љ, Ђајић Н, Солеша М (1995) Производња и коришћење геотермалне енергије. Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, стр 578

- Perez R, Perez M (2009) A Fundamental Look at Energy Reserves for the Planet, Draft for Publication in the IEA/SHC Solar update. Доступно на: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fresearch.asrc.albany.edu%2Fpeople%2Ffaculty%2Fperez%2Fkit%2Fpdf%2Fa-fundamental-look-at%2520the-planetary-energy-reserves.pdf&clen=100842&chunk=true>, Приступљено: 20. фебруар 2022
- Pollack H, Hurter SJ, Johnson JR (1993) Earth Flow from the Earth's Interior: Analysis of the Global Data Set. *Reviews of Geophysics* 31(3):267–280. doi.10.1029/93RG01249
- Стевановић З (Руководилац пројекта) (2010) Оптимизација енергетског искоришћавања субгеотермалних водних ресурса (18008), Пројекат технолошког развоја Министарства науке и технолошког развоја, Београд (трајање Пројекта 2008–2010).
- Trkulja D, Begović P (2008) *Inženjerska geologija i seizmologija u građevinarstvu*. Zavod za izgradnju, Banja Luka, str 218
- Hurter S, Haenel R (2002) *Atlas of Geothermal Resources in Europe*, Publication No. EUR 17811 of the European Commission. Office for the Official Publications of the European Communities, pp 91
- Чичић С, Миошић Н (1986) Геотермална енергија Босне и Херцеговине. Геоинжењеринг, Сарајево, стр 205

Geothermal Potential of the Republic of Srpska and the Possibility of Using Low Enthalpic Subgeothermal Resources in the Function of Climate Changes Prevention

Petar Begović, Branko Ivanković, Dunja Josipović

Summary

Geothermal energy is the part of the geothermal heat that can be used as a useful heat for its direct use or for the conversion into other forms of energy. Geothermal and hydrogeothermal energy are unique sources of renewable energy whose main advantages are in the easy and clean way of use with relatively simple and cheap technology.

The rough division of the territory of Republic of Srpska, from the aspect of potential geothermal energy, was performed during not so extensive research that were carried out in the past and based on the registered occurrences of thermal and thermomineral water that occurs in this area. The division was made into two drastically different zones, the zone of Outer Dinarides – the southern part of the territory of the Republic of Srpska, with relatively weaker geothermal characteristics and the zone of Inner Dinarides and the southern part of the Pannonian Basin – the northern part of the Republic of Srpska with exceptional geothermal characteristics, especially in the Semberija area. The potential of these areas needs to be confirmed by detailed systematic hydrogeological research because most of the conducted research so far has been for the needs of oil and gas discovery and exploitation.

The usage of geothermal energy in our areas and in the region is insufficiently represented and it is reduced just on the spa tourism and in some places for heating facilities, people are still not adequately introduced with this valuable resource that can largely replace nonrenewable energy and thus affect the preservation of the environment and the reduction of climate change.

Keywords: Renewable energy geothermal energy, subgeothermal sources of low enthalpy, climate change

Утицај климатских промјена на водне ресурсе у Републици Српској

Свјетлана Лолић

Сажетак: *Глобално загријавање, уз пораст становништва и интензивну индустријализацију, представља један од најзначајнијих притисака на водне ресурсе на свјетском нивоу. Најзначајнији утицаји климатских промјена који директно утичу на водне ресурсе јесу промјене у дистрибуцији падавина и сњежног покривача, као и повећана учесталост поплава и суша. Анализе средњих годишњих температура у посљедњих шездесет година показале су да тренд повећања просјечне годишње температуре ваздуха на подручју Републике Српске већ постоји, а промијењени су и режими падавина. Период након 2000. године карактеришу смјене веома или екстремно сувих година и година у којима су забиљежене екстремне поплаве. Да би се утврдио утицај климатских промјена на водне ресурсе у Републици Српској, извршена је компарација просјечних годишњих и мјесечних протицаја водотока за период од 1960. године до данас, у зависности од доступних података за поједине водотоке. Ријеке Босну, Врбас и Врбању након 1980. године карактеришу смањена водност, односно ниже вриједности просјечног годишњег протицаја са израженим знатно већим осцилацијама у односу на претходни период.*

Цитирање: Лолић С (2023) Утицај климатских промјена на водне ресурсе у Републици Српској. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:449–475

Cite as: Lolić S (2023) Climate Change Impact on Water Resources in the Republic of Srpska. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:449–475

На сјеверозападу Републике Српске ситуација у погледу водности је другачија: изражена знатна варирања просјечног годишњег протицаја имају и ријеке Уна и Сана, с тим да поређењем просјека за двадесетогодишње периоде ријека Уна има виши годишњи протицај након 2000. године, док код ријеке Сане није забиљежена промјена у односу на референтни период.

Кључне ријечи: Водни ресурси, климатске промјене, просјечан годишњи протицај

10.1. Увод

Вода представља основ живота. Поред чињенице да је неопходна за основне виталне функције свих организама на планети, а самим тим и за функционисање екосистема у цјелини, вода је потребна и за различите индустријске процесе, производњу електричне енергије и пољопривредну производњу, од којих зависи развој друштва у цјелини. Вода свакако представља кључну компоненту како социјалног, тако и економског, али и еколошког развоја, који су међусобно зависни, због чега се јавља обавеза заштите њеног квалитета као и рационалног коришћења. Пораст броја становника на глобалном нивоу, индустријализација, урбанизација, претјерана експлоатација водних ресурса, као и различита загађења природе, стварају велики притисак на водне екосистеме. У посљедњих неколико деценија све се више истиче и утицај климатских промјена, односно присутног тренда глобалног загријавања, који у знатној мјери утиче на доступност и квалитет водних ресурса. Експертска група Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) 2014. године указала је на промјене у водном режиму слатководних ресурса и хидролошким циклусима које су изазване климатским промјенама, при чему је наглашено да су присутне промјене знатно интензивније него што је то било очекивано. Закључак Петог извјештаја IPCC јесте да је дошло до загријавања атмосфере и океана, да се смањила количина снијега и леда, да је порастао ниво океана и да се концентрација угљен-диоксида повећала до нивоа какав није био у најмање посљедњих 800.000 година (IPCC 2014). Најзначајнији утицаји климатских промјена који директно утичу на водне ресурсе су промјене у дистрибуцији падавина и сњежног покривача, као и повећана учесталост поплава и суша.

Према Шестом извјештају IPCC из 2021. године, свака од посљедње четири деценије била је сукцесивно топлија (IPCC 2021). У прве двије деценије XXI вијека (2001–2020) забиљежено је глобално повећање температуре за 0,99 °C (интервал од 0,84 °C до 1,10 °C) у односу на период 1850–1900. Глобална температура била је 1,09 °C виша (интервал 0,95 °C до 1,20 °C) у периоду 2011–

2020. у односу на период 1850–1900. Већи пораст температуре забиљежен је изнад копна и износи 1,59 °C (интервал од 1,34 °C до 1,83 °C), у односу на температуре мјерене изнад океана, гдје је забиљежен просјечан пораст температуре од 0,88 °C (интервал 0,68 °C до 1,01 °C) (IPCC 2021).

Од почетка XX вијека, просјечна температура земљине површине повећала се за 1,2 °C (World Meteorological Organization 2020). Притом је пораст температуре ваздуха на копну скоро двоструко већи од просјечног. Виша температура ваздуха убрзава процесе испаравања воде у атмосферу и повећава њену способност да прима и задржи воду. С повећавањем количине влаге у атмосфери долази и до измијењене дистрибуције падавина, која различито утиче на поједина мјеста на планети. Посљедица убрзаног испаравања је да на неким подручјима може доћи до суше, док се на другим подручјима јавља вишак падавина. Нажалост, у посљедњих неколико деценија све су учесталије екстремне климатске појаве: с једне стране у одређеним регионима су присутне све чешће поплаве и олујно невријеме, док су с друге стране у другим регионима све дуготрајнији и интензивнији сушни периоди. Глобално загријавање доводи до топљења леда на Арктику и Антарктику, што има за посљедицу подизање нивоа мора. На копну се интензивније топе ледници и снијег на високим планинама, што утиче на протицај ријека које извиру у планинским предјелима (Cubasch et al. 2013). Очекује се да ће се повећати водостај великих ријека чија су изворишта у планинским масивима, као што су ријеке Дунав и Рајна. С друге стране, усљед смањења снежних падавина, смањења ледника и споријег обнављања водоносног слоја, љети ће бити мање воде за компензацију ниских протицаја (Кнежевић и сар. 2013). Промјене температуре ваздуха и количине падавина изузетно су важне за биодиверзитет и функционисање екосистема у цјелини. Виша температура ваздуха доводи до повећане стопе евапотранспирације, што утиче не само директно на вегетацију већ и индиректно на водни биланс читавог региона (Alexander et al. 2006).

Пораст температуре ваздуха утиче и на повећану потрошњу воде, па је осим веће количине воде за пиће неопходна и знатно већа количина воде за одржавање пољопривредне производње. Притом се, усљед глобалног повећања температуре, количина воде која је на располагању може знатно смањити. Због тога је вода као ресурс од ког зависи социјални и економски развој, све чешће предмет међудржавних спорова. С једне стране, расте схватање тржишне вриједности воде као робног добра, док с друге стране расте и схватање становништва о значају воде са различитих аспеката и све више се тражи укључивање јавности у доношење одлука о управљању водним ресурсима.

Екстремне појаве изазване климатским промјенама не утичу искључиво на доступност воде и њен квантитет, већ у знатној мјери доводе и до погоршања квалитета воде. У сушном периоду смањује се количина воде услед чега се повећава концентрација суспендованих и свих других материја присутних у води, што има за посљедицу нарушавање њеног квалитета. У случају појаве интензивних падавина, а нарочито кад дође до плављења околних површина, без обзира на то што је присутна већа количина воде него што је уобичајено па је и разблажење веће, спирањем околног земљишта у површинске воде се уноси велика количина честица. Поред тога што се повећава концентрација суспендованих материја, на овај начин у воде доспијевају и загађујуће материје различитог поријекла, ђубрива, пестициди, излива се канализациони садржај итд, што такође доводи до детериорације како површинских, тако и подземних вода. Притом треба напоменути да у постојећим климатским моделима унос загађења у водне системе, инфилтрацијом у аквифере или емисијом у водне токове, као процес нису поуздано симулирани, а знатно утичу на квалитет како површинских, тако и подземних вода.

Подизање температуре ваздуха доводи до загријавања воде, што има за посљедицу интензивнији развој алги и цијанобактерија. Долази до промјена у фенологији и помјерању слатководних врста према сјеверу. Повишена температура воде утиче и на промјену времена прољећног цвјетања алги и цијанобактерија, што даље утиче не само на рибљи фонд већ и на погоршање квалитета воде у цјелини (Декић и сар. 2020). Дакле, климатске промјене поред тога што могу довести до погоршања квалитета и квантитета воде, посредно утичу и на биоценозе које насељавају водене екосистеме.

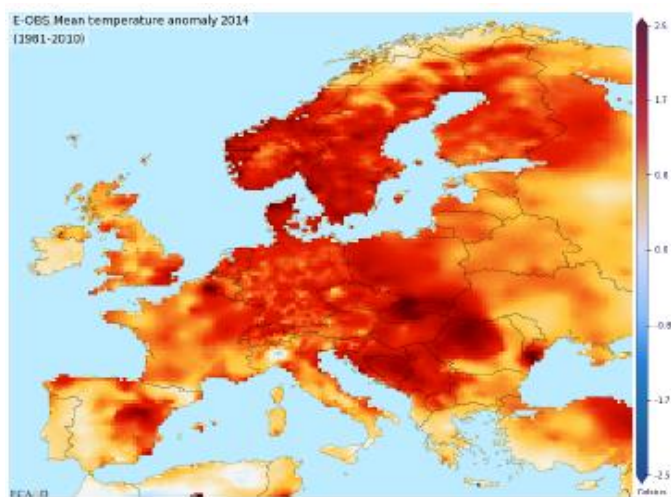
Симулациони модели нарочито издвајају два проблема који у свијету све више долазе до изражаја, а то су суша и недостатак воде. Обје појаве знатно утичу не само на квалитет воде већ и на стабилност како водених, тако и копнених екосистема који у потпуности зависе од доступне воде. Поред утицаја на екосистеме, суша и недостатак воде имају и низ негативних економских посљедица, при чему су највише угрожени пољопривреда, снабдијевање становништва водом за пиће и сектор енергетике (ЈУ Воде Српске 2021а). Услед климатских промјена рашће и потреба за водом. У неким областима, нарочито оним са високим демографским растом, потребна количина воде за наводњавање ће се знатно повећати, при чему се њена доступност може у великој мјери смањити. Климатске промјене условљавају да су потребе за водом високо зависне од прилагођавања у новим условима, а повећање конфликта између корисника воде (домаћинства, пољопривреда и индустрија) с временом ће бити све израженије (Симоновић 2015).

10.2. Утицај климатских промјена на водне ресурсе у Европи

Климатолошки симулациони модели предвиђају све већи број врелих дана и топлотних таласа у будућности, који ће имати за посљедицу повећање интензитета и учесталости сушних периода, али и локално и регионално повећање екстремно обилних падавина. Очекује се да ће климатске промјене имати различите утицаје на воде у Европи у зависности од региона (European Environment Agency 2020). У сјеверној и континенталној Европи очекује се већа количина падавина и повећан ризик од поплава, док ће у јужној Европи периоди суше бити све дуготрајнији, што ће утицати и на смањење протицаја у водотоцима, као и на смањено обнављање воде у аквиферима (водоносном слоју). Средњи годишњи ријечни протицаји повећаваће се на сјеверу и истоку, а смањивати на југу Европе (European Environment Agency 2020). Већ сада се у планинским регионима уочава смањење снијежног покривача и топљење европских ледника, што свакако утиче на водни биланс у низводним подручјима. У односу на средину XIX вијека, ледници на Алпама су се смањили за око двије трећине, а од осамдесетих година XX вијека њихово топљење је знатно убрзано (European Environment Agency 2010). Очекиване су и знатне промјене у догађајима који имају сезонски циклус, са маловодним режимима у љетном периоду, када се очекују све интензивније суше, и великим водама у зимском и прољетном периоду, када ће бити учесталије поплаве у већини ријечних сливова. У наредних тридесет година не очекују се велике промјене у просјечној доступности воде у већини ријечних сливова. Међутим, дугорочни сценарији предвиђају да ће у сјеверној и источној Европи доћи до пораста просјечног годишњег дотока воде, док ће у јужној Европи, а нарочито на подручју медитеранске регије, доћи до знатног смањења доступности водних ресурса (Dakić 2020).

За разлику од бројних других проблема у области заштите животне средине, утицај климатских промјена није географски повезан са њиховим узроцима. Као основне узроке глобалног загријавања научна заједница издваја повећање концентрације гасова у атмосфери који доводе до ефекта стаклене баште. Прије свега то су угљен-диоксид, метан, хлорофлуороугљеници, азот-субоксид и озон, који се ослобађају у атмосферу као резултат различитих антропогених активности, као што су сагоријевање фосилних горива, крчење шума и различити индустријски процеси. Дакле, иако Босна и Херцеговина спада међу земље које имају најнижу вриједност емисија гасова са ефектом стаклене баште по глави становника у Европи, тренд повећања просјечне годишње температуре ваздуха већ постоји, а промијењени су и режими падавина, што свакако директно утиче на постојеће водне ресурсе (Авдић и сар. 2013).

Компаративном анализом температура ваздуха за период 1981–2010. године у односу на период 1961–1990. године утврђено је да се просјечна годишња температура ваздуха повећала 0,4–0,8 °С, у зависности од региона. Просјечна количина падавина у току године статистички се значајно не разликује у односу на ранији период, али је забиљежен повећан број дана са интензивним падавинама, а смањен је укупан број падавинских дана, односно дошло је до промјене годишње дистрибуције падавина, што је резултовало чешћим појавама суша и поплава. У периоду 2000–2012. пет година су забиљежене као веома или екстремно суве, а четири године су пратиле екстремне поплаве (Опрашић и сар. 2016).



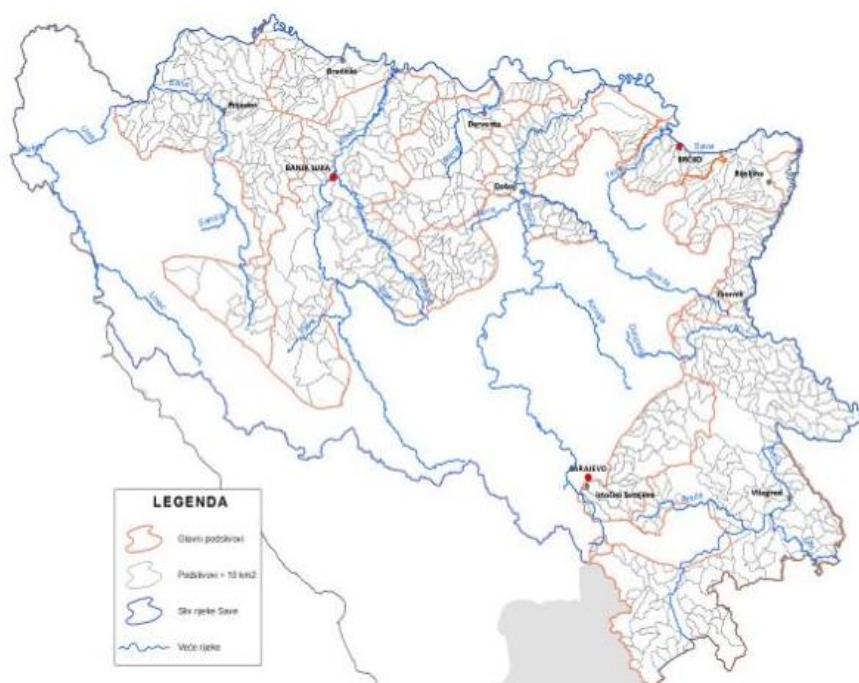
Сл. 10.1. Карта аномалија средње годишње температуре ваздуха за 2014. у односу на климатолошки просјек за период 1981–2010. године (Агенција за заштиту животне средине 2015)

Fig. 10.1. Map of anomalies of the average annual air temperature for 2014 in relation to the climatological average for the period 1981–2010 (Агенција за заштиту животне средине 2015)

На карти аномалија средње годишње температуре ваздуха за 2014. у односу на климатолошки просјек за период 1981–2010. (Сл. 10.1) јасно је видљиво да је Република Српска била један од највише погођених региона у читавој Европи, са просјечном годишњом температуром вишом за 1,1 °С до 1,2 °С у односу на претходни тридесетогодишњи период. Управо у мају 2014. године десиле су се катастрофалне поплаве, које су захватиле не само Републику Српску већ и читав регион, укључујући Федерацију Босне и Херцеговине, Брчко Дистрикт, те дијелове Хрватске и Србије.

10.3. Стање водних ресурса у Републици Српској

У поређењу са европским земљама и шире, Република Српска располаже са знатним количинама водних ресурса. У хидрографском смислу, површинске воде Републике Српске припадају сливовима Црног мора и Јадранског мора. Развође између ових сливова је приближно по гребенима планина: Лебршник–Чемерно–Зеленгора–Лелија–Трескавица–Бјелашница–Битовња–Макљен–Радуша–Цинцар–Шатор–Динара. У подручју карста развође је условљено подземном, веома развијеном, комплексном и разуђеном хидрографијом и није орографског карактера (Влада Републике Српске 2015). Базни реципијент ријека које припадају црноморском сливу је ријека Сава, док су Требишњица и Неретва главни реципијенти јадранског слива. У циљу управљања водама, а у складу са хидрографијом, према Закону о водама Републике Српске, територија Републике Српске је подијељена на два обласна ријечна слива (ОРС): Обласни ријечни слив (дистрикт) ријеке Саве и Обласни ријечни слив (дистрикт) ријеке Требишњице (Сл. 10.2. и Сл. 10.3).

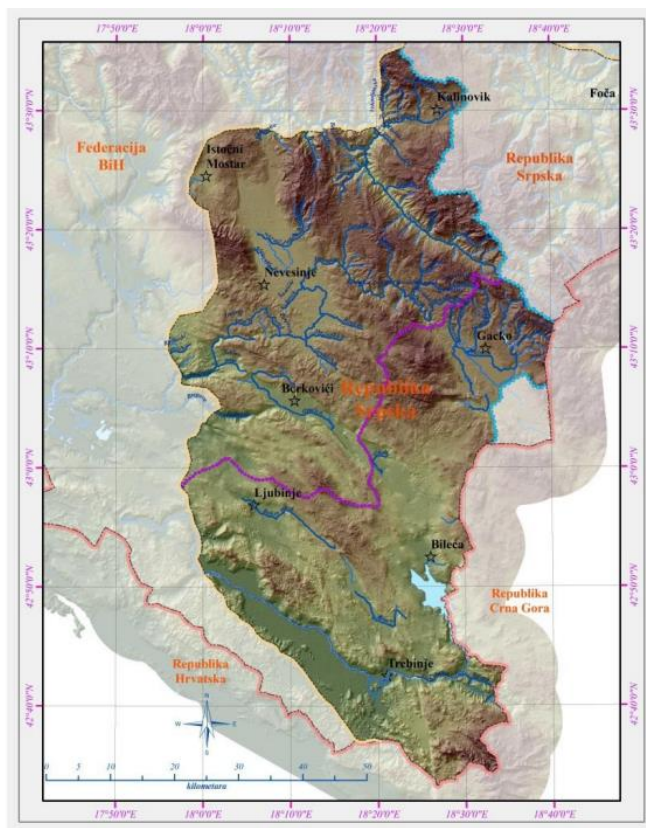


Сл. 10.2. Приказ подсливова >10 км² обласног ријечног слива (дистрикта) ријеке Саве Републике Српске (ЈУ Воде Српске 2017а)

Fig. 10.2. Overview of sub-basins > 10 km² of regional river basin (district) of the Sava River of the Republic of Srpska (ЈУ Воде Српске 2017а)

Обласни ријечни слив ријеке Саве Републике Српске сачињавају подслив ријеке Уне (3.340 км²), подслив ријеке Врбас (3.987 км²), подслив ријеке Украине (1.500 км²), подслив ријеке Босне (3.104 км²), подслив ријеке Дрине (6.146 км²) и остале директне притоке ријеке Саве (2.378 км²). Укупно је присутно 718 водних тијела, од чега су 565 водотоци сливне површине веће од 10 км² (Сл. 10.2). Укупна дужина водотока износи 5.725,5 км. Највећи број водотока припада подсливу ријеке Дрине (233), док је најмањи број водотока на подручју подслива ријеке Украине (49) (ЈУ Воде Српске 2017а).

Обласни ријечни слив ријеке Требишњице (4.058 км²) припада јадранском сливу, а сачињавају га слив Требишњице (1.980 км²) и слив Неретве у Републици Српској (2.078 км²). Чине га укупно 73 водна тијела (Сл. 10.3), од чега су 47 водотоци слива већег од 10 км² (ЈУ Воде Српске 2017б).

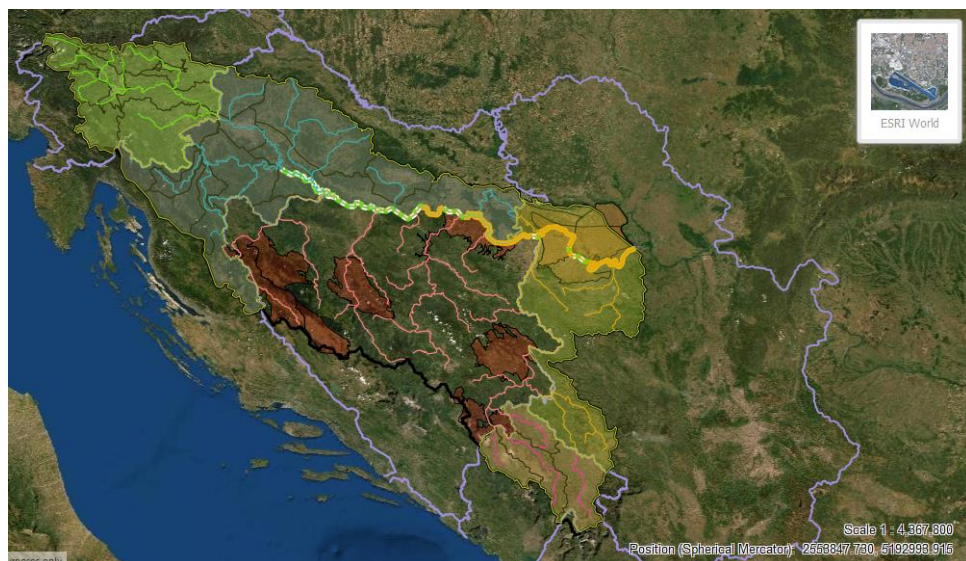


Сл. 10.3. Обласни ријечни слив (дистрикт) ријеке Требишњице (ЈУ Воде Српске 2017б)

Fig. 10.3. Regional river basin (district) of the river Trebišnjica (ЈУ Воде Српске 2017б)

Слив ријеке Требишњице због крашког терена карактерише слабо развијена површинска хидрографска мрежа. Мањи токови пониру и вода се подземним путевима са виших хоризоната прелива на ниже, што за посљедицу има тзв. „слабу доступност воде“. Подручје херцеговачког карста карактеришу карстна поља, која су током године поплављена и по неколико мјесеци. Површинске воде са Гатачког и Фатничког поља се дренирају према Требишњици и Билећком језеру, са Невесињског поља ка Буни и Неретви, док се површинске воде Дабарског поља подземном хидрографијом дренирају према Брегани, која се такође улива у Неретву и припада јадранском сливу (Влада Републике Српске 2015). Важно је напоменути да карстна поља представљају једине обрадиве површине на овом подручју, чија употребна вриједност у потпуности зависи од извора, понора и рецентних акумулација које се ту формирају (ЈУ Воде Српске 2017б).

Што се тиче подземних вода, групе подземних водних тијела покривају 32,6% површине територије Републике Српске. Најзначајније акумулације подземних вода налазе се у подручју Посавине, Подриња, Семберије и у долинским подручјима доњих токова Уне, Босне и Врбаса, као и на карстном подручју Херцеговине. На подручју слива ријеке Саве Републике Српске (Сл. 10.4) заузимају површину од око 8.055 км² (ЈУ Воде Српске 2017а).



Сл. 10.4. Приказ подземних водних тијела (дистрикта) ријеке Саве Републике Српске (Sava GIS Geoportal 2015)

Fig. 10.4. Overview of groundwater bodies (districts) of the Sava River of the Republic of Srpska (Sava GIS Geoportal 2015)

Иако је Република Српска релативно богата водним ресурсима, постојање неравномјерне просторне и временске расподеле вода услед неравномјерне дистрибуције падавина знатно утиче на њену расположивост. Просјечне годишње падавине у сјеверним дијеловима Републике Српске су релативно ниске и износе 750–850 мм годишње, при чему се највећа количина падавина јавља у прољетним мјесецима. Плувиометријски режим у Републици Српској доста је измијењен, што има за посљедицу да у току исте године долази и до појаве поплава и до суше (ЈУ Воде Српске 2017б).

Праћење квалитета површинских вода на подручју Републике Српске системски се спроводи од 2000. године при чему програм мониторинга обухвата процјену еколошког, хемијског и укупног статуса. Иако је мониторинг проширен и на водна тијела мањих сливних површина, и даље се спроводи на мање од 15% укупног броја водних тијела. Фреквенција спровођења мониторинга на појединим водним тијелима је, такође, испод прописане, што знатно смањује поузданост добијене оцјене статуса површинских вода. Основни разлог за неиспуњавање предвиђених обавеза јесу ограничена финансијска средства, али и недовољна техничка опремљеност као и недостатак људских ресурса. За она водна тијела на којима нису спроведена истраживања вршена је процјена ризика од недостизања циљева животне средине.

Према Плану управљања обласним ријечним сливом ријеке Саве Републике Српске, на основу резултата мониторинга површинских вода у периоду 2009–2014. године, извршена је оцјена статуса водних тијела у Обласном ријечном сливу ријеке Саве Републике Српске за 62 водна тијела, што представља свега 8,6% укупног броја водних тијела у Републици Српској (ЈУ Воде Српске 2017а). За 656 водних тијела за која није рађен мониторинг, оцјена статуса је извршена на основу анализе процјене ризика, при чему је као мјеродаван показатељ узиман најнеповољније оцијењени идентификовани притисак. За највећи проценат водних тијела (48%) оцијењено је да имају добар статус. Висок статус има 1%, умјерен 17%, а чак 34% водних тијела има лош статус. Најчешћи узроци лоше оцијењеног статуса водних тијела су повишене вриједности биолошке и хемијске потрошње кисеоника, концентрације азотних једињења, укупног фосфора, концентрације суспендованих материја или вриједност биотичког индекса за макроинвертебрате.

Од укупно 73 водна тијела која припадају подручју Обласног ријечног слива ријеке Требишњице, 13 представља знатно измијењена водна тијела. За 60 природних водних тијела процијењено је да 46 има висок статус и 14 добар укупни статус (ЈУ Воде Српске 2017б). Притом је мониторинг спровођен на

укупно пет мјерних профила, док је за остала водна тијела оцјена статуса извршена на основу анализе процјене ризика.

Што се тиче подземних вода, генерално се може констатовати да системски мониторинг подземних вода (квантитативни и квалитативни статус подземних вода) на територији Републике Српске још није у функцији и нема доступних адекватних података. Сва досадашња испитивања су углавном била усмјерена на провјеру квалитета подземне воде која се користи за водоснабдијевање.

На основу пројектованих климатских промјена према сценарију А1В (Gualdi et al. 2008) у случају Медитеранског слива, очекује се да ће све веће просјечне температуре и смањена расположивост воде још више погоршати тренутну осјетљивост на суше, шумске пожаре и топлотне таласе. Према наведеним пројекцијама климатске промјене ће имати негативне ефекте на запремину годишњег водног биланса на територији читаве Босне и Херцеговине, а нарочито на подручју Херцеговине. Притом треба нагласити да сценарио А1В спада у групу умјерених сценарија, који предвиђа да концентрација CO_2 на крају вијека буде око 700 ppm. Према SINTEX-5 (*Scale Interaction Experiment-5*) и ECHAM5 (*European Centre Hamburg Model 5*) моделима, очекивано повећање температуре на годишњем нивоу на територији цијеле Босне и Херцеговине до 2030. године у односу на период 1961–1990. године износи и до 1 °C. Притом се у љетном периоду очекује раст просјечне температуре и за 1,4 °C, што ће свакако довести и до промјене режима падавина. Док је у централним и планинским предјелима Босне и Херцеговине очекивано благо повећање падавина, у свим осталим предјелима се очекује њихово смањење. У периоду 2071–2100. године очекује се смањење падавина на читавој територији Босне и Херцеговине које ће нарочито бити изражено у љетном периоду. Предвиђа се да ће количина падавина у најтоплијим мјесецима у години износити свега 50% у односу на период 1961–1990. године, што ће се свакако негативно одразити на укупан годишњи водни биланс (Опрашић и сар. 2016).

Водни биланс је у директној вези са хидролошким циклусом као глобалним геофизичким процесом преко кога се остварује глобална трансформација вода између атмосфере, биосфере и хидросфере. Водена пара која се налази у атмосфери кондензује се и враћа на површину земље у облику падавина (киша, снијег, лед). Вода доспјела на површину дјелимично се акумулира у земљишту, површински или подземно отиче у језера и мора, а затим испарава са водених површина или земљишта или кроз биљни и животињски свијет и поново одлази у атмосферу. Све наведене компоненте хидролошког циклуса су мјерљиве величине, које се могу израчунати за одређену површину на бази метеоролошких и хидролошких мјерења.

С обзиром на то да је израда водног биланса неопходна у свим стратешким планирањима, као и за вођење развојне политике Републике Српске у цјелини, Завод за водопривреду из Бијељине је 2011. године израдио студију Анализа биланса вода Републике Српске, у коју су укључени сви водотоци чија је сливна површина већа од 30 км². Неки од параметара помоћу којих је могуће процијенити утицај климатских промјена на водни биланс јесу специфични отицај са сливова и међусливова (изражен у л с⁻¹ км²⁻¹) и протицај (изражен у м³ с⁻¹). Управо је специфични отицај и коришћен приликом израде водног биланса Републике Српске због недовољно изграђене мреже водомјера и недостатка осталих одговарајућих података. Према овој студији специфични отицај читавог слива Уне на ушћу износи 26 л с⁻¹ км²⁻¹, Врбаса 21,7 л с⁻¹ км²⁻¹, Дрине 20,5 л с⁻¹ км²⁻¹, Укрине 13 л с⁻¹ км²⁻¹, Тиње 10,6 л с⁻¹ км²⁻¹ (Таб. 10.1), при чему је специфични отицај нижи у низводним дијеловима ријека који су по правилу и најнасељенији и имају највеће потребе за водом. Ово је нарочито изражено за слив ријеке Дрине, код кога је укупно специфично отицање са цијелог слива 20,5 л с⁻¹ км²⁻¹, док је у доњем току, на подручју Семберије, гдје је развијена интензивна пољопривредна производња и гдје су потребе за водом и највеће, вриједност специфичног отицаја свега 7,0 л с⁻¹ км²⁻¹.

Таб. 10.1. Хидролошки параметри биланса по сливовима у Републици Српској (Влада Републике Српске 2015)

Table 10.1. Hydrological parameters of the balance by basins in the Republic of Srpska (Влада Републике Српске 2015)

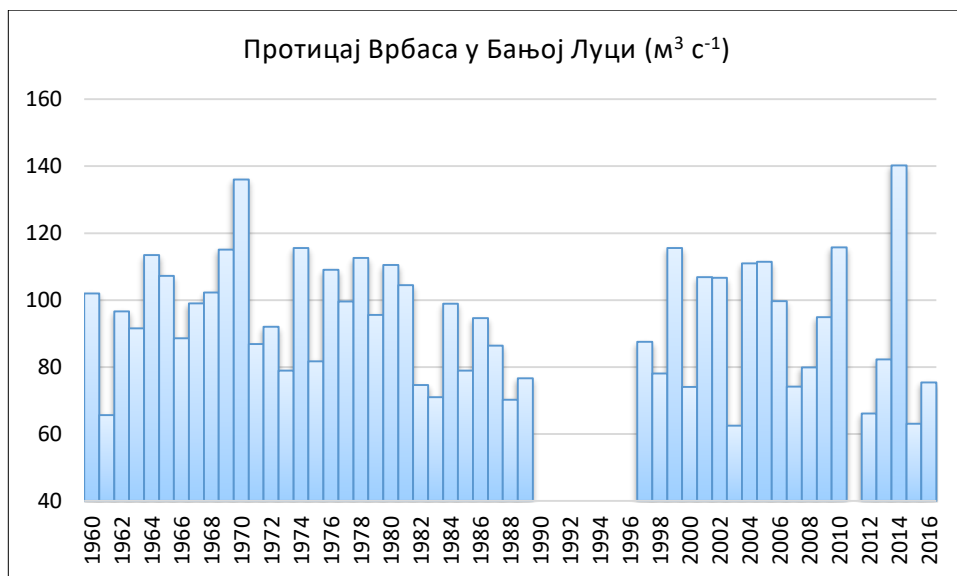
Водоток	Површина слива у Републици и Српској (км ²)	Q _{sr} (м ³ с ⁻¹) ушће	Q _{sr} (м ³ с ⁻¹) у Републици и Српској	Q _{sp} (л с ⁻¹ км ²⁻¹) Специфични отицај у Републици Српској
Уна	3.337	248,5	74,3	22,27
Врбас	3.988	136,0	77,1	19,33
Укрина	1.499	19,8	19,8	13,21
Босна	2.983	180,5	45,6	15,29
Дрина	6.357	406,0	114,6	18,03
Непосредни слив Саве	2.391	27,5	16,5	8,24
Горња Неретва	516		20,3	39,37
Невесињско поље	–		17,0	–
Брегава	–		17,5	–
Требишњица	–		80,0	–
Укупно:	24.667		485,9	19,70

Поред тога, неуједначена просторно-временска дистрибуција падавина има за посљедицу да у сјеверном подручју Републике Српске (Посавина, Лијевче поље и Семберија), у ком живи највећи број становника и који карактерише значајна пољопривредна производња, у топлим љетним мјесецима, када је вода најпотребнија, ријеке имају најниже вриједности протицаја.

Специфичне отицаје на подручју херцеговачког карста је изузетно тешко одредити због саме природе геолошке подлоге, понирања воде и њеног отицања у различитим правцима. Иако су присутне велике количине падавина које у неким зонама износе и 2.500 мм, специфична отицања сливова нису велика: у сливу ријеке Заломке износи $20 \text{ л с}^{-1} \text{ км}^{2-1}$, док специфични отицај Дабарског поља износи $47 \text{ л с}^{-1} \text{ км}^{2-1}$ (Лолић и сар. 2014). Укупно са територије Републике Српске у просјеку годишње отиче око $486 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, док вриједност просјечног специфичног отицања износи око $19,70 \text{ л с}^{-1} \text{ км}^{2-1}$.

Параметар који најбоље презентује водност као карактеристику одређеног сливног подручја јесте просјечан протицај. У сврху процјене утицаја климатских промјена на водне ресурсе Републике Српске поређене су вриједности просјечних годишњих протицаја већих водотока у периоду од 1960. до 2016. године, у складу са доступним подацима за појединачне водотоке.

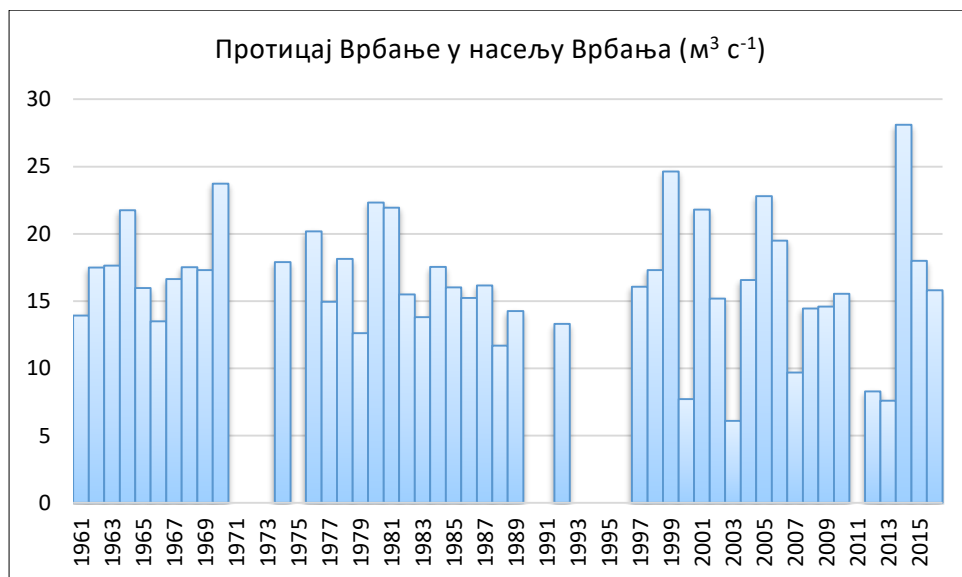
Посматрајући хистограм просјечног годишњег протицаја ријеке Врбас у Бањој Луци за период 1960–2016. године, у првих десет година анализираних периода уочава се тренд раста протицаја, уз изражене осцилације (Граф. 10.1). У наредних пет година, виша просјечна вриједност протицаја је измјерена само 1974. године, након чега је услиједио период од шест година у ком је забиљежен релативно висок годишњи просјечан протицај. Од 1980. године је примјетан опадајући тренд вриједности протицаја уз повремене осцилације. Током ратних дешавања у периоду 1991–1995. године нису вршена редовна мјерења па стога нису доступни релевантни подаци. Поред тога хистограм протицаја од 1996. до 2016. године уочавају се знатно веће осцилације просјечног годишњег протицаја у односу на период од 1960. до 1990. године. Притом је у периоду од 1980. године чак 13 пута забиљежен просјечан годишњи протицај мањи од $80 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, који је у ранијем периоду забиљежен само 1961. године. Нарочито екстремна варирања просјечног годишњег протицаја забиљежена су у периоду од 2012. до 2016. године: након двије сушне године слиједила је поплава 2014. године, када је забиљежена и максимална просјечна годишња вриједност протицаја од $140,2 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, да би наредне двије године опет карактерисао сушни период са просјечним протицајем, који је у 2016. години износио свега $66,1 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$.



Граф. 10.1. Просјечне годишње вриједности протицаја ријеке Врбас на подручју Бање Луке

Graph.10.1. Average annual values of Vrbas River discharge in the Banja Luka area

На ниже вриједности просјечног годишњег протицаја са израженим знатно већим осцилацијама након 1980. године указује и хистограм протицаја ријеке Врбање на подручју насеља Врбања (Граф. 10.2). Просјечан годишњи протицај ријеке Врбање за тридесетогодишњи период од 1961. до 1990. године износио је $17,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, док је у наредном периоду од 1991. до 2016. године на основу доступних података износио $15,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, што износи 90,7% просјечног протицаја у односу на референтни тридесетогодишњи протицај. Евидентан утицај климатских промјена не огледа се само у смањеном годишњем протицају већ и у његовим знатно израженијим варирањима. У периоду од 2000. године пет пута су мјерене знатно ниже вриједности просјечног годишњег протицаја у односу на било коју годину у референтном тридесетогодишњем периоду. Такође, током пет година забиљежена је повишена вриједност годишњег протицаја, са максималном вриједношћу од $28,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, колико је забиљежено током поплавне 2014. године. И на овом хистограму се уочава да су изузетно кишној 2014. години претходиле двије изразито сушне године.



Граф. 10.2. Просјечне годишње вриједности протицаја ријеке Врбање на подручју насеља Врбања

Graph.10.2. Average annual values of Vrbanje River discharge in the settlement of Vrbanja area

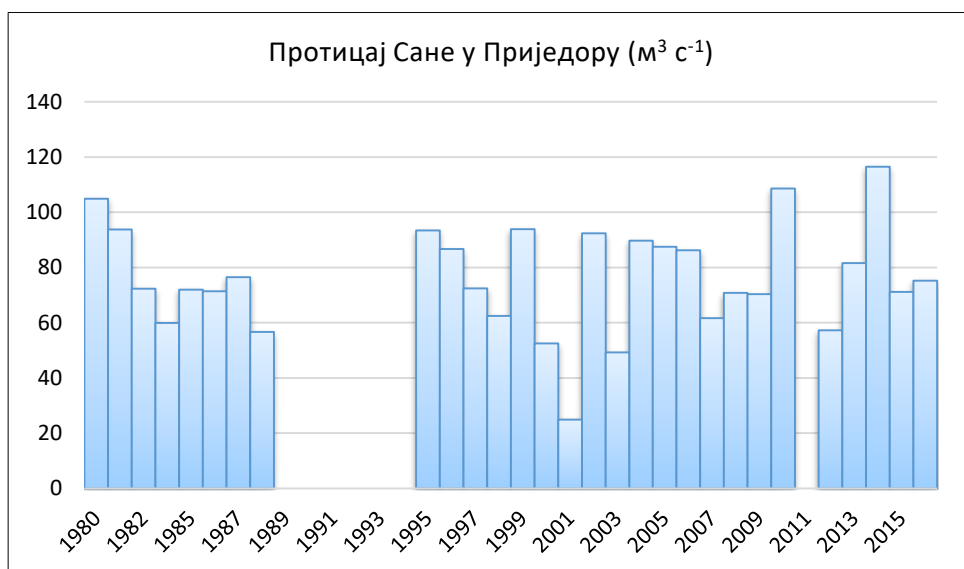
За ријеку Уну на подручју Новог Града подаци о мјерењу протицаја били су доступни само након 1980. године тако да није било могуће извршити поређење са тридесетогодишњим периодом, који препоручује Свјетска метеоролошка организација као референтну вриједност. Из Граф. 10.3. се и у случају ријеке Уне уочавају знатне осцилације просјечног годишњег протицаја, који се кретао од $131,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, колико је износио 1990. године, до $359 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ у 2014. години. Просјечан годишњи протицај ријеке Уне за двадесетогодишњи период од 1981. до 2000. године износио је $204,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, док је у наредном периоду од 2001. до 2016. године на основу доступних података износио $226,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, што одговара повећању просјечног протицаја за 11,1% у односу на референтни двадесетогодишњи протицај.

Слична ситуација је и са ријеком Саном на подручју Приједора (Граф. 10.4): присутне су изражене осцилације просјечног годишњег протицаја, чија је најнижа вриједност забиљежена 2001. године, када је износила свега $24,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, док је у 2014. години износила $116,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, што је скоро пет пута више. Просјечан годишњи протицај за два поређена периода је идентичан и износи $76,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



Граф. 10.3. Просјечне годишње вриједности протицаја ријеке Уне на подручју Новог Града

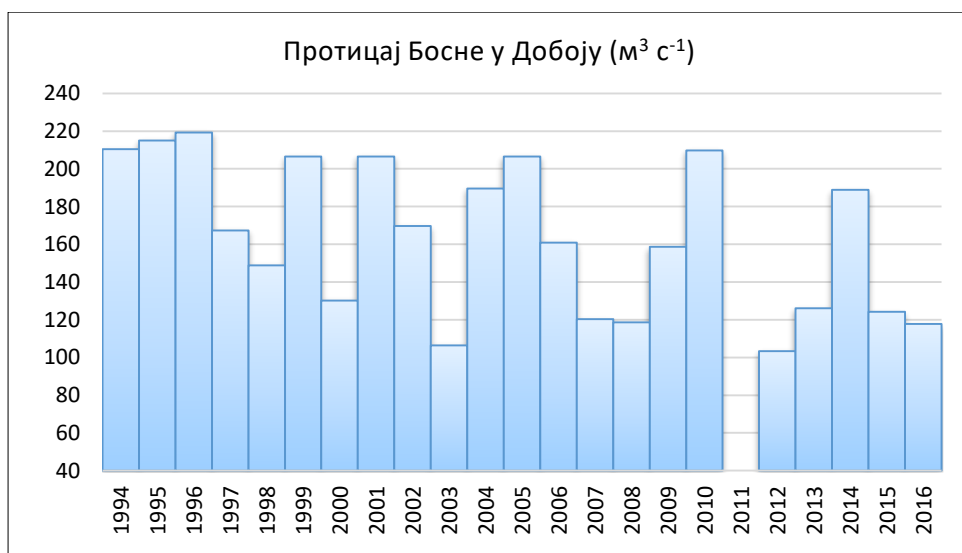
Graph.10.3. Average annual values of Una River discharge in the Novi Grad area



Граф. 10.4. Просјечне годишње вриједности протицаја ријеке Сане на подручју Приједора

Graph.10.4. Average annual values of Sana River discharge in the Prijedor area

За ријеку Босну на подручју града Добоја вриједности протицаја су праћене од 1987. године са изузетком периода ратних дешавања. На Граф. 10.5. се уочава опадајући тренд просјечног годишњег протицаја са израженим осцилацијама. Просјечан годишњи протицај за двадесетогодишњи период од 1987. до 2007. године износио је $170,2 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, док у наредном десетогодишњем периоду од 2007. до 2016. године износио $140,8 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, што указује на смањење просјечног протицаја за чак 17,3% у односу на референтни двадесетогодишњи протицај. Притом је сигнификантно да је 2014. године, када је ријека Босна поплавила подручје града Добоја и када је у мају забиљежена рекордна вриједност мјесечног протицаја од $612 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, просјечна годишња вриједност протицаја је износила $188,8 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$, док је у периоду откад су доступни подаци мјерења чак седам пута имала вриједности изнад $200 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Оваква дистрибуција просјечних годишњих протицаја резултат је великих варирања протицаја на мјесечном нивоу, односно изразито изражених осцилација протицаја у различитим периодима године.



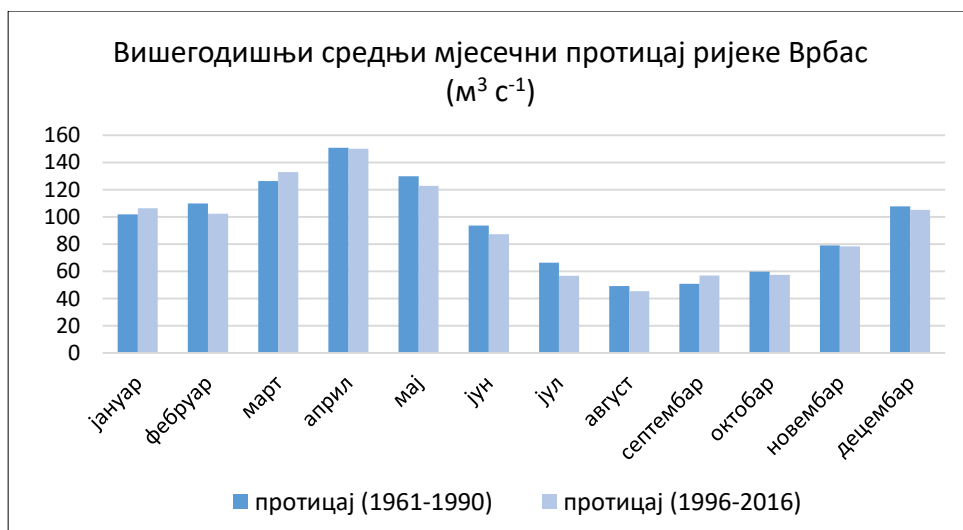
Граф. 10.5. Просјечне годишње вриједности протицаја Босне на подручју Добоја

Graph.10.5. Average annual values of Bosna River discharge in the Doboja area

Будући да вриједност протицаја ријека у току године знатно варира, поред просјечних годишњих протицаја израчунати су просјечни мјесечни протицаји за вишегодишње периоде. Анализа просјечног мјесечног протицаја за ријеке Врбас и Врбању урађена је за два вишегодишња периода: за период 1961–1990. године и за период 1996–2016. године, у складу са доступним подацима.

Како би се уочило постојање везе између климатских карактеристика и водног режима, израђени су графикони на којима се уочавају разлике у просјечном мјесечном протицају водотока током два наведена периода (Граф. 10.6. и Граф. 10.7).

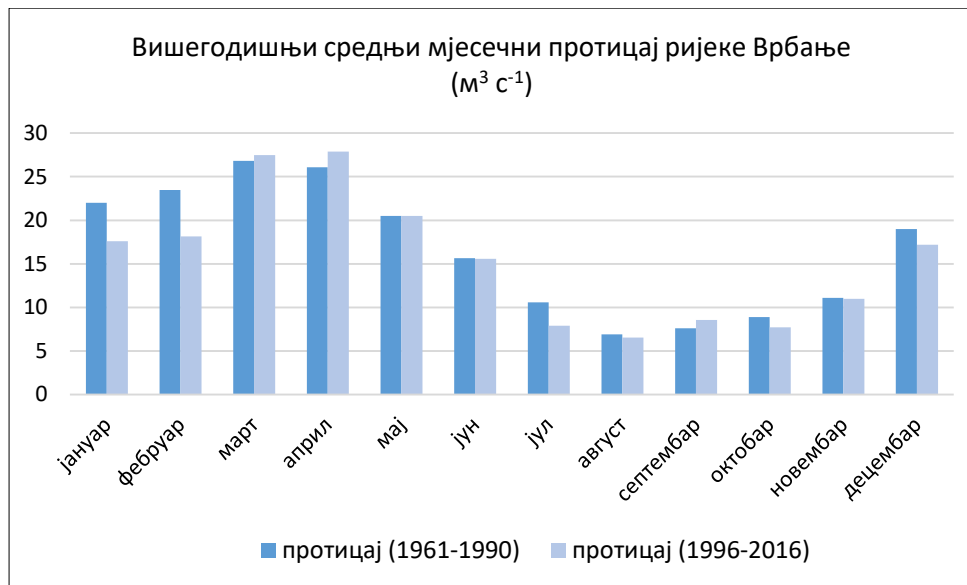
Графикон вишегодишњих мјесечних протицаја ријеке Врбас (Граф. 10.6) указује да су у периоду 1996–2016. године током већег дијела године мјерени мањи средњи мјесечни протицаји у односу на референтни период 1961–1990. године. Изузетак су мјесеци јануар, март и септембар, када су мјесечни протицаји били нешто виши него у референтном периоду. Притом је чак и у мају, када се десила велика поплава 2014. године, вриједност протицаја била нижа него у претходном периоду.



Граф. 10.6. Вишегодишњи средњи мјесечни протицаји ријеке Врбас на подручју Бање Луке

Graph.10.6. Perennial mean monthly discharge of the Vrbas River in the Banja Luka area

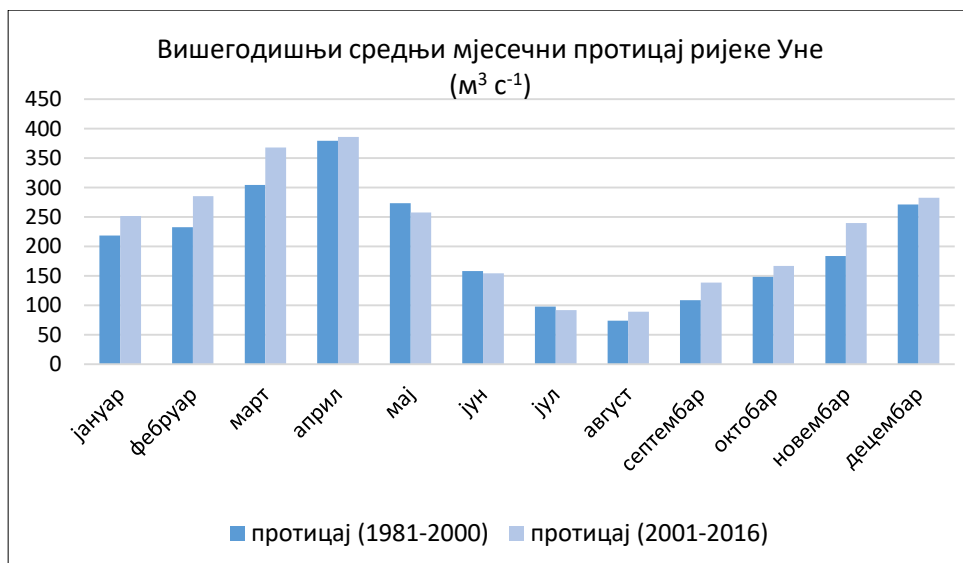
Слични резултати су добијени и анализом поређења вишегодишњих мјесечних протицаја ријеке Врбање (Граф. 10.7). Више вриједности протицаја мјерене су током већег дијела године у референтном тридесетогодишњем периоду, при чему је највећа разлика забиљежена у јануару, фебруару и јулу.



Граф. 10.7. Вишегодишњи средњи мјесечни протицаји ријеке Врбање на подручју насеља Врбања

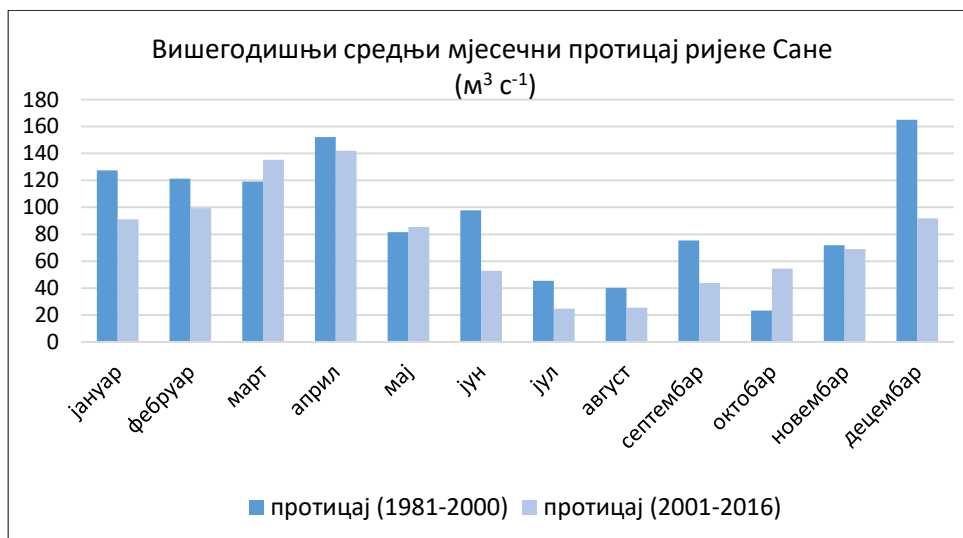
Graph.10.7. Perennial mean monthly discharge of the Vrbanja River in the area of the settlement of Vrbanja

За ријеке Уну и Сану доступни су подаци о мјесечном протицају за период од 1980. године, па је као референтни узет период 1981–2000. године, са којим су поређене вриједности мјесечних протицаја за период 2001–2016. године. За разлику од осталих праћених водотока, ријека Уна биљежи више просјечне вриједности мјесечних протицаја у односу на референтни период (Граф. 10.8). Незнатно ниже вриједности протицаја забиљежене су само у мају и јуну. Као и код осталих водотока, протицај варира током године и највиши је у априлу, а најнижи у августу. Што се тиче ријеке Сане на подручју града Приједора, ниже вриједности просјечног мјесечног протицаја забиљежене су у периоду након 2000. године, при чему је у јануару, јуну, септембру и децембру ова разлика била веома изражена (Граф. 10.9). Током марта, маја и октобра у референтном периоду су забиљежене нешто ниже вриједности мјесечног протицаја, тако да је у коначници просјечан годишњи протицај за ова два периода уједначен.



Граф. 10.8. Вишегодишњи средњи мјесечни протицаји ријеке Уне на подручју Новог Града

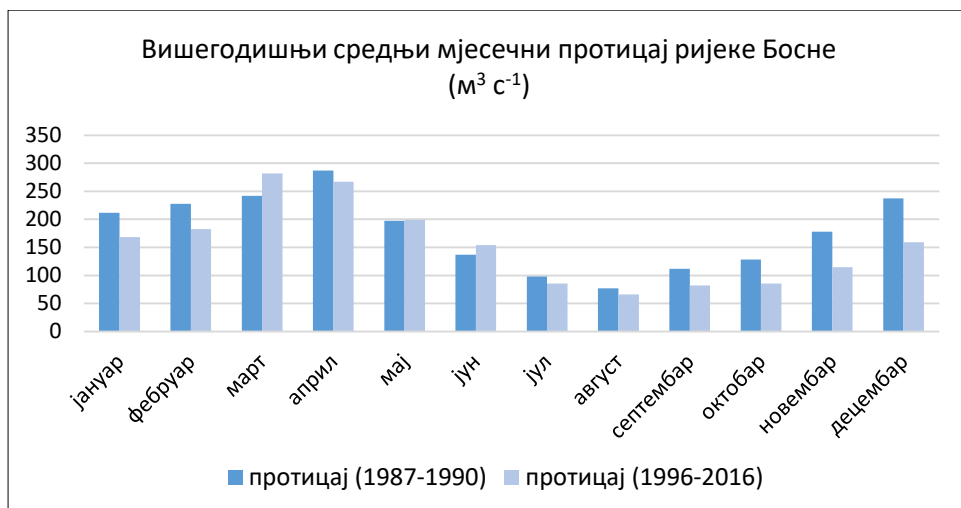
Graph.10.8. Perennial mean monthly discharge of the Una River in the area of Novi Grad



Граф. 10.9. Вишегодишњи средњи мјесечни протицаји ријеке Сане на подручју Приједора

Graph.10.9. Perennial mean monthly discharge of the Sana River in the area of Prijedor

За ријеку Босну су доступни подаци о мјесечном протицају за период од 1987. године, па је као референтни узет период 1987–2000. године, са којим су поређене вриједности мјесечних протицаја за период 2001–2016. године (Граф. 10.10). На хистограму просјечних мјесечних протицаја ријеке Босне уочава се да је током већег дијела године протицај смањен у односу на референтни период. Најизраженија разлика је била током хладнијих мјесеци, док је у верификационом периоду виши протицај забиљежен у прољетним мјесецима, односно у марту, мају и јуну. Притом је и у мају, када је ријека Босна изазвала велику поплаву на датом локалитету и када је измјерена највиша вриједност протицаја откад се уопште врши његово мјерење, та разлика у односу на референтни период била без статистичког значаја. Што се тиче мјесечне дистрибуције протицаја, као и на осталим праћеним локалитетима, највише просјечне мјесечне вриједности су биљежене у марту и априлу, док је у љетном периоду протицај Босне био знатно нижи, са минимално измјереним вриједностима у августу.



Граф. 10.10. Вишегодишњи средњи мјесечни протицаји ријеке Босне на подручју Добоја

Graph. 10.10. Perennial mean monthly discharge of the Bosna River in the area of Doboja

Резултати приказане анализе указују на смањење водности сливних подручја ријека Врбас, Врбања и Босна. На западу Републике Српске ситуација у погледу водности је другачија: у сливу ријеке Уне дошло је до повећања водности, док у сливу ријеке Сане нема статистички значајне разлике између референтног и верификационог периода. За све праћене сливове карактеристично је

присуство сезона које су богатије или сиромашније водом. Највише вишегодишње вриједности мјесечног протицаја забиљежене су у априлу, а најниже у августу. У љетном периоду, када су потребе за водом највише изражене, доступна је најмања количина воде.

Што се тиче подручја херцеговачког карста, усљед неравномјерне дистрибуције падавина, али и геолошке природе терена, јавља се низ специфичности, због чега се вриједности протицаја не могу приказати као што су приказане у сливу ријеке Саве. Херцеговачка крашка поља се, без обзира на релативно високу количину падавина током године, сматрају безводним, будући да вода веома брзо понире па је површинска хидрографска мрежа слабо развијена (Лолић и сар. 2011). Подручје Орјена је карактеристично по томе што представља најкишовитије подручје у Европи. Воде с овог подручја дренажу се у ријеку Заплатницу, која се улива у Сушицу – лијеву притоку Горичког језера. За вријеме великих падавина у Горичко језеро доспијевају таласи великих вода са брзим концентрацијама поводња, које неријетко износе свега један дан. Због тога је неопходно адекватно управљање како не би дошло до изливања ријеке Требишњице на подручју града Требиња. С друге стране, у сушном љетном периоду знатан број водотока на подручју источне Херцеговине у потпуности пресушује. Требишњица је у сушном периоду текла од врела до Дражин дола, а затим је њен ток пресушивао на дужини од 65 км. Ток Заломке пресушује на дужини преко 45 км, а ток Брегаве љети пресуши на дужини већој од 20 км. Ток ријеке Мушнице љети кроз Мало Гатачко поље у потпуности пресушује, а кроз Гатачко поље протицај је минималан. Кроз Попово поље ток Мушнице је трансформисан у стални ток изградњом ХЕ Чапљина (ЈУ Воде Српске 2017б).

Завод за водопривреду је 2020. године израдио Студију економских утицаја климатских промјена на хидроенергетски сектор у Републици Српској – вишенамјенски хидроенергетски систем Требишњица у којој су извршене детаљне хидролошке анализе утицаја климатских промјена на подручју хидросистема Требишњица. За идентификацију је коришћен тридесетогодишњи период од 1961. до 1990. године, што је важећи референтни период Свјетске метеоролошке организације, док су за верификацију коришћени подаци са 18 локалитета за период од 2006. до 2018. године. На основу девет модела направљена је медијана прогнозе за блиску будућност (тридесетогодишњи период од 2021. до 2050. године) и далеку будућност до краја XXI вијека. Студијом је закључено да ће климатске промјене утицати како на температуру ваздуха, тако и на ниво падавина у будућности. Према наведеним прогнозама очекује се повећање падавина у блиској будућности у распону од 3,8% до 17,1% са просјечним повећањем протицаја од 9,1%. Слични резултати су добијени и за далеку будућност: очекивано је повећање падавина у распону

од 3,7% до 17,0% са просјечним повећањем протицаја од 9,2%. На нивое протицаја постоје како утицаји падавина, тако и утицаји повећаних температура ваздуха. Притом се утицаји повећаних температура ваздуха манифестују повећањем испаравања, док се утицаји падавина манифестују утицајем на сливове у цјелини, као и директним утицајем на површине акумулација. У укупном билансу вода, нарочито када су акумулације у питању, повећано испаравање усљед повишене температуре и повећана количина падавина имају супротан ефекат, па је њихово збирно дејство мање од 1% у корист повећања протицаја (Energoprojekt – Hidroinženjering ad. i Zavod za vodoprivredu 2019–2020).

Што се тиче квалитативног аспекта, будући да се системски мониторинг спроводи тек посљедњих 20 година, и то на мање од 15% од укупног броја водних тијела, због недовољног броја података још није могуће утврдити у којој су мјери присутне посљедице утицаја климатских промјена на квалитет површинских и подземних вода на подручју Републике Српске (Лолић и сар. 2019; Rudberg i сар. 2022). Да би се утицај климатских промјена конкретно утврдио, неопходан је дужи период осматрања, који укључује препоручени тридесетогодишњи референтни период, као и мјерење хидролошких параметара и одређивање укупног статуса вода за већи број површинских и подземних водних тијела.

10.4. Закључак

Непобитно је да је антропогени утицај на климу присутан на свјетском нивоу и да су посљедице у виду екстремних појава све чешће изражене. Поређењем просјечних годишњих и мјесечних протицаја одабраних већих водотока у сливу ријеке Саве на подручју Републике Српске у периоду од 1960. до 2016. године, утврђено је да су посљедице глобалног загријавања на водне ресурсе свакако присутне, али да су неуједначене у различитим регионима. Док су у сјеверозападном дијелу Републике Српске просјечни годишњи и мјесечни протицаји виши у периоду након 2000. године, ријеке Врбас, Врбања и Босна имају знатно ниже вриједности протока у односу на референтни период. За све праћене водотоке карактеристичне су знатне осцилације протицаја, које се манифестују смјеном изразито сушних година са годинама у којима долази до поплава. Уколико се под хитно не спроведу мјере којим ће се, ако не у потпуности спријечити, онда бар ублажити негативан утицај климатских промјена, оне веома брзо могу довести до озбиљних и неповратних посљедица на екосистеме у цјелини.

Литература

- Авдић С, Цупаћ Р, Таис М, Јакшић Б, Мухаремовић А, Хусика А, Рајчевић Б, Стојановић Б, Црногорац Ч, Бајић Д, Стефановић Ђ, Војиновић Ђ, Стојисављевић Д, Арнаутовић Аксић Д, Хаџић Е, Купусовић Е, Поповић Г, Тица Г, Чустовић Х, Мочевић К, Володер М, Карабеговић М, Матаруга М, Котур М, Рудан Н, Илић П, Декић Р, Ђато Р, Радић Р, Хоџић С, Ђур С, Поповић С, Јелисић С, Ђурђевић В, Мајсторовић Ж, Јагодић З (2013) Други национални извјештај Босне и Херцеговине у складу са оквирном конвенцијом Уједињених нација. Министарство вањске трговине и економских односа БиХ, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, Министарство околиша и туризма Федерације БиХ, UNDP, GEF, стр 206
- Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aguirre JL (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111(D5):D05109. doi.10.1029/2005JD006290
- Агенција за заштиту животне средине (2015) Воде Србије – у времену прилагођавања на климатске промене. Република Србија, Министарство пољопривреде и заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине, Београд, стр 184
- Влада Републике Српске (2015) Стратегија интегралног управљања водама Републике Српске 2015–2024. Доступно на: <http://www.voders.org/uravljanje-vodama/planski-dokumenti/>, Приступљено: 4. јуни 2021
- Gualdi S, Rajkovic B, Djurdjevic V, Castellari S, Scoccimarro E, Navarra A, Dačić M (2008) Simulations of Climate Change in the Mediterranean Area (SINTA). Final Scientific Report. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, pp 70
- Dakić (2020) Utjecaj klimatskih promjena na vodne resurse u Bosni i Hercegovini. *Elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru* 19/2020
- Декић Р, Голуб Д, Лолић С, Манојловић М, Паспаљ Ј (2020) Физичко-хемијски и биолошки параметри у ојцени квалитета воде ријеке Сане (Република Српска, БиХ). У: Ђукић А (уредник) *Вода 2020: Зборник радова* 49. годишње конференције о актуелним проблемима коришћења и заштите вода, стр 95–106. Српско друштво за заштиту вода
- Energoprojekt – Hidroinženjering ad., Zavod za vodoprivredu (2019–2020) UNDP – BiH Studija ekonomskih uticaja klimatskih promjena na hidroenergetski sektor u Republici Srpskoj – višenamjenski hidroenergetski sistem Trebišnjica. Доступно на: <https://zavodzavodoprivredu.com/studija-ekonomskih-uticaja->

- klimatskih-promjena-na-hidroenergetski-sektor-u-republici-srpskoj/,
Приступљено: 4. јуни 2021
- European Environment Agency (2010) The European Environment — State and Outlook 2010: Synthesis. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/soer/2010/synthesis/synthesis>, Приступљено: 8. мај 2022
- European Environment Agency (2020) Climate Impacts on Water Resources. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources/climateimpacts-on-water-resources>), Приступљено: 16. јун 2021
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, pp 151
- IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds) Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 3–32. Cambridge University Press. doi.10.1017/9781009157896.001
- ЈУ Воде Српске (2017а) План управљања обласним ријечним сливом (дистриктом) ријеке Саве Републике Српске 2017–2021. Доступно на: <http://www.voders.org/upravljanje-vodama/planski-dokumenti/>, Приступљено: 4. јун 2021
- ЈУ Воде Српске (2017б). План управљања обласним ријечним сливом (дистриктом) ријеке Требишњице Републике Српске (2017–2021). Доступно на: <http://www.voders.org/upravljanje-vodama/planski-dokumenti/>, Приступљено: 4. јун 2021
- ЈУ Воде Српске (2021а) Преглед значајних питања управљања водама за обласни ријечни слив (дистрикт) ријеке Саве Републике Српске. Доступно на: <http://www.voders.org/>, Приступљено: 4. мај 2022
- ЈУ Воде Српске (2021б) Преглед значајних питања управљања водама за обласни ријечни слив (дистрикт) ријеке Требишњице Републике Српске. Доступно на: <http://www.voders.org/>, Приступљено: 4. мај 2022
- Кнежевић А, Каплина А, Хусика А, Карингтон Д, Арнаутовић Аксић Д, Џордан Г, Трбић Г, Стритих Ј, Табаковић Л, Котур М, Цупаћ Р (2013) Стратегија прилагођавања на климатске промјене и нискоемисионог развоја за Босну и Херцеговину. Министарство вањске трговине и економских односа БиХ, Министарство околиша и туризма Федерације БиХ, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, UNDP, GEF, стр 94
- Лолић С, Декић Р, Јањић Н, Иванц А, Ерић Ж (2011) Циркануална варирања квалитета воде изворишта у руралном региону Источне Херцеговине. *Агрознање* 12(3):325–335

- Лолић С, Декић Р, Манојловић М, Иванц А, Ерић Ж, Мандић М (2014) Квалитет воде одабраних водотока на подручју Дабарског поља. У: Макић Х, Бећирај А, Ибрахимпашић Ј, Џаферовић А, Талић М (уредници) Други научно-стручни скуп са међународним учешћем „5. јуни – Свјетски дан заштите околиша“ – Зборник радова, стр 106–110. Универзитет у Бихаћу, Биотехнички факултет
- Лолић С, Голуб Д, Декић Р, Манојловић М, Паспаљ Ј (2019) Квалитет воде неких притока ријеке Дрине у Републици Српској (БиХ): микробиолошка и ихтиолошка истраживања. У: Ђукић А (уредник) Вода 2019: Зборник радова 48. годишње конференције о актуелним проблемима коришћења и заштите вода, стр 205–214. Српско друштво за заштиту вода
- Опрашић С, Авдић С, Селманагић Бајровић А, Мухаремовић А, Прашовић С, Трбић Г, Хусика А, Крајиновић Б, Стојановић Б, Зорић, Б, Благојевић В, Ђурђевић В, Тица Г, Бајић Д, Арнаутовић-Аксић Д, Војиновић Ђ, Захировић Е, Кречинић Е, Омерчић Е, Купусовић Е, Вујковић З, Мусић И, Чизмић И, Копрена Ј, Чоловић-Даул М, Таис М, Володер М, Љуша М, Карабеговић М, Матаруга М, Котур М, Рудан Н, Дрешковић Н, Беговић П, Декић Р, Ђњато Р, Радић Р, Хоџић С, Ступар С, Копрановић С, Чустовић Х, Републички хидрометеоролошки завод, Федерални хидрометеоролошки завод (2016) Трећи национални извјештај (ТНС) БиХ и Други двогодишњи извјештај о емисији стакленичких плинова (SBUR) БиХ. Министарство вањске трговине и економских односа БиХ, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, Министарство околиша и туризма Федерације БиХ, UNDP, GEF, стр 257
- Rudberg P, Čengić S, Lolić S, Čaušević A, Pedegimas B (2022) Projekat BiH ESAP 2030+. Treći BH kongres o vodama, 11 – 12. maj 2022, Sarajevo, Udruženje Konsultanata Inženjera Bosne i Hercegovine, Zbornik radova, str 146–157
- Sava GIS Geoportals (2015) 2nd Sava RBM Analysis. Доступно на: <http://savagis.org/map>, Приступљено: 4. мај 2022
- Симоновић С (2015) Управљање водним ресурсима: Нови приступ условљен климатским променама. Воде Србије – у времену прилагођавања на климатске промене. Агенција за заштиту животне средине, Београд
- Cubasch U, Wuebbles D, Chen D, Facchini MC, Frame D, Mahowald N, Winther J-G (2013) Introduction. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds), Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 119–158. Cambridge University Press
- World Meteorological Organization (2020) The State of the Global Climate 2020. Доступно на: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>, Приступљено: 4. јун 2021

Climate Change Impact on Water Resources in the Republic of Srpska

Svjetlana Lolić

Summary

Global warming, in addition to population growth and intensive industrialization, is one of the most significant pressures on water resources worldwide. The most significant impacts of climate change that directly affect water resources are changes in the distribution of precipitation and snow cover, as well as the increased frequency of floods and droughts. Analyzes of average annual temperatures in the last 60 years have shown that the trend of increasing the average annual air temperature in the Republic of Srpska already exists, and precipitation regimes have changed. The period after 2000 is characterized by shifts of very or extremely dry years and years in which extreme floods have been recorded. In order to determine the impact of climate change on water resources in the Republic of Srpska, a comparison of average annual and monthly discharge of watercourses for the period from 1960 until today was performed, depending on the available data for individual watercourses. After 1980, the rivers Bosna, Vrbas and Vrbanja are characterized by reduced water discharge compared to the previous period, i.e. they have lower values of the average annual discharge with significantly higher oscillations. In the West of the Republic of Srpska, the situation is different: rivers Una and Sana also have significant variations in the average annual discharge, but the river Una has a higher annual discharge after 2000 compared to the average for previous twenty-year period, while the average annual discharge of the Sana River has not changed in relation to the reference period.

Keywords: Water resources, climate change, average annual discharge

Утицај климатских промјена на појаву болести и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа

Војислав Тркуља, Андрија Томић, Татјана Поповић, Рената Иличић

Сажетак: Утицаји климатских промјена на штетне организме су сложени из разлога што и други фактори који утичу на њих нису константни већ се мијењају. И поред тога, климатске промјене могу на сличне или различите начине утицати на разне проузроковаче биљних болести и штеточине, у зависности којој групи организама они припадају: гљивама, бактеријама, вирусима, инсектима, нематодама и слично. Код фитопатогених гљива ови утицаји могу се испољити у погледу: промјене биологије; брже еволуције због дужег годишњег доба; појаве нових раса или веће агресивности постојећих врста због рекомбинације гена; мијењања географске распрострањености, било према сјеверној хемисфери или на подручја са вишом надморском висином; интродукције карантинских и инвазивних врста, као и ширења у нова подручја у односу на подручје поријекла; већу продукцију микотоксина и др. За вирусе и бактерије који се преносе векторима од посебног значаја је утицај климатских промјена на присуство, ширење и бројност вектора.

Цитирање: Тркуља В, Томић А, Поповић Т, Иличић Р (2023) Утицај климатских промјена на појаву болести и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:477–517

Cite as: Trkulja V, Tomić A, Popović T, Iličić R (2023) The Impact of Climate Change on the Occurrence of Diseases and Pests of Agricultural Plants and Forest Trees. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:477–517

Позитиван утицај климатских промјена на различите штеточине биљака може се испољити у виду: промјене биологије и појаве већег броја генерација; повећане бројности и плодности; бољег презимљавања; проширеног круга домаћина; интродукције карантинских и инвазивних врста; ширења у нова подручја и друго. Позитивни утицаји климатских промјена на штетне организме најчешће су са негативним ефектом на развој пољопривреде и производњу хране, развој шумарства, биодиверзитета и животну средину – због могућности настанка већих економских штета, као и већих потреба за примјеном пестицида. Климатске промјене, такође, могу утицати и на биљке домаћине, при чему је од посебног значаја њихов губитак природне основе отпорности.

Иако је дошло до напретка у праћењу и разумијевању климатских промјена, остају потребе за многим научним, техничким и институционалним рјешењима за прецизно планирање, прилагођавање и ублажавање ефеката климатских промјена на проузроковаче биљних болести и штеточине, као и биљке домаћине и њихове интеракције.

Кључне ријечи: Климатске промјене, болести, штеточине, пољопривредне биљке, шумско дрвеће

11.1. Увод

Климатске промјене дефинишу се као повећање температура ваздуха и површине копна и мора, у просјеку широм свијета, током периода од тридесет година. Загријавање се изражава у односу на период 1850–1900. године, који се користи као апроксимација преиндустријских температура. Глобално загријавање током декаде 2006–2015. године у односу на преиндустријски ниво процијењено је на 0,87 °C. Тренутно је планета топлија за 1 °C у односу на период прије индустрије (Skendžić et al. 2021). Промјене које су уочене као резултат тога укључују повећање глобалне температуре копна и океана, губитак ледених и сњежних покривача, повећано закисељавање океана, пораст нивоа мора, чешћу појаву температурних екстрема, варијабилније и екстремније падавине, као и чешће појаве касних прољетних и раних јесењих мразева, града, суша и поплава, те екстремних олуја и разорних оркана. Ове промјене се приписују повећаним емисијама антропогених гасова стаклене баште од преиндустријске ере, до којих је дошло усљед интензивирања пољопривредних и индустријских активности, сагоријевања фосилних горива, промјена у коришћењу земљишта, крчења шума и других антропогених учинака (IPCC 2014, 2018; Yoro and Daramola 2020). Процјене експерата су да ће се глобалне климатске промјене, посебно тренд глобалног загријавања,

вјероватно наставити. Према специјалном извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), глобално загријавање ће вјероватно достићи пораст од 1,5 °C између 2030. и 2052. године у поређењу са преиндустријским нивоом уколико загријавање настави да расте тренутним темпом (IPCC 2018). Предвиђа се да ће се глобално загријавање повећавати и да ће се температура до 2100. године повећати за 0,9–3,5 °C (Chakraborty et al. 2000), док ће према неким процјенама загријавање достићи до 5,8 °C током предстојећег вијека (Skendžić et al. 2021). Предвиђа се да ће климатске промјене оставити далекосежне посљедице по Европу, посебно јужну, док се у средњој и источној предвиђа смањење количина љетњих падавина. Комбинација високих температура и слабих падавина доводи до стреса проузрокованог топлотним таласима и сушом (Kudela 2009).

Угљен-диоксид (CO₂), али и други гасови стаклене баште, попут метана (CH₄) и азотних оксида (N₂O), у повећању су, што је један од главних разлога који утичу на промјену климе, која се прије свега карактерише смањењем екстремно ниских и повећањем екстремно високих температура, као и повећањем нивоа мора и обилности падавина у бројним регионима (Skendžić et al. 2021). Исти аутори претпостављају да ће у будућности падавине бити неуједначене и неједнако распоређене, док ће таласи високих температура бити све чешћи и дужи. До повећања падавина долазиће у вишим географским ширинама и екваторијалном Пацифику, док ће се средња количина падавина смањивати у подручјима сувљих регија средњих географских ширина и суптропским регијама. Од преиндустријског периода, 1750. године, концентрација CO₂ порасла је за 280 ppm, те је 2013. године достигла вриједност од 400 ppm, што је била до тада највиша икада измјерена вриједност, након чега је она поново наставила да расте (Chakraborty et al. 2008). До краја вијека се очекује да ће се вриједност концентрације CO₂ утростручити, што представља озбиљну пријетњу за живи свијет (Váry et al. 2015).

На глобалном нивоу климатске промјене имају огроман утицај на пољопривреду уопште, али и на појаву проузроковача биљних болести и штеточина. Организација Уједињених нација за храну и пољопривреду (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*) процјењује да се сваке године у свијету смањи 20–40% приноса гајених биљака усљед штета које узрокују разне биљне болести и штеточине. Такође, FAO предвиђа да ће се глобални губици приноса главних биљних врста за исхрану људи, као што су пшеница, пиринач и кукуруз, повећати за 10 до 25% за сваких 1 °C глобалног просјечног загријавања атмосфере. Губици ће бити највећи у усјевима гдје загријавање поспјешује повећање популације како штеточина тако и патогена биљака (IPPC Secretariat 2021a).

Промјене климе, које укључују повећање температуре и атмосферског CO₂ и учесталост и интензитет екстремних временских флукуација, као што су суша и поплаве, утичу како на појаву и ширење разних врста штетних организама, тако и на отпорност биљака домаћина према њима (Dossa et al. 2015). Промјене у овим климатским варијаблама могу преобликовати отпорност домаћина, као и интеракције биљка домаћин – штетни организам, те на тај начин битно утицати како на просторни и временски развој епидемија болести, тако и на појаву пренамножења и ширења штеточина (Garrett et al. 2006; Crowl et al. 2008; Lević et al. 2013). Због тога је разумијевање ефеката климатских промјена на динамику појаве штетних организама кључно за усвајање одговарајућих мјера за њихово сузбијање, укључујући и програм оплемењивања биљака према овим организмима (Chakraborty and Pangga 2004).

Из свих ових разлога, изузетно је важна анализа фактора који ће указати да ли ће у будућности штетни организми имати већи или мањи негативан утицај на развој пољопривреде и шумарства, биодиверзитет гајених и аутохтоних биљних врста, као и заштиту животне средине на локалном, регионалном и међународном нивоу. Већ данас је евидентно да су глобалне климатске промјене постале значајан фактор који има утицаја на саме штетне организме, њихову интеракцију, реакцију биљке домаћина, као и интеракцију штетни организам – биљка домаћин. Резултати ових анализа ће указати не само на поједине ризике настале усљед климатских промјена већ ће истовремено бити основа за побољшање постојећих или изналажење нових технолошких, оплемењивачких и других мјера за сузбијање штетних организама да би се обезбиједила одржива пољопривреда и довољно хране за стално нарастајућу популацију људи у свијету.

11.2. Утицај климатских промјена на штетне организме и биљке

Климатске промјене на глобалном нивоу знатно утичу на пољопривредне биљке и шумско дрвеће, али и на различите биљне штеточине (инсекте, гриње, нематодe и друге бескичмењаке), као и проузроковаче биљних болести (гљиве, псеудогљиве, бактерије, актиномицете, фитоплазме, спироплазме, рикеције, вирусе, вироиде) директним и индиректним утицајима. Директни ефекти климатских промјена су под утицајем репродукције, развоја, преживљавања, ширења и мијењања одбрамбених способности домаћина, док су индиректни утицаји у вези за односом између штетног организма, околине и других врста,

које могу бити природни непријатељи, конкуренти, вектори, мутуалисти и друго (Prakash et al. 2014).

Варијације у температури и промјене у количинама и распореду падавина могу довести до већих суша или поплава у зависности од географског мјеста. У оваквим условима се сматра да ће аутохтоне биљке бити више осјетљиве на болести и штеточине. У подручјима са повећаним количинама падавина биће израженија епидемија фитопатогених гљива и бактерија, док топлија лjeta могу погодвати више термофилним гљивама. Више температуре током зиме и прољећа утицаће на промјену биолошког циклуса биљака и смањење њихове толеранције, затим на веће преживљавање популације патогена и инсеката током зимског периода, што ће посљедично утицати на веће количине инфекције током сезоне и мање приносе гајених биљака (Skendžić et al. 2021). Сматра се да сваки степен повећања температуре може проузроковати додатно смањење приноса усљед напада штетних инсеката за 10–25% (Shrestha 2019).

Као примјер за разорне посљедице климатских промјена могу се навести поплаве узроковане подизањем нивоа мора, које могу узроковати нестанак ниског земљишта и велике губитке усјева. Други примјер је суша, при чему недостатак нивоа воде у тлу узрокује да биљке губе своје биолошке функције и чак постају осјетљивије на болести и штеточине. Климатски услови доприносе остварењу тзв. „троугла болести“, који укључује присуство осјетљивог домаћина, патогена и погодне услове околине за остваривање инфекције и настанак биљне болести, при чему климатске промјене могу знатно утицати на услове околине, било да су у корист биљке домаћина или патогена. Примјери ових услова укључују росу, кишу, повећану релативну влажност ваздуха, температуру, аерацију (вјетар), влагу земљишта и интензитет сунчеве свјетлости (Zaun 2019).

Животни циклуси, епидемиолошке карактеристике и ширење штетних организама биљака условљени су климатским факторима, као што су сунчево зрачење, температура и падавине. Глобално загријавање и екстремне промјене временских прилика вјероватно ће утицати на животни циклус, епидемиолошке карактеристике и ширење биљних штеточина и болести. Повећање температуре може, на примјер, утицати на повећање плодности и боље преживљавање штеточина током зиме и тако довести до знатног повећања бројности њихових популација. Осим тога, промјене у правцима дувања вјетра, као и појаве урагана и других екстремних временских прилика могу утицати на дистрибуцију штеточина (FAO 2021). Повећани број штеточина биљака може узроковати знатне економске губитке и смањити приносе и квалитет биљних производа, што може резултирати потенцијално великим губицима хране (Hunjan and Lore 2020).

Повећани нивои CO₂ и озона (O₃) у атмосфери и обилније падавине могу имати утицаја на физиологију и структуру биљака, а тиме и већу осјетљивост биљака према штетним организмима. Повишене температуре могу утицати на механизме отпорности биљака и повећати отврдњавање (лигнификацију) њихових ћелијских зидова, што доводи до смањења могућности њихове прераде при производњи хране. Повећана вирулентност биљних патогена и каламитетна појава штеточина у условима климатских промјена може повећати географски опсег у којем се они шире. Олује и повећана количина падавина могу ослабити биљке и узроковати њихову повећану осјетљивост према фитопатогеним гљивама, бактеријама и вирусима (FAO 2021). Биљке у стресним условима као што је суша могу да изгубе своју природну отпорност према штетним организмима (Chakraborty and Pangga 2004; FAO 2021).

Климатске промјене повећавају ризик да штеточине и патогени пронађу повољније климатске услове за даља ширења у нова подручја. Такође, узгој нових биљних врста или нових сорти и хибрида у оквиру већ постојећих врста у условима климатских промјена може додатно олакшати интродукцију, дистрибуцију и утицај штетних организама у таквим областима, посебно имајући у виду непостојања механизма отпорности, који настају услед коеволуције или коегзистенције домаћина и штетног организма током времена. Промјене у популацијама штетних инсеката и патогена присутних у Србији праћене су интензивнијом интродукцијом кукуруза, промјенама климе, посебно у погледу распореда падавина у току вегетације кукуруза, начина гајења и асортимента хибрида у корист отпорнијих према појединим патогенима и штетним инсектима. Све ове промјене имале су знатног утицаја на варирање приноса зрна и биомасе кукуруза у другој половини XX вијека (Ваћа et al. 2005).

Осим тога, процјена је да половина свих новонасталих интродукција штетних организама у нова подручја настаје услед њиховог преноса глобалним транспортом и трговином, чији се обим утростручио током посљедње деценије, док су временске прилике други најважнији фактор за њихово настајање. Стога, већа пажња посвећена анализама ризика од проузроковача биљних болести и штеточина у условима климатских промјена може помоћи у заштити здравља биљака, биодиверзитета и безбједности хране (Trkulja i sar. 2012; Popović and Marković 2020; IPCC Secretariat 2021b).

Глобална употреба и потражња за појединим пестицидима или другим агрохемикалијама може се повећати као одговор на повећано ширење штетних организама у условима климатских промјена, што може узроковати негативне посљедице по здравље биљака и људи, биодиверзитет и животну средину. Активности у пољопривреди и шумарству могу захтијевати промјене

у узгоју биљака и модификације у примјени мјера за сузбијање штетних организама, како би се оне прилагодиле климатским промјенама (FAO 2021). Ове мјере некада могу захтијевати и проширење постојећих и усвајање нових техничких и других знања, посебно у погледу надзора над појавом штетних организама и спречавања њиховог међународног ширења (Popović and Marković 2020; Hunjan and Lore 2020; FAO 2021).

Диверзитет биљака представља важан резервоар насљедних особина отпорности, који може помоћи бољем прилагођавању биљака климатским промјенама и смањењу употребе неких пестицида или ђубрива који могу бити штетни за животну средину. Осим гајених биљака, климатске промјене могу утицати и на способност многих дивљих сродника да преживе на својим стаништима. Због тога је промовисање очувања, размјене и коришћења биљног биодиверзитета широм свијета кључно да би се обезбиједила отпорност усјева и прилагођавање на климатске промјене.

Климатске промјене слабе бројне екосистеме и могу подржати ширење и појаву штеточина и болести. Промјене метеоролошких услова могу довести до биолошких промјена код штеточина и патогена, а такође и утицати на физиологију и структуру биљака, што може повећати осјетљивост биљака према штеточинама и болестима. Повећани ризици од штеточина и болести, деградација екосистема и недостатак воде могу утицати на безбједност хране и средстава за живот и допринијети економским кризама, присилним миграцијама и сукобима.

Спровођење међународних стандарда за фитосанитарне мјере помаже земљама да спријече уношење и ширење разних врста карантинских штетних организама и да очувају биодиверзитет. Очување биодиверзитета помаже у побољшању отпорности биљака и ублажавању утицаја климатских промјена на здравље биљака (IPPC Secretariat 2021b).

11.3. Утицај климатских промјена на биљне патогене

Климатске промјене могу измијенити отпорност домаћина према патогенима мијењајући физиологију домаћина и агресивност патогена. Повећање глобалне температуре утиче на помјерање агроклиматских зона према сјеверу на сјеверној хемисфери или на више надморске висине, мијењајући тако географску дистрибуцију биљних патогена у нова подручја (Popović and Ivanović 2015; Popović et al. 2015, 2019a, 2019b, 2019c; Bodiroga et al. 2017; Perković i sar. 2017a, 2017b; Nikolić et al. 2018; Tomić et al. 2018; Waleron et al. 2019; Iličić and Popović 2020, 2021a; Marković et al. 2021a, 2021b,

2022; Mitrović et al. 2021; Trkulja et al. 2021; Ilić et al. 2022). Притом ће прилагођавање патогена у новом окружењу зависити од брзине њиховог ширења, могућности преживљавања ван вегетационе сезоне и способности да се прилагоде било којој промјени у биологији свог домаћина. Истовремено, у условима промјењене климе могу се појавити агресивнији и отпорнији сојеви постојећих патогена. Утицај на различите групе патогена може варирати у зависности од њихове биологије, нивоа специјализације домаћина, начина преживљавања и ширења и способности да се прилагоде промјенама климе (Hunjan and Lore 2020).

11.3.1. Утицај климатских промјена на фитопатогене гљиве и псеудогљиве

Гљиве и псеудогљиве су најдоминантнија група биљних патогена, која испољава различите начине паразитске интеракције са својим биљкама домаћинима. На патогенезу гљива и псеудогљива у великој мјери утичу преовлађујући атмосферски услови, посебно температура и влага. Температура је критични фактор током различитих животних фаза гљива, при чему свака промјена температуре може знатно утицати на њихову репродукцију, могућност остваривања инфекције, број циклуса инфекције, ширење на краће и веће удаљености, као и преживљавање ван вегетационе сезоне биљке домаћина. Промјена температуре може довести до активације нових екотипова и сојева патогена, што може довести до изненадног избијања зараза епидемијских размјера. Повећање температуре заједно са високом влагом у земљишту ствара топлу и влажну климу, веома повољну за развој гљива и псеудогљива које се преносе у земљишту, као и оних које проузрокују болести надземних органа биљака. Тако, на примјер, повећање температуре околине погодује интензивном развоју и појави *Puccinia graminis*, проузроковача рђе стабљике стрних жита. Такође, повећање температура и продужење годишњих доба може убрзати еволуцију и развој агресивнијих сојева гљива, који настају као посљедица убрзане рекомбинације гена усљед презимљавања полних фаза ових патогена (IPPC Secretariat 2021b). Тако, на примјер, према Coakley et al. (1999) реалан сценарио је да ће повећање температуре ваздуха за 1 °C и смањење падавина за 30% значајно утицати на повећање напада *Puccinia recondita*, проузроковача лисне рђе пшенице, као и *Erysiphe betae*, проузроковача пепелнице шећерне репе.

Током испитивања утицаја температуре на агресивност изолата *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, проузроковача жуте или црточаве рђе стрних жита, Milus et al. (2009) утврдили су значајан утицај температуре на ову особину

испитиваних изолата, као и значајно прилагођавање нових изолата вишим температурама, при чему су нови изолати показали значајнију агресивност према испитиваним сортама стрних жита, као и значајне промјене када је у питању дневни пораст, те вријеме и обилност спорулације. Ово указује на јако добру могућност прилагођавања изолата ове гљиве условима климатских промјена, прије свега повишене температуре ваздуха. Такође, Siebold and von Tiedemann (2012) утврдили су да повећање загријавања позитивно утиче и на фаворизовање појаве неких патогена уљане репице, као што су *Verticillium longisporum*, *Sclerotinia sclerotiorum* и *Alternaria brassicae* у сјеверној Њемачкој. Исти аутори указују и на смањење учесталости појаве и економске значајности *Pyrenopeziza brassicae* у истој регији, док Evans et al. (2010) такође предвиђају смањење појаве напада *P. brassicae* у Енглеској и Шкотској.

Повишена концентрација CO₂ у атмосфери изазива физиолошке промјене у морфологији биљака као што су повећање величине, дебљине и броја листова (Pritchard et al. 1999). Међутим, повећање концентрација CO₂ може да утиче двојако на патогене и биљке домаћине, некада повећавајући отпорност биљака, а некада је смањујући.

Повећањем концентрација CO₂ у атмосфери долази до промјена на биљкама у виду повећања биомасе (бокорења, изданака, листова, цвјета, плода), што погодује развоју бројних патогена, прије свега облигатних (Bowes 1993; Ghini et al. 2008). Осим тога, густа крошња доводи до продуженог задржавања влаге на површини листа, представљајући веома повољно окружење за клијање спора и њихово продирање у листове, што фаворизује развој болести (Garrett et al. 2006). Такође, повећање густине крошње и величине биљака утицаће повољно на развој патогена који инфицирају лишће (проузроковачи рђа, пепелница и некроза лишћа), а који захтијевају већу влажност али не и кишу, док ће повећање садржаја шећера повољно утицати на развој патогена проузроковача рђа и пепелница, а повећање жетвених остатака на боље преживљавање некротрофних патогена (Ghini et al. 2008). Исти аутори наводе да повећање биомасе коријена може повољно утицати на микоризу и напад земљишних патогена, док повећан садржај CO₂ из ваздуха може повољно утицати на неке полифагне патогене проузроковаче трулежи, као што су на примјер *Rhizoctonia solani* и *Phytophthora parasitica*. При истраживањима утицаја CO₂ на осјетљивост пшенице према *Fusarium* spp., проузроковачима фузариоза, и *Septoria tritici*, проузроковачу септориозне пјегавости, Váry et al. (2015) утврдили су повећање осјетљивости пшенице према овим патогенима и упозорили на значајан утицај на исход интеракције патоген–домаћин и на трајност отпорности сорти према узрочницима болести биљака. Приликом истраживања утицаја комбинације CO₂ и O₃ на болести соје утврђено је да повишене концентрације наведених гасова утичу негативно на *Peronospora*

manshurica, проузроковача пламењаче соје, а позитивно на *Septoria glycines*, проузроковача септориозе соје, док на *F. virguliforme* није било никаквог значајног утицаја (Eastburn et al. 2010). Међутим, Coakley et al. (1999) наводе негативно дјеловање повишене концентрације атмосферског CO₂ на *Colletotrichum gloeosporioides*, проузроковача антракнозе при инокулацији биљке *Stylosanthes scabra*. Дејство повећаног CO₂ огледало се у смањењу појаве болести на биљкама усљед одгањања и смањења клијавости спора, раста хифа и производње апресорија патогена. Смањење висине биљке код осјетљиве сорте усљед напада антракнозе надокнађено је повишеним растом биљке под утицајем повећаног CO₂, али само код осјетљиве сорте Fitzroy, док није било утицаја код отпорне сорте Seca. Смањење продора спора као и производње конидија код *Blumeria graminis*, проузроковача пепелнице стрних жита на листовима јечма усљед повишене концентрације CO₂ забиљежили су у истраживањима Hibberd et al. (1996).

Истраживања у Египту о утицају климатских промјена на *Phytophthora infestans*, проузроковача пламењаче кромпира и парадајза, показала су да топлије зимско вријеме утиче на појаву и сузбијање овог патогена. Она су показала и да би епидемија пламењаче парадајза, која се појавила недјељу до двије раније, значила да ће бити потребна 2–3 додатна хемијска третмана да би се постигла задовољавајућа ефикасност у сузбијању овог патогена. Због тога се у Египту процјењује да ће у периоду 2025–2100. године бити потребна до три додатна третмана фунгицидима. Осим тога, повољни услови у зимском периоду омогућавају акумулацију инокулума патогена на раним сортама кромпира у раној вегетационој сезони, што доводи до раније и интензивније појаве пламењаче код касније засађених усјева кромпира. Може се очекивати да ће климатске промјене утицати позитивно на *Phytophthora infestans*, проузроковача пламењаче кромпира и парадајза (Fahim et al. 2011). Исто потврђују и Kostánková et al. (2009) и упозоравају на ранију пријетњу од епидемијских појава пламењаче кромпира усљед раније појаве топлијих услова, као и неопходно повећање броја третмана фунгицидима за адекватно сузбијање овог патогена. Nunjan and Lore (2020) упозоравају на ранију појаву пламењаче кромпира за 4–7 дана усљед повећања температуре за сваки степен, што имплицира и додатне третмане. Такође, предвиђа се да ће климатске промјене позитивно утицати и на *Plasmopara viticola*, проузроковача пламењаче винове лозе, који може значајно утицати на смањење приноса грожђа и квалитета вина, што ће захтијевати и већи број хемијских третмана (IPPC Secretariat 20216).

Интензивна појава *Bipolaris zeicola*, проузроковача мркосмеђе пјегавости листа кукуруза, забиљежена у Србији током 1980-их година, није била само посљедица растуће осјетљивих генотипова већ и климатских услова, посебно

повољних распореда падавина од краја јула до почетка августа. Овај и други патогени листа кукуруза (*Exserohilum turcicum*, *Kabatiella zeaе* и друго) више се не појављују, јер су сушне године постајале све чешће, посебно у периоду јул–август (Stanković et al. 2007).

У неким случајевима интеракција гљиве–штеточине у условима климатских промјена може проузроковати неуобичајену појаву болести до тада непознатих размјера. У Србији је у протеклих 50 година појава *Aspergillus flavus* на клипу кукуруза била ријетка и веома ниског интензитета. Међутим, неуобичајено висока учесталост и интензитет напада *A. flavus* на клипу кукуруза забиљежена је 2012. године, коју су карактерисали изузетно стресни агрометеоролошки услови, високе температуре и суша у периоду од цвјетања до воштане зрелости кукуруза. Кукурузни пламенац (*Ostrinia nubilalis*) други је фактор који је условио интензивну појаву овог патогена. Максимални лет лептира утврђен је веома рано, већ у јулу (5.149 јединки), посебно друге генерације која оштећује клип, а као посљедица тога у вријеме бербе утврђена су и бројна оштећења клипа на којима је био видљив развој маслинастозелених прашкастих колонија гљиве које су типичне за *A. flavus*. Појава ове гљиве на клипу кукуруза у 2012. години била је повезана са високим концентрацијама афлатоксина у зрну кукуруза (Lević et al. 2013).

Gioria et al. (2008) предвидјели су да ће климатске промјене имати негативан утицај на неке патогене парадајза, попут *Phytophthora infestans*, проузроковача пламењаче, *Verticillium albo-atrum*, проузроковача зеленог увенућа, и *Sclerotinia sclerotiorum*, проузроковача бијеле трулежи, док ће на неке патогене, како што су, на примјер, *Leveillula taurica*, проузроковач пепелнице, *Alternaria solani*, проузроковач црне пјегавости и *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, проузроковач фузариозног увенућа парадајза, климатске промјене испољити позитиван утицај.

11.3.2. Утицај климатских промјена на фитопатогене бактерије

Појава бројних врста фитопатогених бактерија које проузрокују економски знатне штете на многим врстама гајених биљака широм свијета настаје као посљедица глобалног загријавања. Као примјер може се навести знатнија појава три врсте фитопатогених бактерија на пиринчу којима погодују високе температуре, и то: *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, која инфицира планински пиринач у јужној Европи; *Burkholderia glumae*, која се појављује на пиринчу у јужним дијеловима САД, као и *Dickeya zeaе*, која напада пиринач у сјеверној Индији.

За фитопатогене бактерије које се преносе векторима од посебног значаја је утицај климатских промјена на присуство, ширење и бројност вектора. Као примјер може се навести бактерија карантинског статуса *Pantoea stewartii*, проузроковач пругавости листа и увенућа кукуруза, чија појава у великој мјери зависи од преживљавања њеног вектора – кукурузне бубе (*Chaetocnema pulicaria*) током зиме. Модел прогнозе заснован на зимским температурама предвиђа да је опстанак овог вектора већи у топлијим зимама (Petzoldt and Seaman 2006).

Модел дистрибуције биоклиматских врста показали су да фитопатогена бактерија карантинског статуса *Xylella fastidiosa*, проузроковач Пирсове болести, има потенцијал да се прошири изван тренутне зоне распрострањености и да може доћи до других подручја у Италији и у Европи (Trkulja 2014; Godefroid et al. 2018). Постоје различите подврсте ове бактерије, које се одликују различитим захтјевима према условима средине. Према предвиђањима процјене ризика, подврста *X. f. subsp. multiplex*, а донекле и *X. f. subsp. fastidiosa*, представљају пријетњу великом дијелу Европе, док су климатски погодна подручја за подврсту *X. f. subsp. pauca* углавном ограничена на медитеранске земље (Godefroid et al. 2019). Кроз модел предвиђања нивоа ризика, утврђено је да медитерански басен, посебно подручје Либана, представља највећи ризик за успостављање и ширење *X. fastidiosa* (Frem et al. 2020). Иако у многим медитеранским земљама *X. fastidiosa* није присутна, у блиској будућности се може очекивати њено ширење, при чему је посебно Турска у највећем ризику, а слиједе Грчка, Мароко и Тунис. Само три земље у региону (Бахреин, Либија и Јемен) подложне су најнижем нивоу ризика у смислу потенцијалне интродукције, успостављања и ширења бактерије. Наиме, проблем није ограничен само на Медитеран. На основу симптома болести и лабораторијске анализе, откривено је да је *X. fastidiosa* повезана са симптомима на бадему и Пирсовом болешћу винове лозе у неколико провинција Ирана (Amanifar et al. 2014), што указује да ће се ова бактерија почети ширити на сусједне земље Блиског истока.

Експериментална испитивања утицаја повишене концентрације CO₂ на *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, проузроковача бактериозне пјегавости на инокулисаним биљкама парадајза, показала су негативан утицај на патогена, а позитиван на биљку. Истраживања су доказала да се бактерија значајно мање развијала на биљкама узгајаним при повећаној концентрацији CO₂, при чему је у оваквим условима дошло до значајно мањег развоја симптома и некрозе биљних ћелија (Zhang et al. 2015).

11.3.3. Утицај климатских промјена на фитопатогене вирусе и њихове векторе

Вируси инфицирају биљке домаћине кроз блиску повезаност са векторима, додајући на тај начин нову димензију троуглу болести. Избијање епидемија вироза биљака стога је јако повезано са климатским захтјевима вектора вируса (Malmstrom et al. 2011). Тако, на примјер, повећање температуре може да допринесе већој распрострањености вектора, као и развоју додатне генерације инсеката вектора, што може утицати на повећање векторске активности и преносивости неких значајних биљних вируса (Dobson 2009). Генерално топлији услови током јесењег и зимског периода утичу на повећање постојаности вектора у средњој и сјеверној Европи, а тиме и ризик од преношења вируса на неке озиме усјеве као што су озими јечам, пшеница и уљана репица (Roos et al. 2011). Осим тога, климатске промјене могу утицати и на биљке домаћине, као и на тип вектора повезаних са њима, одређујући тако интензитет утицаја на вирусе повезане са тим домаћином (Jones 2009). Такође, оне могу утицати и на бројност вектора, њихову миграцију и биологију (Canto et al. 2009). Jones and Barbeti (2012) дали су свеобухватан преглед о могућим ефектима директних и индиректних параметара климатских промјена на многе векторе, вирусе и биљке домаћине.

Познато је да лисне ваши снажно реагују на климатске промјене, а прије свега на повишене температуре, при чему оне у условима глобалног загријавања требају краће вријеме за развој генерације. Као посљедица долази до образовања већег броја генерација, што доводи до повећане бројности популација које могу да преносе вирусе, а што на крају може довести до веће појаве вирусних инфекција. Као примјер за ово могу се навести комплекс врста лисних вашију које преносе вирус жуте патуљавости јечма (*Barley yellow dwarf virus*, BYDV) на пшеници и јечму (Trkulja i Stojčić 2002), као и Y-вирус кромпира (*Potato virus Y*, PVY) на кромпиру. Након благих зима долази до ранијег појављивања и знатног кретања лисних вашију током прољећа, што доводи до већег нивоа инфекције пшенице и јечма вирусом жуте патуљавости јечма (BYDV), као и кромпира Y-вирусом кромпира (PVY).

Вирус жуте патуљавости јечма (BYDV) значајно угрожава принос и квалитет стрних жита, прије свега јечма, пшенице и зоби (Trębicki et al. 2015). Посебно су значајне посљедице његовог дејства након благих зима (Coakley et al. 1999; Trkulja i Stojčić 2002). С обзиром на то да овај вирус преносе лисне ваши, благе зиме и повишене температуре могу значајно утицати на економске губитке разних врста стрних жита које проузрокује овај вирус. Тако, на примјер, Napcarrow et al. (2014) наводе да су истраживања спроведена у Аустралији показала да су се након инокулације биљака пшенице вирусом жуте

патуљавости јечма симптоми брже развијали и титар вируса био је већи у биљкама јечма при повишеним температурама. Осим повишене температуре, Trębicki et al. (2015) испитивали су и утицај овог вируса на инокулисаним биљкама пшенице при повишеној концентрацији CO₂ у ваздуху, при чему су истраживања показала да је већи титар вируса забиљежен при повећаној концентрацији CO₂, што је утицало на ранију појаву и јаче испољавање симптома на инокулисаним биљкама пшенице. Међутим, не мора увијек да буде правило да повећање температуре или концентрације CO₂ позитивно утиче на патогене, а негативно на биљке. Тако су, на примјер, Zhang et al. (2015) у својим истраживањима утврдили да су повећане концентрације CO₂ смањиле инциденцу вируса мозаика дувана (*Tobacco mosaic virus*, TMV) на инокулисаним биљкама парадајза, док Huang et al. (2012) наводе да се отпорност биљака парадајза према вирусу увијености листа парадајза (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV) повећала при повишеној концентрацији CO₂ у експериментима на отвореном пољу.

Предвиђање утицаја климатских промјена на вирусе парадајза дали су Gioria et al. (2008), сматрајући да ће климатске промјене позитивно утицати на вирус бронзавости парадајза (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV), вирус хлоротичне пјегавости парадајза (*Tomato chlorotic spot virus*, TCSV), вирус прстенасте пјегавости кикирикија (*Groundnut ringspot virus*, GRSV) и вирус некрозе стабла хризантеме (*Chrysanthemum stem necrosis virus*, CSNV).

Осим тога, усљед климатских промјена неки вируси прилагођени узгоју биљака у заштићеном простору, као што је *Pepino mosaic virus* (PepMV), постају доминантнији у пољским условима. Такође, природне климатске баријере у умјеренијим регионима мијењају се усљед промјена у раним зимским температурама, омогућавајући природно ширење биљних вируса и њихових вектора великом брзином. Тако је у овим регионима повећана вјероватноћа појаве инсеката важних вектора биљних вируса, као што су лисне ваши, бијеле мушице и трипси, који могу изазвати озбиљне епидемије вирусоза разних биљака (Hunjan and Lore 2020).

11.4. Утицај климатских промјена на биљне штеточине

Утицаји климатских промјена на биљне штеточине могу бити јако сложени, а укључују директне и индиректне ефекте као и њихове интеракције. Климатске промјене утичу на инсекте, гриње, нематоде, али и друге организме (Prakash et al. 2014). Директни и индиректни ефекти климатских промјена на штеточине укључују промјене у њиховој географској дистрибуцији, промјене у сезонској фенологији и промјене у аспектима динамике популације (IPPC Secretariat

20216). Повећање температуре и концентрације CO₂ може допринијети већем броју генерација штеточина, што повећава могућност да оне надвладају отпорност биљака (Zaun et al. 2019).

Опште посљедице климатских промјена, прије свега глобалног загријавања на штетне инсекте, укључују проширење географског распона, повећање стопе преживљавања популација које презимљују, повећан ризик од уношења инвазивних врста инсеката, повећање појаве биљних болести које се преносе инсектима, смањену ефикасност биолошких средстава контроле, као што су природни непријатељи итд. (Choudhary et al. 2019; Skendžić et al. 2021; Trkulja et al. 2021).

Константно повећање кретања људи и транспорта робе, биљака и животиња широм свијета повећало је присуство и распрострањеност биљних патогена и штеточина, док ће климатске промјене створити нове еколошке нише које ће омогућити развој и ширење узрочника биљних болести и штеточина у нове регије (FAO 2021). Предвиђања су да ће се инсекти помјерити на веће надморске висине до 2055. године уз повећање броја генерација (Skendžić et al. 2021). Неке биљне штеточине су већ прошириле своју распрострањеност или круг домаћина усљед климатских промјена. Као примјер могу се навести јесења совица (*Spodoptera frugiperda*), поријеклом из Африке, која се недавно проширила и у земље региона Европске и медитеранске организације за заштиту биља (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*, EPPO), а која напада велики број биљака, укључујући кукуруз, сирак и просо, као и медитеранска воћна мушица (*Ceratitis capitata*), која оштећује плодове бројних врста воћака. Обје наведене врсте знатно су прошириле ареал распрострањености због топлије климе, која је погоднија за њихов развој. Осим тога, очекује се да ће климатске промјене на различите начине дјеловати и на многе друге штеточине, као што је то на примјер пустињски скакавац (*Schistocerca gregaria*), који је најопаснија миграторна штеточина на свијету, код кога је дошло до промјене миграторних рута и географске распрострањености усљед климатских промјена (IPPC Secretariat 2021b).

Многе штеточине често је немогуће искоријенити након што се нађу на новој територији, а управљање њима је дуготрајан и скуп процес. Тако, на примјер, кукурузни пламенац (*Ostrinia nubilalis*) стара је биљна штеточина у Европи, док је 1916. године пренесена у Америку, гдје је наносила веће штете него у Европи (Almaši i sar. 2002). И Porter et al. (1991) наводе да је кукурузни пламенац у Европи проширио ареал распрострањења за више од 1.000 км према сјеверу. IPPC Secretariat (2021b) наводи да су неке штеточине прошириле своју распрострањеност и круг домаћина усљед климатских промјена. Међу најважнијим истичу се смарагдни јасенов красац (*Agrilus planipennis*), разне

врсте воћних мушица (*Bactrocera oleae*, *B. dorsalis* и *Ceratitidis capitata*), црвена палмина пипа (*Rhynchophorus ferrugineus*) и друго. У овој, као и у многим другим сличним ситуацијама, до већих штета на новим стаништима долази због тога што није постојала коегзистенција биљке домаћина и штеточине у дужем периоду.

Промјена фенологије инсеката добар је показатељ климатских промјена (Shrestha 2019). Истраживања утицаја климатских промјена на штеточине као што је кромпирова златица и кукурузни пламенац указују на повољан утицај климатских промјена на ове штеточине у Чешкој. Резултати анализа предвиђају јако озбиљну опасност од кукурузног пламенца са двије генерације годишње, што је повећање за једну генерацију у односу на претходни период. Исти подаци су добијени и за кромпирову златицу, што представља ризик за угрожавање и повећање штета у пољопривредној производњи усљед промјена климе (Kostánková et al. 2009). Лисне ваши такође у условима повишене температуре производе додатне генерације и чак повишена температура скраћује њихове развојне стадијуме, што доводи до брже појаве одраслих јединки (Menéndez 2007). Раније појављивање инсеката након зимског периода игра значајну улогу у штетама на усјевима и засадима и броју генерација штетних инсеката. Као примјер може се навести ранија појава лета лисне ваши *Myzus persicae* на кромпиру за двије седмице на сваки 1 °C пораста средње температуре у јануару и фебруару (Shrestha 2019). Такође, код неких лептира (*Lepidoptera*) забиљежени су слични ефекти глобалног загријавања. Тако је, на примјер, у Шпанији забиљежена ранија појава неких врста летира за 1–7 недјеља, док су неке врсте рода *Microlepidoptera* у Холандији и Великој Британији доживјеле значајне фенолошке промјене, што је утицало на њихову ранију појаву (Menéndez 2007).

Такође, усљед климатских промјена долази до ширења и штетних инсеката који су вектори разних других штетних организама (фитоплазми, вируса, нематода и других), усљед чега долази и до ширења штетних организама које они преносе, а који понекад могу да проузрокују огромне директне и индиректне економске штете. Као примјер могу се навести инсекти из рода *Monochamus*, који су вектори борове нематодe (*Bursaphelenchus xylophilus*), која је поријеклом из Сјеверне Америке, гдје напада врсте рода *Pinus*, али не изазива њихово масовно пропадање (Jones et al. 2013). Поред инсеката и биљних патогена озбиљне штете могу проузроковати нематодe. То су организми који живе у земљишту, углавном безопасни и/или корисни кроз конзумацију штетних микроорганизама, мада постоје и оне врсте које су штетне за биљке, док неке представљају и озбиљну пријетњу за контролисане и неконтролисане екосистеме (IPPC Secretariat 2021b). Примјер озбиљне пријетње за борове у Азији, прије свега у Кини, Кореји и Јапану, као и у неким европским земљама

као што су Португалија и Шпанија јесте борова нематода. Одрасли инсекти из рода *Monochamus* преносе нематоду на јако велике географске удаљености. Очекује се да ће глобално загријавање све више фаворизовати сушење борова које узрокује ова нематода, јер инсектима из рода *Monochamus* погодују више температуре, посебно у умјереним регионима (Ikegami and Jenkins 2018). Бројне процјене ризика показале су да ће с да ће порастом температуре у умјереним подручјима смртност борова расти. На Медитерану, који је најугроженије подручје у Европи, висока смртност четинара би могла имати и озбиљне еколошке посљедице (IPPC Secretariat 2021b). Економски најзначајније нематоде за пољопривреду су из родова *Heterodera*, *Globodera* и *Meloidogyne*. За сојину нематоду (*Heterodera glycines*), која је економски најштетнија за соју у САД и Канади, али и на подручју Аргентине, Бразила и Кине, сматра се да ће глобално загријавање утицати на појаву већег броја генерација у току године, као и њено ширење ка сјеверу (IPPC Secretariat 2021b). Климатске промјене утичу и на нематоду родова *Xiphinema* и *Longidorus* који су вектори бројних фитопатогених вируса. Распрострањеност ових нематода у Великој Британији и Европи посљедица је повећаних јулских температура земљишта. Постепено загријавање може озбиљно утицати на присуство ових нематода, а самим тим и вироза разних биљака које оне преносе у дијеловима сјеверне Европе (Boag et al. 1991; Ghini et al. 2008).

11.5. Утицај климатских промјена на ширење карантинских штетних организама

Уз трговину, која се сматра главним путем за уношење карантинских штетних организама и инвазивних врста, глобално загријавање игра комплементарну улогу као други важан „покретач промјена“ који утиче на појаву и интензитет напада биљних болести и штеточина. Све то може имати одређене негативне економске посљедице на биљну производњу наметањем додатних трошкова за пољопривредне инпуте као што је на примјер заштита биља (Trkulja i sar. 2012). Извјештај FAO указује да инвазивне врсте и карантински штетни организми коштају свјетску економију чак 70 милијарди долара годишње (FAO 2021).

Очекује се знатан утицај климатских промјена на путеве уношења или ширења егзотичних штетних организама у нове географске регионе, јер како климатски услови постану повољнији, нове или миграторне врсте штетних организама могу постати и шире распрострањене у областима за које се раније сматрало да у њима нису присутне. Као примјер може се навести борова нематода (*Burodinesaphelenchus xylophilus*), која тренутно изазива

велике економске штете у Португалу (IPPC Secretariat 2021b), као и златасто жутило винове лозе, чији је проузроковач фитоплазма '*Candidatus Phytoplasma vitis*' (syn. *Flavescence dorée phytoplasma*), која је једна од најопаснијих и економски најштетнијих болести винове лозе. Појава ове фитоплазме први пут је забиљежена у југозападној Француској 1955. године, након чега је у посљедњих двадесетак година дошло до њеног наглог ширења, те је њено присуство утврђено и у Италији, Шпанији, Португалу, Швајцарској, Аустрији, Мађарској и Словенији, као и у Хрватској и Србији. У свим земљама у којима је утврђено присуство фитоплазме '*Ca. Phytoplasma vitis*', утврђено је и присуство њеног главног вектора цикаде *Scaphoideus titanus*, за коју се сматра да је усљед глобалног загријавања проширила своју географску распрострањеност у Европи и представља основни ризик за преношење и ширење наведене фитоплазме (Trkulja i sar. 2018). Вектор је тренутно широко присутан у европским земљама (Skendžić et al. 2021). Повећање температуре повећава ризик од уношења *S. titanus* у нова подручја и његовог даљег ширења на сјевер, гдје овај вектор до сада није био присутан (Boudon-Padieu and Maixner 2007). Са друге стране, дејство повећања температуре ваздуха на јужној граници распрострањености овог инсекта може довести и до смањења бројности популације или чак његовог изумирања у јужним дијеловима Италије (Boudon-Padieu 2007; Skendžić et al. 2021).

Симулације климатских промјена, прије свега повећања температуре ваздуха, у Финској указују на могућност појаве кромпирове цистолике нематодe (*Globodera rostochiensis*), а самим тим и на ограничања или чак немогућности гајења кромпира у јужним и нижим надморским висинама Финске, што представља јако озбиљан проблем, на шта су Carter et al. (1996) указали прије чак тридесет година.

Један од примјера брзог ширења карантинских штетних организама у новом подручју јесте и појава кукурузне златице (*Diabrotica virgifera virgifera*), прво у Србији (Сурчин), а затим и у цијелој Европи. Ова врста, у стадијуму имага, доспјела је из Америке путем авионског саобраћаја 1990–1992. године и веома брзо се ширила у разним правцима. Присуство одраслих инсеката забиљежено је на око 110.000–200.000 ха већ након три године од њене прве појаве (Almaši i sar. 2002).

Као посљедица климатских промјена и трговинског промета биљног материјала, посљедних година се на подручју Републике Српске, Босне и Херцеговине, Србије и земаља у окружењу све чешће интродукују, шире и добијају све већи значај карантински штетни организми као што су *Pear decline phytoplasma* (Trkulja i sar. 2004), *Tomato spotted wilt virus* (Trkulja et al. 2013a), *Acidovorax citrulli* (Popović and Ivanović 2015; Trkulja i sar. 2019), *Erwinia amylovora* (Popović

et al. 2020; Iličić and Popović 2021b), *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* (Iličić and Popović 2020, 2021a), 'Candidatus Liberibacter solanacearum' (Trkulja et al. 2021), *Ralstonia solanacearum* (Marković et al. 2021a) и *Dickeya dianthicola* (Marković et al. 2021b). Осим патогена карантинског значаја, у региону су по први пут описани и бројни економски важни патогени као што су новоописана врста *Pectobacterium zantedeschiae* sp. nov. (Waleron et al. 2019), *Impatiens necrotic spot virus* (Trkulja et al. 2013b), *Iris yellow spot virus* (Trkulja et al. 2013b), *Zucchini yellow mosaic virus* (Trkulja et al. 2014a), *Watermelon mosaic virus* (Trkulja et al. 2014b), *Dasheen mosaic virus* (Grausgruber-Gröger et al. 2016), 'Candidatus Phytoplasma solani' (Trkulja et al. 2016), затим врсте родова *Pectobacterium* (Popović i sar. 2018; Popović et al. 2019a; Marković et al. 2021b, 2022), *Pseudomonas* (Popović et al. 2015, 2019b; Nikolić et al. 2018; Iličić et al. 2022), *Brenneria* (Popović et al. 2013a) *Colletotrichum graminicola* (Cuevas-Fernández et al. 2019) и други. Појава и ширење све већег броја патогена указује на утицај глобалних климатских промјена на динамику популација проузроковача болести. Такође је важно истаћи и прилагођавање патогена новим домаћинима, као што је на примјер појава гљиве *Macrophomina phaseolina* на боровници, а која се раније углавном јављала на шећерној репи, соји, кукурузу и пшеници (Popović et al. 2018), као и еволуција бактерије *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* усмјерена ка адаптацији на новог домаћина уљану репицу (Popović et al. 2013b, 2019b; Jelušić et al. 2021a, 2021b).

11.6. Утицај климатских промјена на повећање присуства микотоксина у храни и храни за животиње

Генерално, очекује се да ће климатске промјене довести до повећаног присуства микотоксина у храни и храни за животиње, али сложеност микофлоре повезане са сваком биљном врстом и њена интеракција са животном средином значи да је тешко доносити уопштене закључке без посебних студија. Микотоксине производе обично гљиве из родова: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium* (Hunjan and Lore 2020). Тако, на примјер, резултати истраживања која су спровели Battilani et al. (2016) и Van der Fels-Klerx et al. (2016) сугеришу да би глобално загађивање могло да прошири сјеверну границу ризика од појаве афлатоксина у кукурузу у Европи. Такође, и Medina (2017) је истраживао утицај климатских промјена на токсигене гљиве, испитујући ефекте трофакторијалних интеракција између повишеног CO₂ (350–400 ppm наспрам 650–1.200 ppm), пораста температуре (од +2 °C до +5 °C) и стреса од суше на производњу микотоксина од стране

кључних врста гљива, које изазивају кварење жита и орашастих плодова, укључујући врсте рода *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*, при чему је, између осталог, утврдио значајно повећање производње афлатоксина Б1 *in vitro* и *in vivo* код кукуруза од стране врсте *Aspergillus flavus*. Најпознатији микотоксин који је одговоран и за канцерогене болести јесте управо афлатоксин, који је производ секундарног метаболизма врсте *Aspergillus flavus* (Hunjan and Lore 2020). Насупрот томе, понашање других врста рода *Aspergillus*, одговорних за контаминацију низа пољопривредних производа охратоксином А, као и врсте *Fusarium verticillioides*, која производи фумонизине, код којих при истим условима није дошло до повећања производње микотоксина, сугерише да су неке врсте гљива отпорније на климатске промјене од других, посебно у погледу производње микотоксина.

Осим ефеката климатских промјена на најчешће токсигене врста гљива, климатске промјене могу такође утицати и на производњу микотоксина код неких мање познатих продуцентата микотоксина, као што су врсте из родова *Alternaria* и *Mirothecium* (Siciliano et al. 2017a, 2017b). Истраживањем Bagi et al. (2022) код гљива из рода *Alternaria* утврђена је висока концентрација микотоксина на вјештачки зараженом зрну пшенице, чиме је потврђен ризик од потенцијалне контаминације од стране микотоксина и уласка отровних једињења у ланац исхране.

11.7. Мјере за превенцију, ублажавање и прилагођавање утицаја климатских промјена на болести и штеточине биљака

Процјене су да ће током наредних стотину година глобалне температуре расти заједно са повећањем нивоа CO₂ и O₃ у атмосфери, што ће утицати на географску и временску дистрибуцију појаве разних врста штетних организама. То ће утицати на потребу да се модификују мјере за њихово сузбијање у складу са сценаријима климатских промјена (IPPC Secretariat 2021b). Због тога, неопходно је да се анализирају све мјере које се могу предузети у циљу спречавања, ублажавања и прилагођавања потенцијалним ефектима климатских промјена на штетне организме, а самим тим и на здравље биљака.

11.7.1. Мјере за превенцију утицаја климатских промјена на болести и штеточине биљака

Најефикаснији начин да се спријечи и ограничи међународно ширење болести и штеточина биљака кроз трговину и кретање путника јесте регулисање њиховог кретања фитосанитарним мјерама и обезбјеђење примјене добре пољопривредне праксе како би се појава штетних организама свела на што нижи ниво.

Фитосанитарне мјере. Фитосанитарно законодавство за увоз живих биљака, дијелова биљака и биљних производа представља прву линију одбране у било којој превенцији међународног ширења карантинских штетних организама. Циљ фитосанитарног регулаторног система при увозу јесте да спријечи уношење карантинских и некарантинских регулисаних штетних организама са увезеном робом и другим регулисаним објектима. Да би фитосанитарни систем при увозу биља био ефикасан, важно је имати могућност да се добро процијене ризици, узимајући у обзир и климатске промјене, те да се на основу тих резултата ураде могући сценарији управљања ризиком. Осим тога, веома је важно да надлежне фитосанитарне службе имају добро организоване активности надзора и праћења појаве болести и штеточина биљака с циљем брзог откривања нових интродукција, како би биле у могућности да брзо реагују на њих и да предузму одговарајуће мјере за њихово сузбијање и/или ерадикацију (Lopian 2018; Carvajal-Yepes et al. 2019; Giovanì et al. 2020). Употреба географских информационих система и алата за усклађивање и процјену климатских промјена могу користити карантинским службама за одређивање пријетње коју представљају поједине врсте патогена и штеточина пољопривредних биљака и шумског дрвећа у условима тренутне и будуће климе (Coakley et al. 1999).

Анализа ризика од штетних организама. Камен темељац сваког ефикасног фитосанитарног регулаторног система за увоз живих биљака, дијелова биљака и биљних производа јесте доступност процјене ризика коју спроводи национална организација за заштиту биља (НОЗБ). Анализа ризика од штетних организама процјењује вјероватноћу уношења и ширења штетних организама и величину њихових потенцијалних економских посљедица у дефинисаном подручју користећи биолошке или друге научне и економске показатеље. Осим тога, овом анализом треба да се идентификују и потенцијалне опције управљања ризиком, чијом примјеном се ризик може смањити на прихватљив ниво. Анализа ризика од штетних организама такође узима у обзир садржај пошиљке биља која се увози и ризике повезане са њом из земље поријекла (IPPC Secretariat 2021б). Као помоћ многим државама постоји дефинисан скуп специфичних стандарда за процјену ризика који је

развијен од стране секретаријата Међународне конвенције о заштити биља (*International Plant Protection Convention*, IPPC). Како климатске промјене утичу на биологију и епидемиологију штетних организама, активности процјене ризика ће морати да се интензивирају на националном, регионалном и међународном нивоу, а аспекти климатских промјена ће морати да буду укључени у процјену ризика за здравље биљака (Lorían 2018). Уношење и ширење карантинских штетних организама може се спријечити само ако су НОЗБ свјесне ризика, при чему та свијест првенствено треба да буде резултат процјене ризика (IPPC Secretariat 20216).

Надзор и праћење. Једна од најважнијих активности НОЗБ је надзор и праћење штетних организама, што им омогућава да рано открију интродуковане штетне организме и сходно томе предузму актуелне мјере контроле и искорјењивања. Обично, што се прије открије присуство штетног организма након уношења, већа је вјероватноћа да ће мјере искорјењивања бити успјешне. Сходно томе, једна од главних компоненти стратегије за рјешавање опасности од уноса штетних организама у промјенљивим климатским условима мора бити квалитетно и континуирано спровођење праћења и надзора, како би се омогућило откривање интродукције нових штетних организама (FAO 2008). Варијабилност климе или климатске промјене имаће значајне ефекте на дизајнирање и спровођење одговарајућих програма надзора и мониторинга од стране званичних фитосанитарних служби. Ово тим прије, јер је према Suggitt et al. (2018) знање о ефектима климатских промјена на дистрибуцију и екологију појединих врста штетних организама још недовољно, због чега је у наредном периоду истраживањима у овој области потребно посветити више пажње.

Међународна сарадња и размјена информација. Међународна размјена информација о трговинским токовима, појавама биљних патогена и штеточина и њиховог пресретања од огромне је важности да би се надокнадио недостатак информација које су подстакле научна истраживања о утицају климатских промјена на здравље биљака (IPPC Secretariat 20216). Очекује се да ће климатске промјене у будућности измијенити постојеће агроклиматске зоне, што би могло да доведе до нових трговинских токова у циљу обезбјеђења пољопривредних производа земљама које највише пате од њиховог недостатка (King et al. 2018). У случајевима када се производња усјева за одређене врсте мијења као резултат климатских промјена, мијењаће се и трговачки путеви за те врсте (Lorían 2018). Предвиђа се да ће климатске промјене довести до повећања међународне трговине пољопривредним производима у смислу физичког обима и комерцијалне вриједности (IPCC 2014).

Помјерање зона пољопривредне производње, измијењени трговински токови и посљедични пораст међународне трговине пољопривредним производима ће, у комбинацији са ограниченим знањем о понашању штетних организама у новим климатским и екосистемским условима, резултирати недостатком поузданих, научно провјерљивих информација на основу којих надлежни органи за процјену ризика могу засновати своје процјене и мјере ублажавања. Овај недостатак би се могао ублажити успостављањем поуздане међународне мреже за размјену информација о појавама штетних организама и могућим путевима њиховог преношења и ширења. Стога, остаје много тога да се уради на побољшању међународне размјене информација (IPPC Secretariat 2021б).

11.7.2. Мјере за ублажавање и прилагођавање утицаја климатских промјена на болести и штеточине биљака

Побољшана отпорност биљака домаћина као лака, ефикасна, једноставна и еколошки оправдана мјера, као и адаптација на примјену пестицида два су најефикаснија начина прилагођавања заштите гајених биљака у условима климатских промјена. Друге опције укључују прилагођавање времена сјетве, дужи плодород, побољшану прогнозу појаве штетних организама, давање циљаних препорука, те прилагођавање агрономских пракси, као што су наводњавање и ђубрење (Juroszek and von Tiedemann 2015). У контексту прилагођавања система узгоја усјева климатским промјенама, гајење сорти и хибрида различитих врста пољопривредних биљака које су отпорне на различите врсте штетних организама једна је од најпожељнијих опција (Miedaner and Juroszek 2021а, 2021б). Такође, сорте и хибриди отпорни на сушу, високе температуре и штетне организме кључни су за безбједност хране код великог броја значајних биљних врста.

С обзиром на то да је гајење отпорних сорти најрентабилнија мјера борбе и ублажавања штетних ефеката климатских промјена, потребно је нагласити да температура има великог утицаја на отпорност биљака. Примјер за ово дали су у свом истраживању Huang et al. (2006) на уљаној репици. Показало се да на отпорност сорте „DarmorMX“ према *Leptosphaeria maculans* велики утицај има температура. Отпорност сорте се јасно разликовала при температури од 15 °C и 25 °C. Сорте је испољила већу отпорност при нижој у односу на вишу температуру. Осим утицаја температуре на отпорност или осјетљивост сорти забиљежен је утицај и на повећану агресивност и прилагођеност патогена условима повишене температуре, што потврђују у својим истраживањима Milus et al. (2009) са новијим изолатима *Puccinia striiformis*, проузроковача жуте или црточасте рђе стрних жита. Температура није једини и најважнији

фактор, иако некад гени отпорности могу да не испоље свој ефекат при вишим температурама јер и други фактори попут падавина, дужине трајања влажности листа, типа земљишта и доступности воде и хранљивих материја, имају важну улогу на испољавање отпорности поједних сорти и хибрида различитих биљних врста (Juroszek and von Tiedemann 2011). На основу овога може се да закључити да је стварање отпорних сорти и хибрида дуготрајан и мукотрпан процес који треба да обухвати већи број фактора како би дао задовољавајуће резултате кроз дужи период.

Осим тога, адаптација на примјену пестицида такође је веома важна мјера ублажавања и прилагођавања утицају климатских промјена на штетне организме. Тако је, на примјер, према Wolfe et al. (2008) у појединим регијама на сјеверним географским ширинама потребан већи број апликација фунгицида због честих падавина које узрокују потешкоће у задржавању контактних фунгицида на биљци. Увођење нових фунгицида са већом ефикасношћу у условима падавина може помоћи да се овај проблем минимизира (Hannukkala et al. 2007). Као одговор на вишу концентрацију CO₂ и повишену температуру, код неких биљака долази до промјене морфолошких карактеристика, које се манифестују у виду смањених отвора стома или формирања нешто дебљег слоја епикутикларних воскова на листу, што може утицати на смањење или одлагање усвајања и транслокације системичних фунгицида (Juroszek and von Tiedemann 2011). Ефикасност фунгицида се може повећати и правилним временом њихове примјене. Такође, при вишим концентрацијама CO₂ и повишеној температури за сузбијање неких патогена могао би бити потребан већи број апликација фунгицида. Као примјер може се навести процјена да би због повишених температура у сјеверозападном дијелу Италије до краја XXI вијека требало у праксу увести још два додатна третмана фунгицидима за сузбијање *Plasmopara viticola* проузроковача пламењаче винове лозе (Juroszek and von Tiedemann 2011). Анализа комбинације климатских сценарија и модела усјева уљане репице у Шкотској и Енглеској у периоду 2020–2050. године предвиђа да ће комбинације климатских промјена негативно утицати на *L. maculans*, проузроковача рака стабла уљане репице у Шкотској, и самим тиме смањити потребу за хемијским третманима фунгицидима чија употреба неће више бити ни економски оправдана, док ће климатске промјене у јужној Енглеској повећати интензитет напада овог патогена и смањење приноса уљане репице, што имплицира за већом потребом хемијских третмана. Осјетљиве сорте јаче ће бити погођене болешћу и већим смањењем приноса од отпорнијих (Butterworth et al. 2010).

Повећан број третмана повлачи за собом повећање трошкова производње и доводи у питање њену рентабилност у земљама трећег свијета, гдје још нису довољно добро регулисане мјере аграрне политике које се односе на помоћ

и подстицаје пољопривредним произвођачима. У САД истраживан је утицај падавина и температуре на трошкове заштите, при чему је утврђено да у усјевима кукуруза, памука, соје, кромпира и пшенице више падавина је повећало трошкове заштите, док је код кукуруза, памука, кромпира и соје топлије вријеме повећало трошкове примјене средстава за заштиту биља (СЗБ), а код пшенице смањило (Chen and McCarl 2001). Поред повећања трошкова топли и влажни услови могу повећати и ефикасност СЗБ кроз појачано и лакше усвајање активних супстанци, али и фитотоксичност (Juroszek and von Tiedemann 2011). Висока температура и влажни услови утичу и на разградњу и испаравање СЗБ. Повећање уноса фолијарних препарата а смањење испаравања зависи од физичко-хемијских карактеристика активне супстанце, формулације производа, времена примјене, дозе примјене, расподјеле на површину листа и технологије примјене (Juroszek et al. 2020).

Високи распони температуре и концентрације CO_2 подстичу раст биљака, а то утиче на мању доступност пестицида по биљци, што је праћено и мањим кретањем и уносом пестицида из горњих дијелова у коријен биљака због смањене транспирације усљед мањка падавина. Климатске промјене као што су повећање температуре, смањење падавина и високе концентрације CO_2 могу имплицирати развој резистентности патогена на фунгициде, а тиме и потребу за додатним третманима фунгицидима (Hunjan and Lore 2020).

Избор стратегија прилагођавања зависиће од многих фактора. Трошкови су један од фактора, те би требало истражити исплативије стратегије адаптације (прилагођавања), као што су, на примјер, промјена датума сјетве или жетве и избор сорте и хибрида, како би се смањила осјетљивост биљака на климатске промјене (Srivastava et al. 2010). Практичност промјене датума садње, сјетве или жетве, међутим, зависи од потенцијалног смањења приноса и локације на којој се усјев или засад гаји, преференције фармера и потрошача према гајеним сортама и хибридима, као и ситуације на тржишту (Wolfe et al. 2008).

Плодоред игра јако велику улогу као једна од мјера ублажавања климатских промјена и смањења трошкова производње. Тако, на примјер, Juroszek and von Tiedemann (2011) наводе на основу експеримента у Финској да се пламењача кромпира јавља раније на парцелама на којима је предусјев такође био кромпир у односу на парцеле на којима је предусјев била нека друга биљна врста. Осим плодореда, исти аутори указују и на значај здруживања усјева и гајење међуусјева, као и на примјену соларизације земљишта као јефтине, ефикасне и јако добре мјере контроле земљишних патогена. Притом је битно знати да на успјешност соларизације утиче и влажност земљишта: што је земљиште сувље, соларизација је мање ефикасна

и обрнуто. У сувим условима требало би примијенити наводњавање и што дужи третман соларизације како би се постигли позитивни ефекти.

Све напријед наведене опције могу играти улогу у омогућавању фармерима да ублаже и прилагоде се повећаном ризику од штетних организама. Међутим, генерално гледано, биће важно дефинисати приоритете и примијенити добру пољопривредну праксу и оне технологије које, осим прилагођавања климатским промјенама, истовремено могу допринијети повећању продуктивности гајених биљака, али и смањеној емисији гасова са ефектом стаклене баште, који су значајни за промјену климе, укључујући CO₂, N₂O и CH₄ (IPPC Secretariat 2021b).

Активности анализе ризика од штетних организама морају се интензивирати на националном, регионалном и међународном нивоу, при чему аспекти климатских промјена морају бити укључени у процјену ризика од штетних организама. Директан ефекат климатских промјена на ефикасност усвојених стратегија управљања, посебно на хемијске или биолошке мјере контроле, није довољно проучен и требало би га много више истраживати кроз израду различитих студија о утицају климатских промјена на СЗБ и стратегије сузбијања штетних организама (Gilardi et al. 2017; Gullino et al. 2020). Утицаји климатских промјена на природне непријатеље и антагонисте, као и накнадни ефекат примјене појединих мјера сузбијања штетних организама још нису довољно проучени (Eigenbrode et al. 2015). Боље разумијевање утицаја климатских промјена на укупне еколошке процесе, укључујући и оне на нивоу екосистема, омогућиће да се општи принципи позитивних аспеката ових утицаја уграде у добру пољопривредну праксу сузбијања штетних организама (Macfayden et al. 2018).

Такође, постоји потреба за мултидисциплинарном сарадњом, координацијом и размјеном знања при биолошким истраживањима ефеката климатских промјена на штетне организме. Ова проблематика би требало да окупи научнике и истраживаче из различитих области који раде на различитим биотома унутар истих или различитих екосистема и сектора, као што су пољопривреда, шумарство и природни екосистеми (Jactel et al. 2020). Интердисциплинарни приступи у условима климатских промјена посебно су важни код појединих врста штетних организама који мијењају свој круг домаћина приликом преласка између екосистема којима се не управља и екосистема којима се управља, што може довести до појаве нових врста штетних организама у усјевима и засадима гајених биљака или у шумским екосистемима (Jones 2016; Popović et al. 2018; Jelušić et al. 2021a, 2021b).

Према Carvajal-Yepes et al. (2019) међународна сарадња је кључна за успјех појединих држава у прилагођавању стратегија сузбијања штетних организама

у условима климатских промјена. То је зато што ефикасно управљање од стране једне државе утиче на успех управљања других држава, пошто штетни организми не познају границе. Међународна сарадња може бити глобална или регионална. Успостављање механизма за глобалну координацију фитосанитарних истраживања, како је предложено у стратешком оквиру 2020–2030. године Међународне конвенције о заштити биља (*International Plant Protection Convention*, IPPC), могло би повећати научну сарадњу, побољшати координацију напора, омогућити оптимално коришћење ресурса и олакшати усклађивање циљева. Ово би могло помоћи не само унапређењу науке већ и ојачати научну основу међународних напора за процјену и управљање утицајем климатских промјена на здравље биљака, чиме би се помогло заштити пољопривреде, шумарства, животне средине и трговинских активности од штетних организама (FAO 2021).

На регионалном нивоу, анализа сценарија потенцијалних одговора на климатске промјене може помоћи у креирању стратегија за прилагођавање регионалном управљању штетним организмима (Garrett et al. 2018). Међутим, иако многе националне и регионалне организације за заштиту биља раде на праћењу и контроли избијања појаве штетних организама у појединим усјевима и засадима гајених биљака, као и шумским екосистемима, многе земље не дијеле информације ефикасно, одлажући координисане одговоре на превенцију и ширење болести и штеточина. Стога би подршка изградњи капацитета у овим земљама требало да буде суштинска компонента међународне сарадње. Уз подршку међународних организација, глобални форуми за размјену информација могли би бити изузетно корисни (IPPC Secretariat 2021b).

Изградња капацитета за прилагођавање климатским промјенама, такође, подразумијева и проналажење начина за управљање финансијским ризиком. Ово се понекад може постићи, барем дјелимично, кроз осигурање усјева, које је пожељна опција за заштиту средстава за живот фармера у условима климатских промјена. Међутим, осигурање нужно не штити продуктивност и може подстаћи наставак производње одређених усјева у регионима гдје ти усјеви више нису погодни за нову средину (Falco et al. 2014). Осим тога, улагања националне владе требало би да се фокусирају на јачање националних система и структура за надзор, као што су дијагностичке лабораторије, тако да се могу брзо супротставити могућим биолошким инвазијама. Штавише, потребно је успоставити организационе јединице за процјену ризика које добро функционишу како би оне спријечиле уношење и ширење појединих значајних врста карантинских и економски значајних биљних патогена и штеточина (IPPC Secretariat 2021b).

11.8. Закључак

Посљедњих деценија дошло је до обимних истраживања о ефектима климатских промјена на штетне организме у различитим екосистемима, што је резултирало бројним публикацијама. Већина студија указује на то да ће се, генерално, ризик од штетних организама повећати у пољопривредним екосистемима према сценаријима актуелних климатских промјена, посебно у данашњим умјереним и хладнијим регионима.

Добијени резултати указују на то да ће све климе бити подложне промјенама, али да ће природа и обим утицаја варирати у зависности од способности производних система и природних екосистема да се прилагоде и еволуирају.

У многим случајевима климатске промјене ће довести до повећања ризика за здравље биљака у управљаним (на примјер, пољопривреда, хортикултура, шумарство), полууправљаним (на примјер, национални паркови) и вјероватно неуправљаним екосистемима. Прилагођавања стратегија заштите биља због климатских промјена већ данас су потребна, али се процјењује да ће она бити још важнија у будућности, под претпоставком да се остваре пројектовани сценарији климатских промјена.

Постоје могућности за рјешавање проблема уношења и ширења биљних патогена и штеточина који могу настати у условима глобалних климатских промјена, укључујући: континуирани или посебан надзор и праћење појаве појединих штетних организама; процјене ризика на националном, регионалном и међународном нивоу и сходно томе прописивање мјера сузбијања или искорјењивања ризичног штетног организма; примјену прописаних фитосанитарних мјера у производним условима или при увозу сјемена, садног материјала, пољопривредних и шумарских производа; прилагођавање технологије гајења биљака према промјенљивим условима, са посебним акцентом на примјену пестицида који могу имати негативни утицај на животну средину; оплемењивање биљака у промјенљивим условима и гајење сорти или хибрида шире генетичке основе; спровођење свих мјера које могу утицати да се успоре процеси већих климатских промјена, при чему значајну улогу има држава, као и подршка шире јавности; успостављање ближих веза између здравља биља и политике заштите животне средине; холистички приступ у проучавању биљних патогена и штеточина, биљака домаћина и њихових интеракција, због чега је неопходан мултидисциплинарни приступ, као и интензивирање међународне сарадње и размјене информација.

Литература

- Almaši R, Bača F, Čamprag D, Sekulić R (2002) Štetočine kukuruza i njihovo suzbijanje. U: Kolektiv autora (urednici) Bolesti, štetočine i korovi kukuruza i njihovo suzbijanje, str 265–491. Institut za kukuruz „Zemun Polje“ i DOO „Školska knjiga“
- Amanifar N, Taghavi M, Izadpanah K, Babaei G.(2014) Isolation and Pathogenicity of *Xylella fastidiosa* from Grapevine and Almond in Iran. *Phytopathologia Mediterranea* 53(2):318–327
- Bagi F, Iličić R, Savić Z, Jevtić R, Orbović B, Suman M, Tóth B, Berényi A, Popović T (2022) Toxigenic Potential of *Alternaria* species from Cereals. The 7th International Scientific Meeting: Mycology, Mycotoxicology, and Mycoses, June 02 – 03, 2022, Novi Sad, Matica Srpska, Book of Abstracts, p 21
- Bača F, Lević J, Stanković S, Stefanović L, Simić M, Gošić-Dondo S (2005) Importance of Changes in the Population Composition of Harmful Insects, Pathogens and Weeds Within the Maize Ecosystem. International Maize Conference: Accomplishments and Perspectives – 60th Anniversary of Maize Research Institute „Zemun Polje“, October 26 – 28, 2005, Belgrade, Research Institute „Zemun Polje“, Book of Abstracts, pp 17–18
- Battilani P, Toscano P, van der Fels-Klerx HJ, Moretti A, Camardo Leggieri M, Brera C, Rortais A, Goumperis T, Robinson T (2016) Aflatoxin B1 Contamination in Maize in Europe Increases Due to Climate Change. *Scientific Reports* 6(1):1–7. doi.10.1038/srep24328
- Boag B, Crawford J, Neilson R (1991) The Effect of Potential Climatic Changes on the Geographical Distribution of the Plant-Parasitic Nematodes *Xiphinema* and *Longidorus* in Europe. *Nematologica* 37:312–323
- Bodiroga R, Vico G, Perkovic G, Yushkov V, Tomić A (2017) Potential and Insufficiently Represented Modalities for Financing of Agriculture in the Entity of the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). VIII International Scientific Agriculture Symposium „Agrosym 2017“, October 05 – 08, 2017, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Book of Proceedings, pp 2302–2308
- Boudon-Padieu E (2000) Grapevine phytoplasmas. First Internet Conference on Phytopathogenic Mollicutes, May 24 – 29, 1999. Доступно на: <http://www.uniud.it/phytoplasma/conf.html>, Приступљено: 10. јун 2001
- Boudon-Padieu E, Maixner M (2007) Potential Effects of Climate Change on Distribution and Activity of Insect Vectors of Grapevine Pathogens. Global Warming, Which Potential Impacts on the Vineyards? March 28 – 30 2007, Beaune, Le Centre de Recherches de Climatologie de l’université de Bourgogne. Доступно на: <https://hal.inrae.fr/hal-02758434>, Приступљено: 19. јун 2022

- Bowes G (1993) Facing the Inevitable: Plants and Increasing Atmospheric CO₂. *Annual Review of Plant Biology* 44(1):309–332
- Butterworth MH, Semenov MA, Barnes A, Moran D, West JS, Fitt BD (2010) North–South Divide: Contrasting Impacts of Climate Change on Crop Yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society Interface* 7(42):123–130. doi.10.1098/rsif.2009.0111
- Van der Fels-Klerx HJ, Liu C, Battilani P (2016) Modelling Climate Change Impacts on Mycotoxin Contamination. *World Mycotoxin Journal* 9(5):717–726. doi.10.3920/WMJ2016.2066
- Váry Z, Mullins E, McElwain JC, Doohan FM (2015) The Severity of Wheat Diseases Increases when Plants and Pathogens Are Acclimatized to Elevated Carbon Dioxide. *Global Change Biology* 21(7):2661–2669. doi.10.1111/gcb.12899
- Garrett KA, Dendy SP, Frank EE, Rouse MN, Travers SE (2006) Climate Change Effects on Plant Disease: Genomes to Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44:489–509. doi.10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420
- Garrett KA, Alcalá-Briseño RI, Andersen KF, Buddenhagen CE, Choudhury RA, Fulton JC, Hernandez Nopsa JF, Poudel R, Xing Y (2018) Network Analysis: A Systems Framework to Address Grand Challenges in Plant Pathology. *Annual Review of Phytopathology* 56(1):559–580. doi.10.1146/annurev-phyto-080516-035326
- Gilardi G, Gisi U, Garibaldi A, Gullino ML (2017) Effect of Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature on the Chemical and Biological Control of Powdery Mildew of Zucchini and the Phoma Leaf Spot of Leaf Beet. *European Journal Plant Pathology* 148:229–236. doi.10.1007/s10658-016-1078-4
- Gioria R, Brunelli KR, Kobori RF (2008) Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças de hortaliças: tomate, um estudo de caso. *Summa Phytopathologica* 34:121–122
- Giovani B, Blümel S, Lopian R, Teulon D, Bloem S, Galeano Martínez C, Beltrán Montoya CB, Ramon Urias Morales CRU, Dharmapuri S, Timote V, Horn N, Chouibani M, M’Ella JGM, Herrera V, Castinel A, Goletsos C, Moeller C, Naumann I, Stancanelli G, Bronzwaer S, Tramontini S, MacDonald P, Matheson L, Anthoine G, Jonghe KD, Schenk M, Steinmüller S, Rodriguez E, Cruz ML, Luck J, Fraser G, Brunel S, Montuori M, Fedchock C, Steel E, Pennington HG, Roger Day R, Rossi JP, Xia J (2020) Science Diplomacy for Plant Health. *Nature Plants* 6(8):902–905. doi.10.1038/s41477-020-0744-x
- Godefroid M, Cruaud A, Streito JC, Rasplus JY, Rossi JP (2018) Climate Change and the Potential Distribution of *Xylella fastidiosa* in Europe. Доступно на: <https://hal.inrae.fr/hal-02791548>, Приступљено: 21. јун 2022
- Godefroid M, Cruaud A, Streito JC, Rasplus JY, Rossi JP (2019) *Xylella fastidiosa*: Climate Suitability of European Continent. *Scientific Reports* 9(1):8844. doi.10.1038/s41598-019-45365-y
- Gullino ML, Tabone G, Gilardi G, Garibaldi A (2020) Effects of Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature on the Management of Powdery Mildew of Zucchini. *Journal of Phytopathology* 168(7–8):405–415. doi.10.1111/jph.12905

- Ghini R, Hamada E, Bettiol W (2008) Climate Change and Plant Diseases. *Scientia Agricola* 65(SPE):98–107
- Grausgruber-Gröger S, Richter S, Mihić Salapura J, Kovačić Jošić D, Trkulja V, Reisenzein H (2016) First Report of *Dasheen mosaic virus* in *Zantedeschia* in Bosnia and Herzegovina. *New Disease Reports* 33(1):13. doi.10.5197/j.2044-0588.2016.033.013
- Dobson A (2009) Climate Variability, Global Change, Immunity, and the Dynamics of Infectious Diseases. *Ecology* 90(4):920–927. doi.10.1890/08-0736.1
- Dossa GS, Oliva R, Maiss E, Wydra K (2015) High Temperature Enhances the Resistance of Cultivated African Rice, *Oryza glaberrima*, to Bacterial Blight. *Plant Disease* 100(2):380–387. doi.10.1094/PDIS-05-15-0536-RE
- Eastburn D, Degennaro M, Delucia E, Dermody O, Mcelrone A (2010) Elevated Atmospheric Carbon Dioxide and Ozone Alter Soybean Diseases at SoyFACE. *Global Change Biology* 16(1):320–330. doi.10.1111/j.1365-2486.2009.01978.x
- Eigenbrode SD, Davis TS, Crowder DW (2015) Climate Change and Biological Control in Agricultural Systems: Principles and Examples from North America. In: Björkman C, Niemelä P (eds) *Climate Change and Insect Pests*, pp 119–135. CABI
- Evans N, Butterworth MH, Baierl A, Semenov MA, West JS, Barnes A, Moran D, Fitt BD (2010) The Impact of Climate Change on Disease Constraints on Production of Oilseed Rape. *Food Security* 2(2):143–156. doi.10.1007/s12571-010-0058-3
- Zhang S, Li X, Sun Z, Shao S, Hu L, Ye M, Zhou Y, Xia X, Yu J, Shi K (2015) Antagonism Between Phytohormone Signalling Underlies the Variation in Disease Susceptibility of Tomato Plants Under Elevated CO₂. *Journal of Experimental Botany* 66(7):1951–1963. doi.10.1093/jxb/eru538
- Zayan SA (2019) Impact of Climate Change on Plant Diseases and IPM Strategies. In: Topolovec-Pintaric S (ed) *Plant Diseases: Current Threats and Management Trends*, pp 83–95. IntechOpen
- Iličić R, Popović T (2020) Occurrence of *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* Causing Bacterial Leaf Spot and Shot-Hole on Peach in Montenegro. *Plant Disease* 104(4):1250. doi.10.1094/PDIS-06-19-1309-PDN
- Iličić R, Popović T (2021a) Occurrence of Bacterial Spot Caused by *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* on Peach and Apricot in Serbia. *Plant Disease* 105(3):697. doi.10.1094/PDIS-08-20-1817-PDN
- Iličić R, Popović T (2021b) Survey of Apple Collar and Rootstock Blight in Serbia. *Acta Agriculturae Serbica* 26(51):63–68. doi.10.5937/AASer21510631
- Iličić R, Jelušić A, Marković S, Barać G, Bagi F, Popović T (2022) *Pseudomonas cerasi*, the New Wild Cherry Pathogen in Serbia and the Potential Use of *recG* Helicase in Bacterial Identification. *Annals of Applied Biology* 180(1):140–150. doi.10.1111/aab.12717
- Ikegami M, Jenkins TAR (2018) Estimate Global Risks of a Forest Disease Under Current and Future Climates Using Distribution Model and Simple Thermal

- Model – Pine Wilt Disease as a Model Case. *Forest Ecology and Management* 409:343–352. doi.10.1016/j.foreco.2017.11.005
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, Whiteet LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 1–32. Cambridge University Press
- IPCC (2018) *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* [Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, Roberts D, Skea J, Shukla PR, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews JBR, Chen Y, Zhou X, Gomis MI, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds)], IPCC, pp 630
- IPPC Secretariat (2021a) *Plant Health and Climate Change*. FAO on Behalf of the IPCC Secretariat, Rome, pp 2
- IPPC Secretariat (2021b) *Scientific Review of the Impact of Climate Change on Plant Pests – A Global Challenge to Prevent and Mitigate Plant Pest Risks in Agriculture, Forestry and Ecosystems*. FAO on Behalf of the IPCC Secretariat, Rome, pp 72
- Jactel H, Desprez-Loustau ML, Battisti A, Brockerhoff E, Santini A, Stenlid A, Björkman C, Branco M, Dehnen-Schmutz K, Douma JC, Drakulic J, Drizou F, Eschen R, Franco JC, Gossner MM, Green S, Kenis M, Klapwijk MJ, Liebhold AM, Orazio C, Prospero S, Robinet C, Schroeder M, Slippers B, Stoev P, Sun J, van den Dool R, Wingfield MJ, Zalucki MP (2020) Pathologists and Entomologists Must Join Forces Against Forest Pest and Pathogen Invasions. *NeoBiota* 58:107–127. doi.10.3897/neobiota.58.54389
- Jelušić A, Berić T, Mitrović P, Dimkić I, Stanković S, Marjanović-Jeromela A, Popović T (2021a) New Insights into the Genetic Diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* Isolates from Winter Oilseed Rape in Serbia. *Plant Pathology* 70(1):35–49. doi.10.1111/ppa.13273
- Jelušić A, Popović T, Dimkić I, Mitrović P, Peeters K, Višnjevec AM, Tavzes Č, Stanković S, Berić T (2021b) Changes in the Winter Oilseed Rape Microbiome Affected by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and Biocontrol Potential of the Indigenous *Bacillus* and *Pseudomonas* Isolates. *Biological Control* 160:104695. doi.10.1016/j.biocontrol.2021.104695
- Jones JT, Haegeman A, Danchin EGJ, Gaur HS, Helder J, Jones MGK, Kikuchi T, Manzanilla-López R, Palomares-Rius JE, Wesemael WML, Perry RN (2013) Top 10 Plant Parasitic Nematodes in Molecular Plant Pathology. *Molecular Plant Pathology* 14(9):946–961. doi.10.1111/mpp.12057

- Jones RAC (2009) Plant Virus Emergence and Evolution: Origins, New Encounter Scenarios, Factors Driving Emergence, Effects of Changing World Conditions, and Prospects for Control. *Virus Research* 141(2):113–130. doi.10.1016/j.virusres.2008.07.028
- Jones RAC, Barbetti MJ (2012) Influence of Climate Change on Plant Disease Infections and Epidemics Caused by Viruses and Bacteria. *Plant Sciences Reviews* 7(22):1–31. doi.10.1079/PAVSNNR20127022
- Jones RAC (2016) Future Scenarios for Plant Virus Pathogens as Climate Change Progresses. *Advances in Virus Research* 95:87–147. doi.10.1016/bs.aivir.2016.02.004
- Juroszek P, von Tiedemann A (2011) Potential Strategies and Future Requirements for Plant Disease Management Under a Changing Climate. *Plant Pathology* 60(1):100–112. doi.10.1111/j.1365-3059.2010.02410.x
- Juroszek P, von Tiedemann A (2015) Linking Plant Disease Models to Climate Change Scenarios to Project Future Risks of Crop Diseases: A Review. *Journal of Plant Diseases and Protection* 122(1):3–15. doi.10.1007/BF03356525
- Juroszek P, Racca P, Link S, Farhumand J, Kleinhenz B (2020) Overview on the Review Articles Published During the Past 30 Years Relating to the Potential Climate Change Effects on Plant Pathogens and Crop Disease Risks. *Plant Pathology* 69(2):179–193. doi.10.1111/ppa.13119
- King M, Altdorff D, Li P, Galagedara L, Holden J, Unc A (2018) Northward Shift of the Agricultural Climate Zone Under 21st-Century Global Climate Change. *Scientific Reports* 8(1):1–10. doi.10.1038/s41598-018-26321-8i
- Kocmánková E, Trnka M, Juroch J, Dubrovský M, Semerádová D, Možný M, Žalud Z (2009) Impact of Climate Change on the Occurrence and Activity of Harmful Organisms. *Plant Protection Science* 45:S48–S52
- Kudela V (2009) Potential Impact of Climate Change on Geographic Distribution of Plant Pathogenic Bacteria in Central Europe. *Plant Protection Science* 45:S27–S32
- Lević J, Gošić-Dondo S, Ivanović D, Stanković S, Krnjaja V, Bočarov-Stančić A, Stepanić A (2013) An Outbreak of *Aspergillus* Species in Response to Environmental Conditions in Serbia. *Pesticides and Phytomedicine* 28(3):167–179. doi.10.2298/pif.v28i3.4040
- Lopian R (2018) Climate Change, Sanitary and Phytosanitary Measures and Agricultural Trade, The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO) 2018: Background Paper. FAO, Rome, pp 48
- Macfayden S, McDonald G, Hill MP (2018) From Species Distributions to Climate Change Adaptation: Knowledge Gaps in Managing Invertebrate Pests in Broad-Acre Grain Crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 253:208–219. doi.10.1016/j.agee.2016.08.029
- Malmstrom CM, Melcher U, Bosque-Pérez NA (2011) The Expanding Field of Plant Virus Ecology: Historical Foundations, Knowledge Gaps, and Research Directions. *Virus Research* 159(2):84–94. doi.10.1016/j.virusres.2011.05.010

- Marković S, Stanković S, Iličić R, Veljović Jovanović S, Milić Komić S, Jelušić A, Popović T (2021a) *Ralstonia solanacearum* as a Potato Pathogen in Serbia: Characterization of Strains and Influence on Peroxidase Activity in Tubers. *Plant Pathology* 70(8):1945–1959. doi.10.1111/ppa.13421
- Marković S, Stanković S, Jelušić A, Iličić R, Kosovac A, Poštić D, Popović T (2021b) Occurrence and Identification of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* and *Dickeya dianthicola* Causing Blackleg in Some Potato Fields in Serbia. *Plant Disease* 105(4):1080–1090. doi.10.1094/PDIS-05-20-1076-RE
- Marković S, Milić Komić S, Jelušić A, Iličić R, Bagi F, Stanković S, Popović T (2022) First Report of *Pectobacterium versatile* Causing Blackleg of Potato in Serbia. *Plant Disease* 106(1):312. doi.10.1094/PDIS-06-21-1128-PDN
- Medina MM (2017) Towards an Inclusive Risk-Based Approach in the Cross-Border Ecommerce Environment. 12th Commission on Phytosanitary Measures for IPPC, April 05 – 11, 2017, Incheon. Доступно на: https://assets.ippc.int/static/media/files/publication/en/2017/04/3_Rev_-_Towards_an_inclusive_risk-based_approach_in_the_cross-border_e-commerce_environment.pdf, Приступљено: 9. јун 2022
- Menéndez R (2007) How Are Insects Responding to Global Warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150(2):355
- Miedaner T, Juroszek P (2021a) Climate Change Will Influence Disease Resistance Breeding in Wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics* 134(6):1771–1785. doi.10.1007/s00122-021-03807-0
- Miedaner T, Juroszek P (2021b) Global Warming and Increasing Maize Cultivation Demand Comprehensive Efforts in Disease and Insect Resistance Breeding in North-Western Europe. *Plant Pathology* 70(5):1032–1046. doi.10.1111/ppa.13365
- Milus EA, Kristensen K, Hovmøller MS (2009) Evidence for Increased Aggressiveness in a Recent Widespread Strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Causing Stripe Rust of Wheat. *Phytopathology* 99(1):89–94. doi.10.1094/PHTO-99-1-0089
- Mitrović P, Đalović I, Kiprovski B, Veljović Jovanović S, Trkulja V, Jelušić A, Popović T (2021) Oxidative Stress and Antioxidative Activity in Leaves and Roots of Carrot Plants Induced by *Candidatus* Phytoplasma Solani. *Plants* 10(2):337. doi.10.3390/plants10020337
- Nancarrow N, Constable FE, Finlay KJ, Freeman AJ, Rodoni BC, Trebicki P, Vassiliadis S, Yena AL, Luck JE (2014) The Effect of Elevated Temperature on Barley Yellow Dwarf Virus-PAV in Wheat. *Virus Research* 186:97–103. doi.10.1016/j.virusres.2013.12.023
- Nikolić I, Stanković S, Dimkić I, Berić T, Stojšin V, Janse J, Popović T (2018) Genetic Diversity and Pathogenicity of *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* Isolated from Sugar Beet. *Plant Pathology* 67(5):1194–1207. doi.10.1111/ppa.12831
- Perković G, Berjan S, Govedarica B, Đurđić I, Bodiroga R, Tomić A (2017a) Organska poljoprivreda u funkciji održivog razvoja ruralnih područja Republike Srpske.

- XXII Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem, 10 – 11. mart 2017, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 153–158
- Perković G, Govedarica-Lučić A, Tomić A (2017) Uticaj različitih načina gajenja paprike na debljinu perikarpa ploda. XXII Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem, 10 – 11. mart 2017, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 147–152
- Petzoldt C, Seaman A (2006) Climate Change Effects on Insects and Pathogens. In: Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses, pp 6–16. New York State Agricultural Extension Station
- Popović T, Ivanović Ž, Živković S, Trkulja N, Ignjatov M (2013a) First Report of *Brenneria nigrifluens* (Wilson et al.) hauben et al. as the Causal Agent of Shallow-Bark Canker on Walnut Trees (*Juglans regia* L.) in Serbia. Plant Disease 97(11):1504. doi.10.1094/PDIS-03-13-0267-PDN
- Popović T, Balaž J, Starović M, Trkulja N, Ivanović Ž, Ignjatov M, Jošić D (2013b) First Report of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* as the Causal Agent of Black Rot on Oilseed Rape (*Brassica napus*) in Serbia. Plant Disease 97(3):418. doi.10.1094/PDIS-05-12-0506-PDN
- Popović T, Ivanović Ž, Ignjatov M (2015) First Report of *Pseudomonas viridiflava* Causing Pith Necrosis of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Serbia. Plant Disease 99(7):1033. doi.10.1094/PDIS-01-15-0052-PDN
- Popović T, Ivanović Ž (2015) Occurrence of *Acidovorax citrulli* Causing Bacterial Fruit Blotch of Watermelon in Serbia. Plant Disease 99(6):886. doi.10.1094/PDIS-12-14-1276-PDN
- Popović T, Blagojević J, Aleksić G, Jelušić A, Krnjajić S, Milovanović P (2018) A Blight Disease on Highbush Blueberry Associated with *Macrophomina phaseolina* in Serbia. Canadian Journal of Plant Pathology 40(1):121–127. doi.10.1080/07060661.2017.1415977
- Popović T, Marković S, Bijelić Ž, Ilić R, Jelušić A, Stanković S (2018) *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* – novi patogen krompira u Srbiji. XV Savetovanje o zaštiti bilja, 26 – 30. novembar 2018, Zlatibor, Zbornik rezimea radova XV Savetovanja o zaštiti bilja, str 23
- Popović T, Jelušić A, Marković S, Ilić R (2019a) Characterization of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* Isolates from a Recent Outbreak on Cabbage in Bosnia and Herzegovina. Pesticides and Phytomedicine 34(3–4): 211–222. doi.10.2298/PIF1904211P
- Popović T, Jelušić A, Dimkić I, Stanković S, Poštić D, Aleksić G, Veljović Jovanović S (2019b) Molecular Characterization of *Pseudomonas syringae* pv. *coriandricola* and Biochemical Changes Attributable to the Pathological Response on Its Hosts Carrot, Parsley, and Parsnip. Plant Disease 103(2):3072–3082. doi.10.1094/PDIS-03-19-0674-RE
- Popović T, Mitrović P, Jelušić A, Dimkić I, Marjanović-Jeromela A, Nikolić I, Stanković S (2019c) Genetic Diversity and Virulence of *Xanthomonas campestris* pv.

- campestris* Isolates from *Brassica napus* and six *Brassica oleracea* Crops in Serbia. *Plant Pathology* 68(8):1448–1457. doi.10.1111/ppa.13064
- Popović T, Jelušić A, Živković LJ, Živković N, Iličić R, Stanisavljević R, Stanković S (2020) Identification, Genetic Characterization and Virulence of Serbian *Erwinia amylovora* Isolates. *European Journal of Plant Pathology* 157(4):857–872. doi.10.1007/s10658-020-02046-1
- Popović T, Marković S (2020) Risk of Introduction of Quarantine Organisms: Case *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*. XI International Scientific Agricultural Symposium „Agrosym 2020“, October 08 – 09, 2020, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Book of Proceedings, pp 541–546
- Porter JH, Parry ML, Carter TR (1991) The Potential Effects of Climatic Change on Agricultural Insect Pests. *Agricultural and Forest Meteorology* 57(1–3):221–240
- Prakash A, Rao J, Mukherjee AK, Berliner J, Pokhare SS, Adak T, Munda S, Shashank PR (2014) Climate Change: Impact on Crop Pests. *Applied Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute, Odisha*, pp 205
- Pritchard SG, Rogers HH, Prior SA, Peterson CM (1999) Elevated CO₂ and Plant Structure: A Review. *Global Change Biology* 5(7):807–837
- Roos J, Hopkins R, Kvarnheden A, Dixelius C (2011) The Impact of Global Warming on Plant Diseases and Insect Vectors in Sweden. *European Journal of Plant Pathology* 129(1):9–19. doi.10.1007/s10658-010-9692-z
- Shrestha S (2019) Effects of Climate Change in Agricultural Insect Pest. *Acta Scientific Agriculture* 3(12):74–80. doi.10.31080/ASAG.2019.03.0727
- Siciliano I, Berta F, Bosio P, Gullino ML, Garibaldi A (2017a) Effect of Different Temperatures and CO₂ Levels on *Alternaria* Toxins Produced on Cultivated Rocket, Cabbage and Cauliflower. *World Mycotoxin Journal* 10(1):63–71. doi.10.3920/WMJ2016.2108
- Siciliano I, Bosio P, Gilardi G, Gullino ML, Garibaldi A (2017b) Verrucarins A and Roridin E Produced on Spinach by *Myrothecium verrucaria* Under Different Temperatures and CO₂ Levels. *Mycotoxin Research* 33(2):139–146. doi.10.1007/s12550-017-0273-2
- Siebold M, von Tiedemann A (2012) Potential Effects of Global Warming on Oilseed Rape Pathogens in Northern Germany. *Fungal Ecology* 5(1):62–72. doi.10.1016/j.funeco.2011.04.003
- Skendžić S, Zovko M, Živković IP, Lešić V, Lemić D (2021) The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects* 12(5):440. doi.10.3390/insects12050440
- Srivastava A, Kumar SN, Aggarwal PK (2010) Assessment of Vulnerability of Sorghum to Climate Change in India. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138(3–4): 160–169. doi.10.1016/j.agee.2010.04.012
- Stanković S, Lević J, Ivanović D (2007) Genetic Variability of Maize Pathogens in Serbia. *Genetika* 39(2):227–240. doi.10.2298/GENSRO702227S

- Suggitt AJ, Wilson RJ, Isaac NJB, Beale CM, Auffret AG, August T, Bennie JJ, Crick HQP, Duffield S, Fox R, Hopkins JJ, Macgregor NA, Morecroft MD, Walker KJ, Maclean IMD (2018) Extinction Risk From Climate Change is Reduced by Microclimatic Buffering. *Nature Climate Change* 8(8):713–717. doi.10.1038/s41558-018-0231-9
- Tomić A, Milošević D, Bodiřoga R (2018) Efikasnost fungicida u suzbijanju pegavosti lišća cvekle (*Cercospora beticola*). XXIII Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem, 09 – 10. mart 2018, Čačak, Agronomski fakultet u Čačku, Zbornik radova 1, str 384–389
- Trębicki P, Nancarrow N, Cole E, Bosque-Pérez NA, Constable FE, Freeman AJ, Rodoni B, Yen AY, Luck JE, Fitzgerald GJ (2015) Virus Disease in Wheat Predicted to Increase with a Changing Climate. *Global Change Biology* 21(9):3511–3519. doi.10.1111/gcb.12941
- Trkulja V, Stojčić J (2002) Pojava virusa žute patuljavosti ječma u Republici Srpskoj. *Biljni lekar* 1:31–38
- Trkulja V, Duduk B, Botti S, Ivanović M, Stojčić J, Bertaccini A (2004) *Pear decline phytoplasma* – nov patogen kruške u Bosni i Hercegovini. V Kongres o zaštiti bilja, 22 – 26. novembar 2004, Zlatibor, Zbornik rezimea, str 140–141
- Trkulja V, Karić N, Ostojčić I, Treštić T, Dautbašić M, Mujezinović O (2012) Atlas karantinskih štetnih organizama. Uprava Bosne i Hercegovine za zaštitu zdravlja bilja, Sarajevo, str 668
- Trkulja V, Mihić Salapura J, Ćurković B, Stanković I, Bulajić A, Vučurović A, Krstić B (2013a) First Report of *Tomato spotted wilt virus* on *Gloxinia* in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 97(3):429. doi.10.1094/PDIS-08-12-0777-PDN
- Trkulja V, Mihić Salapura J, Ćurković B, Stanković I, Bulajić A, Vučurović A, Krstić B (2013b) First Report of *Impatiens necrotic spot virus* on Begonia in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 97(7):1004. doi.10.1094/PDIS-01-13-0088-PDN
- Trkulja V, Mihić Salapura J, Kovačić D, Stanković I, Bulajić A, Vučurović A, Krstić B (2013c) First Report of *Iris yellow spot virus* Infecting Onion in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 97(3):430. doi.10.1094/PDIS-09-12-0893-PDN
- Trkulja V (2014) O prvom nalazu *Xylella fastidiosa* – opasnog karantinskog patogena na maslinama i drugim biljkama domaćinima u Italiji. *Biljni lekar* 6:442–462
- Trkulja V, Jošić Kovačić D, Mihić Salapura J, Stanković I, Vučurović A, Bulajić A, Krstić B (2014a) First Report of *Zucchini yellow mosaic virus* in Watermelon in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 98(6):858. doi.10.1094/PDIS-11-13-1156-PDN
- Trkulja V, Vasić J, Vuković B, Stanković I, Vučurović A, Bulajić A, Krstić B (2014b) First Report of *Watermelon mosaic virus* Infecting Melon and Watermelon in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 98(12):1749. doi.10.1094/PDIS-07-14-0752-PDN
- Trkulja V, Adamović D, Đalović I, Mitrović P, Kovačić-Jošić D, Lukač Z, Komić J (2016) First Report of Stolbur Phytoplasma Associated with *Anethum graveolens* in Serbia. *Plant Disease* 100(2):516. doi.10.1094/PDIS-07-15-0822-PDN

- Trkulja V, Vasić J, Mihić-Salapura J, Kovačić-Jošić D (2018) 'Candidatus *Phytoplasma vitis*' – prouzrokovalac zlatastog žutila vinove loze kao potencijalna opasnost za vinograde u Bosni i Hercegovini. Znanstveno stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem: „130 godina organiziranoga vinogradarstva i vinarstva u BiH“, 21 – 22. septembar 2018, Mostar, Federalni agromediterranski zavod, Agronomski i prehrambeno – tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, Zbornik radova, str 488–503
- Trkulja V, Miladinović Z, Stojčić J, Mihić Salapura J, Tomić A, Vuković B (2019) Pojava bakterijske mrljivosti plodova lubenice na području Lijeve Polje. XVI Simpozijum o zaštiti bilja u Bosni i Hercegovini, 5 – 7. novembar 2019, Mostar, Zbornik rezimea, str 51–52
- Trkulja V, Mitrović P, Salapura JM, Ilić R, Ćurković B, Đalović I, Popović T (2021) First Report of 'Candidatus *Liberibacter solanacearum*' on Carrot in Serbia. *Plant Disease* 105(4):1188. doi.10.1094/PDIS-11-20-2384-PDN
- Fahim MA, Hassanein MK, Abou Hadid AF, Kadah MS (2011) Impacts of Climate Change on the Widespread and Epidemics of Some Tomato Diseases During the Last Decade in Egypt. *Acta Horticulturae* 914:317–320. doi.10.17660/ActaHortic.2011.914.57
- Falco SD, Adinolfi F, Bozzola M, Capitanio F (2014) Crop Insurance as a Strategy for Adapting to Climate Change. *Journal of Agricultural Economics* 65(2):485–504. doi.10.1111/1477-9552.12053
- FAO (2008) Climate-Related Transboundary Pests and Diseases (Technical Background Document from the Expert Consultation Held on 25 to 27 February 2008). FAO, Rome, pp 59
- FAO (2021) Strategic Framework for the International Plant Protection Convention (IPPC) 2020–2030. FAO on Behalf of the IPPC Secretariat, Rome, pp 40
- Frem M, Chapman D, Fucilli V, Choueiri E, Moujabber ME, Notte PL, Nigro F (2020) *Xylella fastidiosa* Invasion of New Countries in Europe, the Middle East and North Africa: Ranking the Potential Exposure Scenarios. *Neobiota* 59:77–97. doi.10.3897/neobiota.59.53208
- Hannukkala AO, Kaukoranta T, Lehtinen A, Rahkonen A (2007) Late-Blight Epidemics on Potato in Finland, 1933–2002: Increased and Earlier Occurrence of Epidemics Associated with Climate Change and Lack of Rotation. *Plant Pathology* 56(1): 167–176. doi.10.1111/j.1365-3059.2006.01451.x
- Hibberd JM, Whitbread R, Farrar JF (1996) Effect of Elevated Concentrations of CO₂ on Infection of Barley by *Erysiphe graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 48(1):37–53. doi.10.1006/pmpp.1996.0004
- Huang L, Ren Q, Sun Y, Ye L, Cao H, Ge F (2012) Lower Incidence and Severity of Tomato Virus in Elevated CO₂ is Accompanied by Modulated Plant Induced Defence in Tomato. *Plant Biology* 14(6):905–913. doi.10.1111/j.1438-8677.2012.00582.x
- Huang YJ, Evans N, Li ZQ, Eckert M, Chèvre AM, Renard M, Fitt BD (2006) Temperature and Leaf Wetness Duration Affect Phenotypic Expression of

- Rlm6-Mediated Resistance to *Leptosphaeria maculans* in *Brassica napus*. *New Phytologist* 170(1):129–141. doi.10.1111/j.1469-8137.2005.01651.x
- Hunjan MS, Lore JS (2020) Climate Change: Impact on Plant Pathogens, Diseases, and Their Management. In: Jabran K, Florentine S, Chauhan B (eds) *Crop Protection Under Changing Climate*, pp 85–100. Springer
- Canto T, Aranda MA, Fereres A (2009) Climate Change Effects on Physiology and Population Processes of Hosts and Vectors that Influence the Spread of Hemipteran-Borne Plant Viruses. *Global Change Biology* 15(8):1884–1894. doi.10.1111/j.1365-2486.2008.01820.x
- Carter TR, Saarikko RA, Niemi KJ (1996) Assessing the Risks and Uncertainties of Regional Crop Potential Under a Changing Climate in Finland. *Agricultural and Food Science* 5(3):329–350. doi.10.23986/afsci.72750
- Carvajal-Yepes M, Cardwell K, Nelson A, Garrett KA, Giovani B, Saunders D, Kamoun S, Legg JP, Verdier V, Lessel J, Neher RA, Day R, Pardey P, Gullino PM, Records AR, Bextine B, Leach JE, Staiger S, Tohme J (2019) A Global Surveillance System for Crop Diseases. *Science* 364(6447):1237–1239. doi.10.1126/science.aaw1572
- Coakley SM, Scherm H, Chakraborty S (1999) Climate Change and Plant Disease Management. *Annual Review of Phytopathology* 37(1):399–426. doi.10.1146/annurev.phyto.37.1.399
- Crowl TA, Crist TO, Parmenter RR, Belovsky G, Lugo AE (2008) The Spread of Invasive Species and Infectious Disease as Drivers of Ecosystem Change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(5):238–246. doi.10.1890/070151
- Cuevas-Fernández FB, Robledo-Briones AM, Baroncelli R, Trkulja V, Thon MR, Buhinicek I, Sukno SA (2019) First Report of *Colletotrichum graminicola* Causing Maize Anthracnose in Bosnia and Herzegovina. *Plant Disease* 103(12):3281. doi.10.1094/PDIS-06-19-1224-PDN
- Chakraborty S, Pangga IB, Lupton J, Hart L, Room PM, Yates D (2000) Production and Dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* Spores on *Stylosanthes scabra* Under Elevated CO₂. *Environmental Pollution* 108(3):381–387. doi.10.1016/s0269-7491(99)00217-1
- Chakraborty S, Pangga IB (2004) Plant Disease and Climate Change. In: Gillings M, Holmes A (eds) *Plant Microbiology*, pp 163–180. BIOS Scientific Publishers
- Chakraborty S, Luck J, Hollaway G, Freeman A, Norton R, Garrett KA (2008) Impacts of Global Change on Diseases of Agricultural Crops and Forest Trees. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 3(054):1–15. doi.10.1079/PAVSNNR20083054
- Chen CC, McCarl BA (2001) An Investigation of the Relationship Between Pesticide Usage and Climate Change. *Climatic Change* 50(4):475–487. doi.10.1023/A:1010655503471
- Choudhary JS, Kumari M, Fand BB (2019) Linking Insect Pest Models with Climate Change Scenarios to Project Against Future Risks of Agricultural Insect Pests. *CAB Reviews* 14(055):1–13. doi.10.1079/PAVSNNR201914055

- Waleron M, Misztak A, Waleron M, Franczuk M, Jonca J, Wielgomas B, Mikiciński A, Popović T, Waleron K (2019) *Pectobacterium zantedeschiae* sp. nov. A New Species of a Soft Rot Pathogen Isolated from Calla Lily (*Zantedeschiae* spp.). *Systematic and Applied Microbiology* 42(3):275–283. doi.10.1016/j.syapm.2018.08.004
- Wolfe DW, Ziska L, Petzoldt C, Seaman A, Chase L, Hayhoe K (2008) Projected Change in Climate Thresholds in the Northeastern U.S.: Implications for Crops, Pests, Livestock, and Farmers. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13:555–575. doi.10.1007/s11027-007-9125-2
- Yoro KO, Daramola MO (2020) CO₂ Emission Sources, Greenhouse Gases, and the Global Warming Effect. In: Rahimpour MR, Farsi M, Makarem MA (eds) *Advances in Carbon Capture – Methods, Technologies and Applications*, pp 3–28. Woodhead Publishing

The Impact of Climate Change on the Occurrence of Diseases and Pests of Agricultural Plants and Forest Trees

Vojislav Trkulja, Andrija Tomić, Tatjana Popović, Renata Iličić

Summary

The effects of climate change on harmful organisms are complex because other factors of influence are not constant, but are changing. In addition, climate change can affect harmful organisms differently or similarly, depending on which group of organisms they belong to: fungi, bacteria, viruses, insects, nematodes, etc. In fitopathogenic fungi, these effects are manifested in terms of: changes in biology; faster evolution due to longer seasons of the year; the emergence of new races or greater aggressiveness of existing species due to gene recombination; changes in geographical distribution, either towards the northern hemisphere or in areas of higher altitude; introduction of quarantine and invasive species, as well as expansion into new areas in relation to the area of origin; higher mycotoxin production; etc. For viruses and bacteria, which are transmitted by vectors, the impact of climate change on the presence, spreading and number of vectors is of special importance. The positive impact of climate change on different pests can be manifested in the form of: changes in biology and emergence of a higher number of generations; increased numbers and fertility; better overwintering; extended range of hosts; introduction of quarantine and invasive species; spreading to new areas; etc. The positive effects of climate change on harmful organisms are most often with a negative effect on the development of agriculture and food production, forestry development, biodiversity and the environment – due to possibility of greater economic damage, as well as greater needs for pesticides. Climate change can also affect host plants, with their loss of the natural basis of resistance being of particular importance.

Although some progress has been made in monitoring and understanding climate change, there is still a need for many scientific, technical and institutional solutions to precisely plan, adjust and alleviate the effects of climate change on harmful organisms and hosts, as well as their interaction.

Keywords: Climate change, diseases, pests, agricultural plants, forest trees

Дендроклиматологија: основни појмови, технике мјерења и могућности истраживања у Републици Српској

Раде Ивановић, Милан Миленковић

Сажетак: Дендрохронологија је млада научна дисциплина чије методе се користе у палеогеографским истраживањима у циљу увида у стање, као и промјене у животној средини. Из ње је настала дендроклиматологија, која се користи за проучавање климатских трендова у рецентном периоду, на основу чега се могу утврдити и промјене које су се дешавале у климатском комплексу у прошлости. Захваљујући способности дрвећа да формира годове у складу са климатским утицајима, могуће је утврдити да ли постоји корелација између метеоролошких података и података добијених дендроклиматолошким анализама.

Дендроклиматологија је постала битан инструмент за анализу вишегодишњих климатских колебања и промјена. У раду су приказани резултати досадашњих истраживања и перспективе реконструкције климе дендроклиматолошким методама на простору Републике Српске.

Цитирање: Ивановић Р, Миленковић М (2023) Дендроклиматологија: основни појмови, технике мјерења и могућности истраживања у Републици Српској. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:519–543

Cite as: Ivanović R, Milenković M (2023) Dendroclimatology: Basic Concepts, Measurement Techniques and Research Possibilities in the Republic of Srpska. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:519–543

Иако је код нас још у повоју, ова наука је веома значајна за проучавања климе у прошлости, као и осталих узрочно-последичних промјена везаних за климатске осцилације.

Простор Републике Српске је у знатном проценту покривен шумама у којима је честа појава стабала велике старости. На наведеном подручју постоји низ предности, али и ограничења за дендроклиматолошка истраживања. На простору Републике Српске ова истраживања су све до уназад неколико година вршена спорадично. Интензивнија истраживања последњих година стварају основу за боља разумијевања рецентне климе и палеоклиме. Имајући у виду наведено, може се закључити да Република Српска има значајан потенцијал за дендроклиматолошка истраживања.

Кључне ријечи: Дендроклиматологија, дендрохронологија, Република Српска, реконструкција климе, технике мјерења

12.1. Увод

У најширем смислу ријечи, дендроклиматологија проучава утицај појединих климатских фактора на ширину година дрвета (Дуцић 1991). Узорковање се врши са већег броја стабала исте врсте на одређеној територији, или пак са само једног стабла велике старости. Стабла својим прирашћивањем у дебљину континуирано и стално биљеже утицај климатских чинилаца, али и других фактора, као што су пожари, инсекти, штетни гасови (Van Densen 1987). Захваљујући овој способности могуће је истраживати да ли постоји корелација између метеоролошких података и података добијених дендроклиматолошким анализама. Дендроклиматологија је постала битан инструмент за анализу дугогодишњих климатских колебања и промјена. Дендроклиматолошка истраживања имају изузетан значај за реконструкцију климатских прилика у прошлости, као и осталих (узрочно-последичних) промјена везаних за климатске осцилације.

Дендрохронологија је наука која се бави датирањем и проучавањем прстенова прираста дрвећа и жбуња (Smith and Lewis 2007). Упоредивањем појединачних климатских фактора, као што су падавине, температура, сунчани периоди и индекси суше, са годишњим вриједностима прираста година, као што су границе года (Fritts 1976), густина година (Schweingruber et al. 1978; McCarroll et al. 2002) или стабилни изотопи (McCarroll and Loader 2004), могуће је идентификовати најважније климатске параметре раста и реконструисати их уназад до периода када су узети узорци. То је могуће ако

развијена хронологија година садржи значајан климатски сигнал и постоји довољна дужина инструменталних климатских података (Poljanšek et al. 2015).

Годови дрвета су вриједан биоиндикатор и они могу повезати више еколошких фактора који утичу на раст шума (Schweingruber 1996). Дендроклиматолошка истраживања спроведена посљедњих деценија омогућила су разумијевање утицаја надморске висине на раст стабла, као и реакцију стабла на различите еколошке чиниоце (Мeko et al. 1993).

Постоје различите дефиниције појма дендрохронологије, али се све оне свде на то да је она метод научног датирања базиран на анализи обрасца раста прстенова прираста стабла. Једноставно речено, дендрохронологија је датирање прошлих догађаја (међу које спадају и климатски догађаји) преко посматрања раста година. Ботаничари, шумари и археолози користе ову технику од почетка XX вијека. Њу је увео Даглас (*A. E. Douglass*) са Универзитета у Аризони, који је примијетио да су широки годови одређених примјерака дрвећа настали током влажних година, док су ужи формирани током сувих сезона (Dusić 1995).

Сваке године стабло додаје слој дрвета на деблу и гранама и тако ствара годишње прстенове, који су видљиви на попречном пресеку. Ћелије новог дрвета расту од камбијалног прстена, између „старог“ прстена и коре стабла. Прве нове ћелије у прољеће су велике, али се током љетњег периода формирају мање. У јесен раст престаје и ћелије умиру. Контраст између старих (малих) ћелија и нових (већих) ћелија насталих наредне године довољан је да се уоче прстенови прираста. Годови се могу користити за реконструкцију климе у прошлости, као и за процјену ефекта новијих климатских и еколошких промјена које су утицале на раст дрвећа.

Дендроклиматологија је једна од поддисциплина дендрохронологије, која има и низ других поддисциплина: дендрогеоморфологија, дендрохидрологија, дендроекологија, дендрoarхеологија итд. Наведене технике могу доказати не само промјену климатских прилика на основу година већ дати и бројне друге информације које могу бити од користи за археологију, екологију и друге научне дисциплине (Говедар и Голијанин 2007).

Већина врста дрвећа у умјереним зонама повећава своју дрвну масу за један прстен сваке године. За читав животни вијек, годину за годином, формирају се годови, који рефлектују климатске услове у којима је стабло расло. Адекватно наводњавање и дужа сезона раста узрокују шире прстенове, док се у условима који представљају супротност томе, могу појавити и веома уски. Стабла из исте регије створиће приближно исту мрежу година за одређени период. Мреже година се пореде прстен по прстен и на тај начин могуће је

установити подударарење за одређену географску зону, као и за климатске услове. Мјерењем ширине прстенова живог дрвећа с временом се може израдити хронологија. Велики број различитих уређаја за мјерење и мноштво софтверских пакета користе се за статистичке анализе информација из прстенова, али ништа у потпуности не може да замијени људско око (Ивановић 2013).

Дендроклиматологија је у Републици Српској још у повоју. У овом поглављу приказани су резултати досадашњих истраживања.

12.2. Историјски развој

Мада је још у XV вијеку Леонардо да Винчи уочио везу између ширине година и падавина у сушним областима, почетак модерне дендроклиматологије везује се за имена Ендрјуа Дагласа (*Andrew E. Douglass*) и Елсворта Хантингтона (*Ellsworth Huntington*), који су тридесетих година прошлог вијека вршили ова истраживања на подручју Калифорније. Они су радили са дуговјечним врстама дрвећа (секвоја и жути бор), тако да су могли да изврше реконструкцију климе за више хиљада година уназад. У новије вријеме за Калифорнију је направљена непрекидна дендроскала (график ширине година) за врсту *Pinus aristata* Engelm. (чекињасти бор Стјеновитих планина) у трајању од 7.117 година, а са прекидима ова скала иде чак до 9.000 година (Дуцић 1991).

Даглас је био убијеђен да падавине пресудно утичу на раст дрвећа на сувом југозападу САД, као и да ова стабла у себи чувају податке о томе. Са друге стране, претпоставио је да соларна радијација, кроз испаравање са океана и стварање вјетрова који на континент доносе испарења у виду кише, одређује количину падавина. На крају је закључио да варијације у соларној активности доводе до варијација у количини падавина, што се рефлектује на годовима. Према томе, годови су могли да послуже и као индикатор соларне активности, а самим тим и као средство за астрофизичка истраживања.

Даглас је своју теорију доказивао користећи податке о прошлим и тадашњим варијацијама Сунчевих пјега. Интензивно је сакупљао податке којима би поткријепио своју теорију. Године 1906. постављен је за професора на Унивезитету у Аризони, а до тада је имао 25 сакупљених узорака, међу којима су неки показивали сличне распореде густине година. Ови распореди, као и подаци о години када је дрво посјечено, омогућили су укрштања распореда са различитих узорака и на тај начин стварање дужих временских серија. Ова техника је данас позната као крос релациона анализа. Дагласово занимање

за Сунчеве пјеге довело је до стварања нове науке – дендрохронологије (Webb 1986).

Прве три године на универзитету Даглас је анализирао узорке југозападног жутог бора, покушавајући да повеже распоред година са распоредом падавина и соларном активношћу. Такође је сакупљао метеоролошке податке како би направио годишњи пресјек падавина. Јуна 1909. године објавио је свој први чланак на тему повезаности активности Сунца и климе на Земљи. Повезујући раст стабала са активношћу Сунчевих пјега и климе, Даглас је утврдио циклусе од 32,8 година, 21,2 године и 11,3 година. Подаци о падавинама такође су указивали на цикличне промјене од 11 година, што га је увјерило да су Сунчеве пјеге повезане са климатским промјенама на Земљи (Douglass 1909).

Даглас је наставио да скупља узорке из околине Флагстафа, као и из око 100 км удаљене области Прескот. Узорци дрвећа из два различита округа су се у значајној мјери поклапали, а неке карактеристике биле су лако уочљиве, као на примјер веома узан прстен из 1851. године. С временом је своја истраживања проширио и ван САД, тако да је у периоду 1912–1914. године путовао по Европи и сакупљао узорке из Њемачке, Шведске, Аустрије и Норвешке. Посебну пажњу су му привукли узорци из Прусије, који су се у потпуности уклапали у једанаестогодишње Сунчеве циклусе. По повратку је урадио хронологију и корелације за узорке из околине Флагстафа све до касног XIV вијека.

До 1918. године Дагласова истраживања су толико узнапредовала да је отворена дискусија о новој науци, дендрохронологији. Сљедеће године је детаљно описао развој нове науке, као и технике и резултате добијене током вишегодишњих испитивања многобројних узорака. На основу више од 75.000 прстенова и путем унакрсног укрштања добио је податке за 500 година, који су јасно указивали на цикличност (Douglass 1919). Даглас је одиграо кључну улогу у стварању научне дисциплине дендрохронологије, као и њених огранака дендроклиматологије и дендроекологије. Био је увјерен да су највреднији домети ових дисциплина везани за климатске промјене на Земљи (Webb 1986).

Данас у свијету постоји више дендрохролошких и дендроклиматолошких лабораторија, од којих је најпознатија она при Универзитету Аризона, у оквиру којег постоји редовна публикација под називом *Tree-Ring Research* (раније позната под називом *Tree-Ring Bulletin*), која излази од 1934. године. Такође постоји и часопис *Dendrochronologia* (излази од 1983. године).

Преко 1.500 записа о достигнућима из ових области налази се у Међународној банци података о прстеновима дрвећа (*International Tree-Ring Data Bank*, ITRDB) у Булдеру у Колораду. До података се може доћи и преко Грисино-

Мајерсовог (*H. Grissino–Mayers*) веб-сајта, који је повезан са неколико десетина лабораторија широм свијета. На њему су приказана 6.752 библиографска записа и они се свакодневно допуњавају (Kuniholm 2001).

У бившем СССР је најактивнија била лабораторија Института ботанике АН Литванске ССР, која је направила дендроскалу за Прибалтик за око 1.000 година уназад. И за Западну Европу су дендроскале комплетирани за око 1.000 година (на основу храстова и јоха). Ова техника је нарочито примјењивана у Француској, Швајцарској, Италији и Њемачкој, а од нордијских земаља у Финској (Дуцић 1991).

Од географа у Србији дендроклиматологијом се бави Владан Дуцић, професор Географског факултета у Београду, који је у свом магистарском раду посебан одјељак посветио управо дендроклиматолошкој реконструкцији климе у Србији (Дуцић 1995). Исти аутор утврдио је и утицај активности Сунца на ширину година (Дуцић 2008). И у својим каснијим радовима наставио је да се бави климатологијом и дендроклиматологијом (Milenković et al. 2010; Дуцић et al. 2015а, 2015б, 2015в).

Што се тиче осталих држава Балканског полуострва, у Бугарској је на основу 21 узорка букве у сливу ријеке Черни Вит утврђена веза између Сунчеве активности и ширине година (Дуцић 1995). У Румунији је на основу бора *Pinus cembra* L. урађена дендроскала за период 1163–2005. године (Pora and Kern 2009). У Албанији је на основу мунике (*Pinus heldreichii* H. Christ) урађена дендроскала за 1.391 годину (за период 617–2008. година). Утврђена је висока позитивна корелација са љетњим температурама, посебно за август, али значајне корелације са падавинама није било (Seim et al. 2012). У Словенији се дендроклиматологијом посљедњих деценија бави Огрин, који је истраживао везу између падавина и прираста и утврдио да она није функционална него статистичка (Ogrin 1998).

12.3. Биолошка основа и утицај средине

Основни објекат дендрохронолошких истраживања су дебла, односно годови. Год настаје активношћу камбијума за вријеме вегетационог периода. Ова активност се прекида у јесен и све до прољећа је период мировања. Сваке године камбијум додаје по један слој дрвета. Ови слојеви су код многих врста јасно видљиви. Сваки год има прољетње дрво, које је богатије судовима и свјетлије, и јесење дрво, састављено од елемената са дебљим зидовима и више механичког ткива.

Годови се међусобно разликују према степену маркантности, току граничне линије, ширини, начину низања и боји. Под маркантношћу се подразумева степен изразитости граничне линије између два сусједна года. Степен маркантности је утолико већи уколико је већа разлика у интензитету боје и сјаја прошлогодишњег јесењег и овогодишњег прољетњег дрвета и углавном је већи код четинара него код лишћара. Ширина года зависи од врсте, старости стабла и услова средине, односно станишта. По правилу, ширина года се са старашћу најприје повећава, а послје постизања максималне величине она опада. Спољашњи услови имају велики утицај на ширину година, те се тако у повољној години стварају релативно широки, а у неповољној уски годови (Дуцић 1991).

Превише је поједностављено рећи да је дендрохронологија, односно дендроклиматологија, бројање прстенова засновано на падавинама и специфичностима стабла. Неопходно је узети у обзир и бројне друге факторе. Они су нарочито изражени код старијих четинара јер њихов раст може зависити од више чинилаца, као што су: рељеф, климатски фактори (Сунце, вјетар, температура, количина падавина), врста и квалитет земљишта итд.

Дрво расте кроз издужене и радијалне прираштаје. Издужени прираштаји су у основи изданка, док су радијални прираштаји обогаћени камбијумом (камбијум представља зону живих ћелија између дрвета и коре), и управо они су значајни за дендроклиматолошка проучавања (Сл. 12.1). Раст није континуиран процес, већ постоје варирања.

Дендроклиматологија зависи од годишњих доба, која су у већини случајева климатски контролисана. У хладним регионима постоји успавана сезона од јесени до прољећа и сезона раста у току љета. Период стагнације током хладнијег дијела године доводи до тога да камбијум производи нове ћелије које граде унутрашњост дрвета и спољни слој коре. Нови годишњи прираштај дрвета и коре развија се између постојећих наслага ткива (Douglass 1914).

Сложеност дендроклиматолошке проблематике произлази из чињенице да је раст дрвећа изложен разним факторима средине па је због тога и варирање ширине година узроковано разним станишним чиниоцима. Уколико је раст стабла био више ограничен набројаним факторима средине, биће присутно више варијација година и њиховог раста. Ове варијације се означавају *sensitive* (осјетљивост), док се недостатак варијација означава *complacent* (повољност, угодност). Стабла која показују осјетљивост су она која су погођена факторима као што су нагнутост терена, сиромашно земљиште, мала влажност и друго. *Complacent* се односи на константне повољне услове као што су: добра влажност, плодно земљиште, заштићена локација, па је због тога ширина година уједначена (Dusić 1995).



Сл. 12.1. Годови, основни објекат истраживања дендроклиматологије (Фото Ивановић Р 2013)

Fig. 12.1. Tree rings, the basic object of dendroclimatology research (Photo Ivanović R 2013)

Раст дрвета је условљен бројним факторима, не само температуром већ и болестима, нападом инсеката и разним антропогеним утицајима. Веза између раста стабла и климе веома је компликована. Због тога је за дендроклиматолошка истраживања неопходно осигурати локалну контролу утицајних фактора у циљу примјене статистичких метода обраде података (Надживковић 1991).

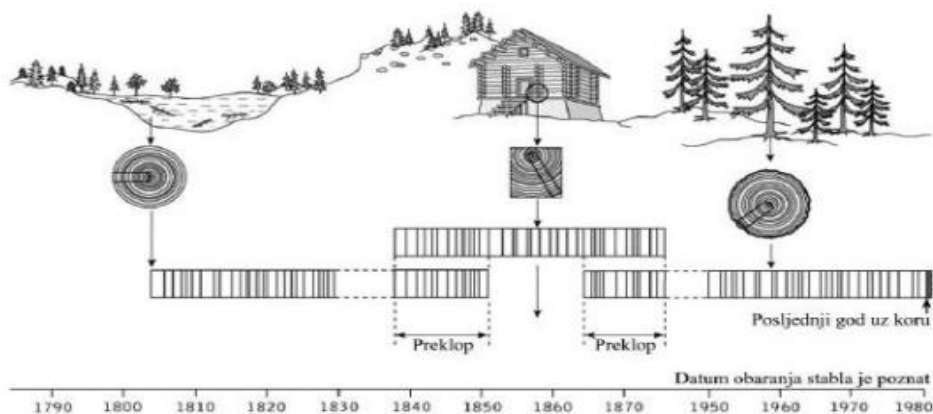
Узимањем за узорке стабла која се налазе на осами искључује се међусобни утицај једног стабла на друго (састојински утицај) у току развоја и омогућава да се смањи број фактора који утичу на ток и величину прираста. Тада до изражаја долазе фактори средине без утицаја шуме као екосистема. Такође, битно је да се води рачуна да су та стабла на осами цијели живот провела као таква, а не у саставу шуме у неком периоду свога живота. Поред наведеног, потребно је бирати стабла која расту у екстремним еколошким условима јер тако до максимума долази до изражаја утицај климатских елемената. У истраживања је потребно укључивати стабла која расту на сиромашним земљиштима на матичном супстрату, јер је на тај начин искључен утицај промјене у хранљивости земљишта (Дуцић 1991).

Продуктивност шуме у највећој мјери зависи од температуре и падавина. Притом, присуство воде у земљишту је кључни чинилац, али је до прецизних података о томе тешко доћи (Govedar i sar. 2007).

12.4. Општи принципи и процедуре

Основни принцип изучавању прошлости је принцип „униформности у току природних дешавања“, предложен од стране Џејмса Хатона (*James Hutton*) 1785. године, изражен ријечима: „Садашњост је кључ прошлости.“ Када се овај принцип примијени на дендроклиматологију, варијације у условима који су присутни данас морале су бити присутне и у прошлости. То не значи да су услови потпуно једнаки, али сличне врсте реакција утицале су на сличне врсте процеса (Touchan and Huges 2000).

Унакрсно датирање (поступак приказан на Сл. 12.2) такође је један од основних принципа дендрохронологије, а самим тим и дендроклиматологије. Истраживач мора да буде сигуран да су узорци који се анализирају формиран и у истим годинама. Једноставно бројање прстенова није довољно, као ни јединствен образац или коваријација у ширини прстенова – потпис.



Сл. 12.2. Унакрсно датирање (Ivanović i Golijanin 2021)

Fig. 12.2. Cross-dating (Ivanović i Golijanin 2021)

С циљем избегавања могућности случајног, али лажног подударарања, дендрохронологији настоје да пореде узорке који имају најмање 100 прстенова и вишеструке потписе, радије него млађе примјерке који нису очували довољно потписа да гарантују подударарање. Ови обрасци могу настати из

широког спектра узрока (Дуцић 1991). Обрасци прстенова који су најподеснији за унакрсно датирање су производ међуреакције дрвећа и неких климатских стимуланса: у неким регијама углавном падавине или њихов недостатак, у другим углавном температура, а у неким њихова комбинација. Ови стимуланси и реакције су зато специфични за одређену климатску регију. Други начин укрштања је на основу густине година или физичких оштећења (на примјер, од пожара) који се читавају у годовима. На ширину година могу утицати и фактори као што су болести, инсекти, различите непогоде итд. (Nash 2002).

Климатске границе за унакрсно датирање година најбоље се утврде у пракси испитивањима и грешкама. Тако дрво одсјечено на шумском дијелу Калабрије у јужној Италији може да се упоређује са дрветом из Грчке или Турске, али не и са дрветом из Шпаније или са Алпа, па ни са Сицилије. Прва два неслагања нису изненађујућа, али неслагање у случају Сицилије, на само 80 км удаљености, свакако јесте. То се објашњава тиме што Сицилија припада више сјеверноафричком климатском систему него централномедитеранском (Kuniholm 2001).

12.5. Ограничења примјене метода дендроклиматологије

Највећа предност дендрохронологије, а самим тим и дендроклиматологије, јесте могућност прецизног одређивања година у којима су годови формирани. Захваљујући укрштању података са различитих узорака и локалитета створени су низови година који залазе у прошлост и по неколико хиљада година. За чување ових података створена је банка података (ITRDB). Захваљујући овој бази, као и размјени података међу истраживачима, за велике географске области познате су варијације година. Дендроклиматологија омогућава избор стратегија у зависности од циљева истраживања, а могућ је и избор више локалитета и више врста дрвећа, како би се добила богатија слика климе и реконструкција климатских варијабли. Дендроклиматологија такође пружа могућност тестирања резултата истраживања и њиховог упоређивања са резултатима добијеним инструменталним мјерењима или другим методама (NCDC NOAA n. d.).

Са друге стране, и даље постоје многи проблеми и нејасноће везане за сложене хемијско-биолошке процесе који утичу на дендроклиматолошка истраживања. Резултати истраживања климе путем година могу да варирају на скали од готово истовјетних са савременим метеоролошким станицама до потпуних непоклапања. Ово није јединствен проблем дендроклиматологије, већ се јавља и код других метода истраживања климе (корали, језгра ледника, седименти итд.), гдје сложени процеси у природи зависе од више промјенљивих.

Доста несигурности у дендроклиматологији потиче од нашег непотпуног разумијевања процеса раста већине врста дрвећа у околини у којој су природни утицаји неутврђени, неконтролисани и стално се мијењају. Раст је посљедица сложености дрвећа као живих организама и начина на који они реагују на околину или су њоме ограничени. Са друге стране, један од основних постулата палеоклиматологије јесте униформисаност, претпоставка да су исти механизми који су формирали климатске податке из прошлости и данас на дјелу. То значи да би линеарни односи између климе и година, посматрани током периода калибрације у садашњости морали бити једнаки онима у прошлости, што не мора у свим случајевима бити тако (NCDC NOAA n. d.).

Остали недостаци метода дендроклиматологије су, прије свега, то што дрво не биљежи зимске температуре, као и то што, и поред великог напретка у изотопским анализама, остаје велики дио тропских предјела за које не постоје подаци о климатским промјенама и њиховом утицају на дрвеће у прошлости. Иако је дендроклиматологија првенствено емпиријска наука, она је дубоко повезана са статистичким моделовањем, тако да се све несигурности око униформности и раста пренесе у статистичке податке. При тестирању, основу за извођење закључака пружа статистичка теорија (Dukić i Petrović 2021). Дендро науке користе различите програме за мјерење, анализу и формирање података. Ово резултира постојањем бројних формата података, што њихову размјену чини компликованом. Често се у том процесу изгуби доста вриједних података.

Дендроклиматологија има и нека врло битна ограничења. То су: техничка, анатомско-генетска, еколошка и ограничења настала због антропогеног утицаја (Ивановић 2013).

Техничка ограничења. У дендрохронолошкој литератури се углавном помињу двије основне технике узимања узорака: помоћу прираштајног сврдла и сјечом стабла. Прираштајно сврдло је инструмент у широкој употреби у шумарској пракси (Сл. 12.3). Овај инструмент једноставним завртањем продире у стабло, при чему се у обрнутом смјеру (одвртањем) извлачи са узорком. Узорак је у облику штапића, а дужина му зависи од дужине сврдла. Основна предност методе је у томе што се стабло знатније не оштећује, тако да није потребна дозвола власника шуме за узимање узорака. Основни недостатак је у томе што и најдужа сврдла код старијих стабала дају узорак за мање од стотинак година. Осим тога, на стаблима се често јавља асиметрија година, па су мјерења по једном радијусу непоуздана. Врло битно ограничење је и у томе што је сврдло предвиђено само за меко дрво, првенствено за четинаре. То значи да узимање узорака из храста и букве није могуће (Дуцић 1991).



Сл. 12.3. Узимање узорка прираштајним сврдлом (Фото Ивановић Р 2013)
Fig. 12.3. Sampling using incremental drill (Photo Ivanović R 2013)

Уобичајено узимање узорка у дендрохронологији врши се на посјеченом стаблу. Узорак са посјеченог стабла добија се пажљивим исијецањем колутова, што код већих стабала може бити компликовано. Са обореног стабла се узима исјечак дебљине 5 цм, на прсној висини 1,3 м од тла. Примјеном ове технике могуће је вршити мјерења по више радијуса и на узорку не долази до деформација. На овај начин могуће је вршити мјерења и на најстаријим стаблима и извршити реконструкцију климе за више стотина година уназад. Основни недостатак је у томе што је за сјечу одабраног стабла потребно добити одобрење власника шуме (Bradley 1999). Такође, већина старијих стабала налази се на тешко приступачним подручјима, далеко од шумских путева (Дуцић 1991).

Што је стабло старије, оно садржи више података о клими из даље прошлости. Најстарије познато посјечено стабло припада врсти *Pinus longaeva* D. K. Bailey (чекињасти бор Великог басена) на подручју Вилеровог врха у америчкој савезној држави Невади. Оно је названо *Prometheus* (Прометеј), а посјечено је 1964. године, при чему се његова старост процјењује на најмање 4.862 година (Dukić i Petrović 2021).

Анатомско-генетска ограничења. Основно анатомско ограничење је то што је релативно мали број врста код којих су годови добро видљиви. Притом, код многих лишћара годови се тешко препознају или се уопште не виде. Ипак, врсте код којих се годови препознају код нас доста су широко распрострањене (Таб. 12.1).

Таб. 12.1. Видљивост година појединих врста дрвећа (Ducić 1995)
 Table 12.1. Visibility of tree-rings of certain tree species (Ducić 1995)

Виде се добро или маркантно.	Не виде се или се не виде добро.
бријест	бреза
буква	граб
врба	грабић
јавор	јасика
кестен	јоха
топола	липа
храст	
сви четинари	

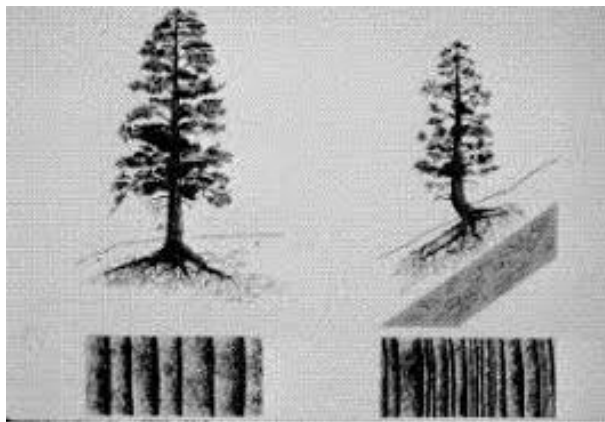
Битна особина неке врсте јесте и дужина трајања живота, а за нас су од посебног значаја дуговјечне врсте (Таб. 12.2).

Таб. 12.2. Животни вијек појединих врста дрвећа (Ducić 1995)
 Table 12.2. Lifespan of certain tree species (Ducić 1995)

Врста дрвећа	Животни вијек (година)
бријест	максимално преко 500
буква	просјечно 200 до 300
врба	просјечно око 100
црна топола	50 до 300
горски јавор	до 400
кестен	максимално преко 500
храст китњак	300 до 500
храст лужњак	до 2.000
борови	преко 300
смрче	300 до 1.000

Еколошка ограничења. За рјешавање наведеног проблема користи се метод лимитирајућег фактора. За анализу је потребно узети оне објекте код којих су температура или падавине лимитирајући фактор прираста. Према овом принципу, раст прстенова се не може одвијати брже него што допушта највише ограничавајући фактор (Fritts 1976). Притом би требало, у што је могуће већој мјери, елиминисати остале еколошке факторе који могу да прикрију везу клима–прираст (Сл. 12.4). Тако плитке подземне воде могу да представљају

значајан извор влаге, па приликом велике атмосферске суше не мора да дође до знатнијег смањења прираста.



Сл. 12.4. Утицај станишта на прираст дрвета (NCDC NOAA n. d.)
Fig. 12.4. The influence of habitat on tree growth (NCDC NOAA n. d.)

Температура је ограничавајући фактор раста у високим планинама, гдје је вегетациони период кратак, а зими влада физиолошка суша због замрзнутог земљишта. Зато би требало узимати узорке у близини горње шумске границе. Када су у питању падавине као лимитирајући фактор, објекте погодне за реконструкцију падавина требало би тражити у оним предјелима гдје неки други еколошки фактор додатно потенцира атмосферску сушу (Дуцић 1991). Ако се анализира водни биланс, највећи дио падавина се слива са стабала и пада са лишћа на земљиште. Воду потребну за животне функције стабло у највећој мјери упија пасивно, преко коријења. Да би се утврдила јасна веза између падавина и прираста, потребно је да се искључи утицај подземних вода и резерви влаге у земљишту. Такође, истовремено више фактора може утицати на раст стабла, усложњавајући физиолошки одговор стабла (Speer 2010).

Ограничења настала усљед антропогеног утицаја. Овај утицај се може сагледати на примјеру Босне и Херцеговине, гдје су заступљене развијене састојине различитих врста четинара и лишћара. Масовнијег искоришћавања шума у овој области није било све до доласка Аустроугарске монархије и окупације Босне и Херцеговине 1878. године.

За потребе експлоатације сировина изграђена је жељезничка пруга на линији Завидовићи – Олово – Хан Пијесак – Кусаче у правцу дринског басена. На тај начин отворени су неискоришћени предјели великих шумских површина Деветака, Жепске планине и Студене горе, које се налазе на територији

општине Рогатица. Међутим, експлоатација је вршена углавном у лако приступачним областима, тако да су подручја у кањону Дрине, Праче, Жепе и стрма планинска подручја углавном остала без масовне експлоатације (Kosorić 1966).

Поставља се питање: Зашто је овај процес ограничавајући фактор за дендроклиматолошка истраживања? Прво, интензивно уништавање шума доводи до уклањања узорака велике старости који су повољни за датирања далеко у прошлост. Највећи проценат шума које су под интензивном експлоатацијом од аустроугарске окупације па до данас чине шуме смрче (достигне старост и до 1.000 година). Са друге стране, сјечом су измијењени микроклиматски услови и режим освјетљења у шумама, што код преосталих стабала знатно утиче на ширину година, независно од климе ширег подручја. У извјесном смислу, ограничавајући фактор представља и чињеница да су сва старија стабла потенцијално заштићена (Dusić 1995). Поред тога, ограничавајући фактор за дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске и Босне и Херцеговине представљају и заостала минска поља из грађанског рата (Ivanović i Golijanin 2021).

12.6. Дивергенција

Посебан проблем у дендроклиматологији представља дивергенција. Наиме, резултати истраживања са локалитета на средњим и сјеверним географским ширинама указују на смањену осјетљивост раста дрвећа на температуру. Дивергенција се дефинише као тенденција да раст дрвећа у неким областима на сјеверу показује мању осјетљивост на температуру током посљедњих педесетак година. Једноставније речено, дио стабала је престао позитивно да реагује на више температуре. Инструментална мјерења током посљедњих 150 година потврдила су претпоставку да температура утиче на раст стабала, тако да оно интензивније расте за вријеме топлијих него хладнијих година. Међутим, прије око 50 година почели су да се биљеже резултати опречни од очекиваних. Тако би, само на основу година, могло да се закључи да температуре падају, иако се ради о периоду у коме је забиљежен раст температуре.

Постојање дивергенције први пут је примијећено на Аљасци, која се показала као област посебно осјетљива у односу на наведени феномен. Притом, нису подједнако захваћени сви локалитети обухваћени истраживањима. Не може се са сигурношћу рећи шта доводи до дивергенције. Међутим, извјесно је да се она јавља тек посљедњих неколико деценија, што указује на антропогене утицаје у виду загађења и пада концентрације озона. На основу експеримената дошло се до доказа за штетно дјеловање ултраљубичастиг зрачења (UV-B

радијације) на процес фотосинтезе виших биљака (D'Arrigo et al. 2007). Још једна од могућих посљедица антропогеног дјеловања јесте затамњивање (замућивање), тј. смањење количине Сунчеве свјетлости која доспијева на планету због промјене у облацима и загађења ваздуха. Комбинација воде у облацима и аеросола у ваздуху утиче на количину Сунчеве свјетлости укључујући и дио спектра који је од есенцијалне важности за фотосинтезу.

У прилог томе да затамњеност доводи до дивергенције иде и то да шуме на сјеверу планете нису само под утицајем температура, нарочито оних ниских које изазивају стрес код дрвећа, већ и кратке сезоне раста. Ове шуме због тога постају веома осјетљиве на опадање количине Сунчеве свјетлости. Са друге стране, шумама на југу раст и фотосинтеза нису под примарним утицајем свјетлости, већ неких других фактора (влажност). Према томе, потребно је знатно смањење количине Сунчеве енергије како би дошло до промјене динамике раста. Ово би могло да објасни зашто се дивергенција јавља на сјеверној Земљиној полулопти (Bradley 1999). Поред ових, постоји још много претпоставки о узроцима дивергенције, као што су температуром изазвани сушни периоди на крају љета, комплексни нелинеарни раст као одговор на промјену у еколошком систему, грешке у обради података итд.

Према томе, постоји више теорија о поријеклу дивергенције, па самим тим и више различитих методолошких поступака који третирају овај проблем. Будућа дендроклиматолошка истраживања не би требало да игноришу потенцијалне комплексне и нелинеарне трендове раста као одговор на климатске факторе. Посебно би требало имати у виду да они могу довести у питање претпоставку униформности, а самим тим и створити методолошке предрасуде које проистичу из проучавања година.

У циљу смањења непоузданости у вези са дивергенцијом требало би примијенити сљедеће мјере:

- сакупљање узорака различите старости, посебно старијих,
- сакупљање узорака на неколико локалитета како би што различитији еколошки услови били заступљени,
- сакупљање више примјерака од уобичајених 15–20.

Дивергенција је један од потенцијалних проблема данашње дендрохронологије и наше вјере у тачност реконструкције климе из прошлости на основу година. У овом случају требало би разматрати „изазов дивергенције“, а не „проблем дивергенције“ (D'Arrigo et al. 2007).

12.7. Дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске

Прва дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске вршили су шумарски стручњаци и она су се углавном заснивала на анализи еколошког утицаја средине на дебљински прираст стабала (Burlica i sar. 1975). Ова истраживања су показала да годишње суме падавина утичу на дебљински прираст стабала алепског бора (*Pinus halepensis* Mill.) и црног бора (*Pinus nigra* Arnold) на подручју Требиња. У истраживањима која су уследила, више пажње је посвећено динамици раста и природној регенерацији (црни бор и муника), без успостављања дугих хронологија (Accetto 1979, 1980).

Kuniholm (1981) је на основу стабала црног бора на подручју Равног Борја извршио датирање уназад до 1669. године. Том приликом добијене су и прве локалне хронологије различитих дужина: Влашић 158, Јахорина 245 и Равно Борје 312 година. Истраживања су вршена и на смрчи (*Picea abies* Karst.) на подручју Јахорине и Влашића (Schweingruber 1996). Govedar i sar. (2007) утврдили су утицај климе, прије свега падавина, на раст стабала смрче на Јахорини. Том приликом нису пронађена старија стабла, па скале нису ишле даље од 69 година. Говедар и Голијанин (2007) разматрали су општу проблематику и начела дендроклиматологије, при чему су истакли могућности и предности ове, код нас запостављене научне дисциплине.

Од 2012. године у дендроклиматолошка истраживања у Босни и Херцеговини укључили су се и истраживачи из Словеније, који су на основу живих стабала црног бора успоставили прву регионалну хронологију за централно-западни Балкан (Poljanšek et al. 2012). Ово истраживање урађено је на основу седам локалних хронологија. Анализом је идентификован заједнички сигнал на узорцима за најмање пет позитивних и девет негативних референтних година са свих проучаваних локација. На основу локалних хронологија за простор Босне и Херцеговине, помоћу статистичких параметара и унакрсним датирањем, развијена је 435-годишња хронологија за црни бор. Такође, извршено је поређење са постојећим хронологијама ове врсте из Црне Горе, Грчке, Албаније, Аустрије (регион Беча) и Француске (Корзика). Резултати статистичке и визуелне подударности указују да хронологија има јак регионални сигнал и да стога може бити укључена у дендрохронолошку мрежу црног бора за Западни Балкан. Мјеста узорковања у Босни и Херцеговини била су: Блаце, Коњух, Криваја, Перућица, Прушчакова ријека, Шатор и Шипово, док су метеоролошки подаци били су са станица Мостар и Сарајево.

Poljanšek et al. (2012) користили су развијене моделе за реконструкцију температуре за мај–август (1701–1901) и јануар–март (1685–1901). Методом

процената идентификована су екстремно топла/хладна љета и топла/хладна прољећа, која су компарирана са расположивим документованим историјским изворима и реконструкцијама из ширег региона. На основу података за западни дио Балканског полуострва (црни бор са поменутих седам локација), урађена је прва реконструкција за инсолацију у љетном периоду године (Poljanšek et al. 2013). Установљено је да је инсолација уско повезана са стресом влаге у стаблима, па је тако и ширина година под утицајем директних и интерактивних ефеката Сунчевог зрачења (температура, падавине, облачност и евапотранспирација). Развијени модел је коришћен за реконструкцију љетне инсолације за период 1660–2010. године. Такође, утврђено је да су сва екстремно хладна љета са ниским бројем сунчаних сати у вези са јачим вулканским ерупцијама. Поред тога, Poljanšek and Levanič (2015) урадили су и преглед дендроклиматолошких студија за Балканско полуострво.

У периоду од 2015. уочен је пораст броја радова са дендроклиматолошком тематиком. Томе је допринијело коришћење савремене методологије за узорковање и обраду података. На простору Романије анализа је обухватила 33 узорка: 21 стабло бијелог бора (*Pinus silvestris* L.), 9 стабала смрче (*Picea abies* Karst.) и по једно стабло јеле (*Abies alba* Mill.), храста китњака (*Quercus petraea* Liebl.) и букве (*Fagus sylvatica* L.) (Golijanin i sar. 2015). Најдуже хронологије добијене су из стабала бијелог бора старости веће од 150 година, максималне хронологије до 341 године. Установљена је висока корелација са температуром и нешто мања са падавинама. У каснијем истраживању бавили су се анализом укупног природног наслеђа општине Пале (Golijanin et al. 2020).

Ducić et al. (2015a) анализирали су дендроклиматолошке индикације суше на простору Рогатице, што представља непосредну надоградњу прелиминарног истраживања Ивановића (2013). На основу 11 основних узорака, анализирани су могућности коришћења дендрохронолошких метода у предвиђању суша у источној Босни. Најбоља веза између ширине година и суше добијена је за узорак 67-годишње јеле из планине Бокшаница. Утврђено је да су падавине и суша у љетним мјесецима од кључног значаја за радијални прираст.

Године 2018. извршена је дендроклиматолошка анализа раста јеле на подручју планине Борја (Jović et al. 2018). Спроведена је стандардна дендрохронолошка обрада и анализа података примјеном софтвера Coffecha и Arstan. Добијена је прелиминарна регионална хронологија јеле за ово подручје дужине 137 година (1878–2014. године). Резултати корелационе анализе између индекса радијалног прираста дефинисане хронологије, са једне стране, и падавина и температуре по мјесецима, са друге стране, показали су да веће количине падавина у љето изражено повећавају прираст јеле, а да повећање температуре ваздуха у овим мјесецима не изазива значајну редукцију прираста. Примјена

FAI индекса суше показала је да интензивније суше у љетњим мјесецима могу изазвати значајну редукцију прираста јеле на истраживаном подручју.

Заједничким истраживањима стручњака са Шумарског факултета и Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци на простору планине Козаре, добијена је хронологија дуга 88 година и идентификовано је пет позитивних и девет негативних година (Subotić et al. 2020). Корелациона анализа показала је да падавине имају статистички значајан утицај на радијални прираст стабала, посебно за период април–мај. Такође, утврђена је и статистички значајна повезаност радијалног прираста и индекса аридности.

Истраживањима спроведеним на стаблима мунике са планине Орјен, добијена је хронологија дуга 487 година, а за реконструкцију су коришћени стабилни изотопи (Лукаћ et al. 2021). Најбоља корелација је добијена са количином падавина за период јун–август. Резултати ове студије показују да реконструкција на основу стабилних изотопа прецизније прати варијабилност климе од стандардног приступа коришћењем ширине година.

У будућим дендроклиматолошким истраживањима на простору Републике Српске требало би испитати везу између активности Сунца и ширине година. Ова веза, коју је у САД уочио још Douglass (1909), потврђена је бројним истраживањима (Ducić 2008; Muraki et al. 2011, 2015; Kasatkina et al. 2019; Li et al. 2019). Притом, све је више студија које се баве утицајем активности Сунца на различите појаве на нашој планети: шумске пожаре (Radovanović et al. 2015, 2019; Vyklyk et al. 2020), пренамножења инсеката (Milenković et al. 2010; Milenković and Ducić 2016), као и урагане (Vyklyk et al. 2017, 2018). Тако се и појаве вртложних кретања ваздушних маса (тромбе) у Србији (Radovanović 2009; Miĥajlović et al. 2013) тумаче утицајем активности Сунца, односно дјеловањем честица Сунчевог вјетра (Radovanović et al. 2013).

12.8. Закључак

Дендроклиматологија је постала битно оруђе за разумијевање и проучавање рецентних и палеоклиматских процеса у свијету. Методе које користи ова научна дисциплина дају поуздане податке и информације о варијабилности одређених климатских елемената (температура и падавине) који су били карактеристични за одређене периоде у прошлости. Ове научне методе, развијене још почетком прошлог вијека, код нас се налазе на ниском степену развоја и немају дугу традицију. Простор Републике Српске пружа могућности, али и ограничења за развој дендроклиматологије. Предности су анатомско-генетске и еколошке, пошто су заступљене врсте које имају маркантне

годове, као и дуговјечне врсте дрвећа. Такође, на великом подручју падавине и температура представљају лимитирајући фактор прираста дрвећа. Главни ограничавајући фактори везани су за сам процес сакупљања узорака, јер се најстарија стабла налазе на неприступачним високопланинским просторима. Знатне шумске површине покривене су заосталим минско-експлозивним средствима из претходног одбрамбено-отаџбинског рата. Такође, битан ограничавајући фактор представља и недостатак опреме и инструмената за дендроклиматолошка истраживања. У Републици Српској ова истраживања су вршена на планинама Јахорина, Романија, Шатор, Козара, Орјен, у околини Требиња, у прашуми Перућици, у околини Шипова и у рогатичком крају. Она су показала да постоје значајне корелације између прираста стабала и климатских елемената. То се прије свега односи на просјечне годишње суме падавина и температуру, као и падавине и температуру током појединих годишњих доба. На простору Републике Српске још постоје локалитети који су избјегли негативан антропогени утицај и на којима су се очували шумски комплекси са стаблима велике старости.

Литература

- Accetto M (1979) Regeneration, Growth and Development of Natural Stands of Austrian Pine (*Pinus nigra* Arnold) on Dolomite-Limestone Sites of Western Bosnia. Research Reports: Forestry and Wood Technology 17:274–351
- Accetto M (1980) Rast bora *Pinus heldreichii* Christ. na planini Prenj v Bosni in Hercegovini. Doctoral dissertation, University of Ljubljana, Ljubljana
- Bradley S (1999) Paleoclimatology, Reconstructing Climates of the Quaternary (International Geophysics Series 68). Academic Press, London, pp 632
- Burlica Č, Prolić N, Hakl Z (1975) Padavine u području Trebinja i njihov uticaj na debljinski prirast alepskog i crnog bora. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, Posebna izdanja, Knjiga XXIII
- Van Densen PC (1987) Detecting Effects of Stand Dynamics with Tree Ring Data. Canadian Journal of Forest Reserch 17:1487–1495
- Vyklyuk Y, Radovanović M, Milovanović B, Leko T, Milenković M, Milošević Z, Milanović Pešić A, Jakovljević D (2017) Hurricane Genesis Modelling Based on the Relationship Between Solar Activity and Hurricanes. Natural Hazards 85(2):1043–1062. doi.10.1007/s11069-016-2620-6
- Vyklyuk Y, Radovanović MM, Stanojević GB, Milovanović B, Leko T, Milenković M, Petrović M, Yamashkin AA, Milanović Pešić A, Jakovljević D, Malinović Milićević, S (2018) Hurricane Genesis Modelling Based on the Relationship Between Solar Activity and Hurricanes II. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 180:159–164. doi.10.1016/j.jastp.2017.09.008

- Vyklyuk Y, Radovanović MM, Stanojević G, Petrović MD, Ćurčić NB, Milenković M, Malinović Milićević S, Milovanović B, Yamashkin AA, Milanović Pešić A, Lukić D, Gajić M (2020) Connection of Solar Activities and Forest Fires in 2018: Events in the USA (California), Portugal and Greece. *Sustainability* 12(24):1–23. doi.10.3390/su122410261
- Говедар З, Голијанин Ј (2007) Нека од основних начела дендроклиматологије. Радови Филозофског факултета 9(2):275–287
- Govedar Z, Golijanin J, Marković S (2007) Dendrohronološka istraživanja razvoja stabala smrče (*Picea abies* L.) na Jahorini. U: Grčić M, Gnјato R, Stamenković S (urednici) Zbornik radova sa naučnog skupa „Srbija i Republika Srpska u regionalnim i globalnim procesima“, str 289–298. Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet
- Golijanin J, Bojić S, Šušnjar S, Ivanović R (2015) Dendroklimatološka istraživanja na prostoru Romanije. U: Filipović D, Šećerov V, Radosavljević Z (urednici) Zbornik radova Osmi naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine, str 411–418. Asocijacija prostornih planera Srbije, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, JP Zavod za urbanizam grada Subotice
- Golijanin J, Šušnjar S, Ivanović R (2020) The Natural Heritage of Pale Municipality: Local Population Attitudes. *Archives for Technical Sciences* 23(1):77–86. doi.10.7251/afts.2020.1223.077G
- D'Arrigo R, Wilson R, Liepert B, Cherubini P (2007) On the Divergence Problem in the Northern Forest: A Review of the Tree–Ring Evidence and Possible Causes. *Global and Planetary Change* 60(3–4):289–305. doi.10.1016/j.gloplacha.2007.03.004
- Douglass AE (1909) Weather Cycles in the Growth of Big Trees. *Monthly Weather Review* 37(6):225–237
- Douglass AE (1914) A Method of Estimating Rainfall by the Growth of Trees. *Carnegie Institute of Washington* 192:101–121
- Douglass AE (1919) Climatic Cycles and Tree-Growth, A study of the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity. Carnegie Institution, Washington, pp 126
- Dukić V, Petrović D (2021) Dendrohronologija. Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banjaluka, str 390
- Дуцић В (1991) Дендроклиматолошка истраживања у Србији: могућности и ограничења. Зборник радова, Географски факултет, ПМФ 37/38:57–65
- Ducić V (1995) Rekonstrukcija klimata u Srbiji u predinstrumentalnom periodu. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd
- Ducić V (2008) Uticaj Sunčevog vetra na širinu godova kod drveća. *Beogradska škola meteorologije* 1:247–256
- Ducić V, Ivanović R, Mihajlović J, Gnјato R, Trbić G, Ćurčić NB (2015a) Dendroindication of Drought in Rogatica Region (Eastern Bosnia). *Archives of Biological Sciences* 67(1):201–211. doi.10.2298/ABS141114025D

- Ducić V, Milenković M, Milijašević D, Vujačić D, Bjeljac Ž, Lović S, Gajić M, Anđelković G, Djordjević A (2015b) Hiatus in Global Warming – Example of Water Temperature of the Danube River at Bogojevo Gauge (Serbia). *Thermal Science* 19(supplement 2):467–476. doi.10.2298/TSCI150430133D
- Ducić V, Milovanović B, Stanojević G, Milenković M, Ćurčić N (2015в) Tropical Temperature Altitude Amplification in the Hiatus Period (1998-2012). *Thermal Science* 19(supplement 2):371–379. doi.10.2298/TSCI150210093R
- Ивановић Р (2013) Дендроклиматолошка истраживања у Рогатичком крају. Мастер рад, Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд
- Ivanović R, Golijanin J (2021) Mogućnost dendroklimatoloških istraživanja u Sarajevsko–romanijskoj regiji. U: Mirić R (urednik) 5. Kongres geografa BiH, str 76–85. Geografsko društvo u Federaciji Bosne i Hercegovine
- Jović G, Dukić V, Stajić B, Kazimirović M, Petrović D (2018) A Dendroclimatological Analysis of Fir (*Abies alba* Mill.) Growth in the Borja Mountain Area of Bosnia and Herzegovina. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 118:27–45. doi.10.2298/GSF1818027J
- Kasatkina EA, Shumilov OI, Timonen M (2019) Solar Activity Imprints in Tree Ring-Data from Northwestern Russia. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 193(15):105075. doi.10.1016/j.jastp.2019.105075
- Kosorić V (1966) Rogatica pod Austrougarskom upravom. U: Petrović K (urednik) Rogatica, str 62–81. Izdavačko preduzeće Svjetlost
- Kuniholm PI (1981) *Pinus nigra* – Ravno Borje, Bosnia and Herzegovina. National Climatic Data Center, NESDIS, NOAA, US Department of Commerce, Boulder, Colorado
- Kuniholm PI (2001) Dendrochronology and Other Applications of Tree-Ring Studies in Archaeology. In: Brothwell DR, Pollard AM (eds) *The Handbook of Archaeological Sciences*, pp 35–46. John Wiley and Sons, Ltd.
- Li G, Zheng M, Yang H (2019) Cycle Analysis Method of Tree Ring and Solar Activity Based on Variational Mode Decomposition and Hilbert Transform. *Advances in Meteorology* 2019:1715673. doi.10.1155/2019/1715673
- Lukač L, Mikac S, Urban O, Kolář T, Rybníček M, Ač A, Trnka M, Marek MV (2021) Stable Isotopes in Tree Rings of *Pinus heldreichii* Can Indicate Climate Variability over the Eastern Mediterranean Region. *Forests* 12(3):350. doi.10.3390/f12030350
- Meko D, Cook ER, Stahle DW, Stockton CW, Hughes MK (1993) Spatial Patterns of Tree-Growth Anomalies in the United States and Southeastern Canada. *Journal of Climate* 6(9):1773–1786. doi.10.1175/1520-0442(1993)006<1773:SPOTGA>2.0.CO;2
- Milenković M, Ducić V, Milovanović B (2010) The Influence of the Solar Flux at 2.8 GHz on Outbreaks of Gypsy Moth (*Lymantria dispar* L.) (Lepidoptera: Lymantriidae) in Serbia. *Archives of Biological Sciences* 62(4):1021–1025. doi.10.2298/ABS1004021M

- Milenković M, Ducić V (2016) The Solar Activity Cycles and the Outbreaks of the Gypsy Moth—*Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) in Serbia. *Ecologica Montenegrina* 7:538–545. doi.10.37828/em.2016.7.23
- Mihajlović J, Ducić V, Burić D, Ivanović R, Ristić D (2013) Landspout Across Novi Beograd, 24 May 2012: Synoptic Analysis. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 93(2):55–72. doi.10.2298/GSGD1302055M
- Muraki Y, Masuda K, Nagaya K, Wada K, Miyahara H (2011) Solar Variability and Width of Tree Ring. *Astrophysics and Space Sciences Transactions* 7(3):395–401. doi.10.5194/astra-7-395-2011
- Muraki Y, Mitsutani T, Shibata S, Kuramata S, Masuda K, Nagaya K (2015) Regional Climate Pattern During Two Millennia Estimated from Annual Tree Rings of Yaku Cedar Trees: A Hint for Solar Variability? *Earth, Planet and Space* 67:31. doi.10.1186/s40623-015-0198-y
- McCarroll D, Pettigrew E, Luckman A, Guibal F, Edouard J-L (2002) Blue Reflectance Provides a Surrogate for Latewood Density of High-Latitude Pine Tree Rings. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34(4):450–453. doi.10.1080/15230430.2002.12003516
- McCarroll D, Loader NJ (2004) Stable Isotopes in Tree Rings. *Quaternary Science Reviews* 23(7–8):771–801. doi.10.1016/j.quascirev.2003.06.017
- Nash ES (2002) Archaeological Tree–Ring Dating at the Millenium. *Journal of Archaeological Research* 10(3):243–275
- NCDC NOAA (n. d.) Tree-ring. Доступно на: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>, Приступљено: 12. април 2019
- Ogrin D (1998) Dendrokronologija in dendroklimatologija Planine pri jezeru v Julijskih Alpah. *Geografski vestnik* 70:59–73
- Poljanšek S, Ballian D, Nagel TA, Levanič T (2012) A 435-Year-Long European Black Pine (*Pinus nigra*) Chronology for the Central-Western Balkan Region. *Tree-Ring Research* 68(1):31–44. doi.10.3959/2011-7.1
- Poljanšek S, Ceglar A, Levanič T (2013) Long-Term Summer Sunshine/Moisture Stress Reconstruction from Tree-Ring Widths from Bosnia and Herzegovina. *Climate of the Past* 9(1):27–40. doi.10.5194/cp-9-27-2013
- Poljanšek S, Levanič T (2015) Overview of Dendroclimatological Studies in the Balkan Peninsula. *Agriculture & Forestry* 61(4):285–292. doi.10.17707/AgricultForest.61.4.34
- Poljanšek S, Levanič T, Ballian D, Jalkanen R (2015) Tree Growth and Needle Dynamics of *P. nigra* and *P. sylvestris* and Their Response to Climate and Fire Disturbances. *Trees* 29(3):683–694. doi.10.1007/s00468-014-1146-3
- Popa I, Kern Z (2009) Long–Term Summer Temperature Reconstruction Inferred from Tree-Ring Records from the Eastern Carpathians. *Climate Dynamics* 32:1107–1117. doi.10.1007/s00382-008-0439-x
- Radovanović M (2009) Waterspout near Indjija: The Analysis of the Case from 6th June 2008. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 89(4):295–310. doi.10.2298/GSGD0904295R

- Radovanović MM, Milovanović B, Pavlovic MA, Radivojević AR, Stevancevic MT (2013) The Connection Between Solar Wind Charged Particles and Tornadoes: Case Analysis. *Nuclear Technology and Radiation Protection* 28:52–59. doi.10.2298/NTRP1301052R
- Radovanović MM, Vyklyuk Y, Milenković M, Vuković DB, Matsiuk N (2015) Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System Models for Prediction of Forest Fires in the USA on the Basis of Solar Activity. *Thermal Science* 19(5):1649–1661. doi.10.2298/TSCI150210093R
- Radovanović MM, Vyklyuk Y, Stevančević MT, Milenković MĐ, Jakovljević DM, Petrović MD, Malinović Milićević SB, Vuković N, Vujko AD, Yamashkin A, Sydor P, Vuković DB, Škoda M (2019) Forest Fires in Portugal – Case Study, 18 June 2017. *Thermal Science* 23(1):73–86. doi.10.2298/TSCI180803251R
- Seim A, Büntgen U, Fonti P, Haska H, Herzig F, Tegel W, Trouet V, Treydte K (2012) Climate Sensitivity of a Millennium-Long Pine Chronology from Albania. *Climate Research* 51(3):217–228. doi.10.3354/cr01076
- Smith DJ, Lewis D (2007) Dendrochronology. In: Elias SA (ed) *Encyclopedia of Quaternary Science*, pp 459–465. Elsevier
- Speer H J (2010) *Fundamentals of Tree Ring Research*. University of Arizona Press, Tucson, pp 325
- Subotić J, Dukić V, Popov T, Trbić G, Maunaga Z, Petrović D (2020) Relationships Between Climatic Variables and Tree-Ring Width of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) in Kozara National Park (Bosnia and Herzegovina). *SEEFOR – South-East European Forestry* 11(1):17–27. doi.10.15177/seefor.20-05
- Schweingruber FH (1996) *Picea abies* – Jahorina and Vlašić, Bosnia and Hercegovina. National Climatic Data Center, NESDIS, NOAA, US Department of Commerce, Boulder, Colorado
- Schweingruber FH, Fritts HC, Bräker OU, Drew LG, Schär E (1978) The X-Ray Technique as Applied to Dendroclimatology. *Tree-Ring Bulletin* 38:61–91
- Touchan R, Hughes M (2000) The Role of Dendrochronology in Natural Resource Management. In: Ffolliott PF, Baker Jr MB, Edminster CB, Dillon MC, Mora KL (tech cords) *Land Stewardship in the 21st Century: The Contributions of Watershed Management*, Conference Proceedings, Tuscon, Arizona, March 13 – 16, 2000 (RMRS-P-13), pp 277–281. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- Fritts HC (1976) *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, pp 582
- Hadživuković S (1991) *Statistički metodi s primenom u poljoprivrednim i biološkim istraživanjima*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Institut za ekonomiku poljoprivrede i sociologiju sela, Novi Sad, str 584
- Webb EG (1986) Solar Phisics and the Origins of Dendrochronology. *Isis* 77(2):291–301

Dendroclimatology: Basic Concepts, Measurement Techniques and Research Possibilities in the Republic of Srpska

Rade Ivanović, Milan Milenković

Summary

Dendrochronology is a new scientific discipline whose methods are used in paleogeographic research in order to gain insight into the state, as well as changes in the environment. Dendrochronology has given rise to dendroclimatology, which is used to study climate trends in the recent period, on the basis of which it is possible to determine the changes that have taken place in the climate complex in the past. Thanks to the ability of trees to form rings in accordance with climatic influences, it is possible to determine whether there is a correlation between meteorological data and data obtained from dendroclimatological analyzes.

Dendroclimatology has become an essential tool for analyzing perennial climate fluctuations and changes. The chapter presents the results of previous research and perspectives of climate reconstruction using dendroclimatological methods in the Republic of Srpska. Although it is still undeveloped in our country, this science is very important for the study of climate in the past, as well as other cause-and-effect changes related to climate oscillations.

The area of the Republic of Srpska is covered by a significant percentage of forests, in which old trees are frequent. This area offers a number of advantages, but also limitations for dendroclimatological research. In the area of the Republic of Srpska, these studies were conducted sporadically until several years ago. More intensive researches in recent years create the basis for a better understanding of recent climate and paleoclimate. Having in mind the above, it can be concluded that the Republic of Srpska has significant potential for dendroclimatological research.

Keywords: Dendroclimatology, dendrochronology, Republic of Srpska, climate reconstruction, measurement techniques

Климатске промјене и здравље

Зоран Вујковић, Горан Трбић

Сажетак: *Климатске промјене постају све већа пријетња и један од највећих изазова по здравље са којим се човјечанство суочава. Већ је уочен веома неповољан утицај на најважније здравствене факторе: храну, ваздух и воду. Дуготрајни топлотни таласи са високим температурама ваздуха, затим олује, поплаве и суше узрок су смрти десетине хиљада људи сваке године, док је милионима људи широм свијета угрожена егзистенција због климатских промјена. Болести попут дијареје, маларије и неухрањености, које су на одређени начин условљене специфичним климатским условима, већ узрокују више од три милиона умрлих годишње. Ови бројеви не укључују разорни индиректни утицај климе, као на примјер на усјеве хране и доступност воде за пиће широм свијета. Климатске промјене пријете да зауставе напредак у борби против сиромаштва и продубљују здравствени јаз између богатих и сиромашних.*

Људско здравље мора бити у средишту борбе против климатских промјена, а морају се појачати и напори на очувању здравља путем Миленијумских развојних циљева. Територија Републике Српске, Босне и Херцеговине, али и југоисточне Европе под великим је притиском климатских промјена, гдје су већ забиљежени негативни утицаји.

Цитирање: Вујковић З, Трбић Г (2023) Климатске промјене и здравље. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:545–566

Cite as: Vujković Z, Trbić G (2023) Climate Change and Health. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:545–566

Због тога је у наредном периоду неопходно прилагођавање јавног здравља на климатске промјене. Наведено подразумејева унапређење превенције, те ефикасности здравственог система и одговор на све брже и екстремније климатске догађаје.

Кључне ријечи: Климатске промјене, здравље, Република Српска, топлотни таласи, тигрasti комарац, мождани удар

13.1. Увод

Климатске промјене утичу на људске животе и здравље на различите начине. Оне угрожавају основне састојке доброг здравља (чист ваздух, безбједну воду за пиће, снабдијевање храном и сигурно склониште) и имају потенцијал да наруше вишедеценијски напредак у глобалном здрављу. Сем тога, климатске промјене већ штете здрављу кроз загађење ваздуха, болести, екстремне временске прилике, присилно расељавање, несигурност хране и притиске на ментално здравље (Anderson and Bell 2009; Basu 2009; Abaspašić i sar. 2014; Vujković 2015; Oprašić et al. 2016; Cupač et al. 2020).

Очекује се да ће између 2030. и 2050. климатске промјене изазвати око 250.000 додатних смрти годишње само од неухрањености, маларије, дијареје и топлотног стреса. Трошкови директне штете по здравље процјењују се на 2–4 милијарде америчких долара годишње до 2030. године. Подручја са слабом здравственом инфраструктуром – углавном у земљама у развоју – биће најмање способна да се носе у борби са климатским промјенама, без одговарајуће помоћи да се припреме и имају адекватан одговор (World Health Organisation 2021).

Емисије гасова са ефектом стаклене баште, које су резултат екстракције и сагоријевања фосилних горива, главни су доприноси климатским промјенама и загађењу ваздуха (IPCC 2013). Многе политике и појединачне мјере, као што су избори у вези са саобраћајем, храном и енергијом, имају потенцијал да смање емисије гасова са ефектом стаклене баште и произведу велике здравствене користи, посебно смањењем загађења ваздуха. Постепено укидање загађујућих енергетских система или промоција јавног превоза и активног кретања, могло би да смањи емисије угљеника и да смањи терет загађења ваздуха у домаћинствима и амбијенту, што узрокује седам милиона пријевремених смрти годишње. Преко 90% људи удише загађен ваздух, што је углавном посљедица од сагоријевања фосилних горива које изазивају климатске промјене. У 2018. години загађење ваздуха од фосилних горива изазвало је 2,9 билиона америчких долара здравствених и економских

трошкова, око осам милијарди долара дневно (World Health Organisation 2022).

Екстремне врућине, поплаве, суше, шумски пожари и урагани током 2021. и 2022. године оборили су многе рекорде. Посљедице по здравље су реалне, све више изражене и често разорне. Климатске промјене утичу на здравље у свим земљама, али најтеже погађају људе у земљама са ниским и средњим приходима. Саобраћај производи око 20% глобалне емисије угљеника. Алтернативе попут ходања и вожње бицикла нису само зелене опције већ и веома повољно утичу на здравље.

Многе болести врло су осјетљиве на промјене температуре ваздуха и падавина. То укључује честе болести које се преносе инсектима, као што су маларија и тропска грозница. Климатске промјене већ придоносе глобалном појављивању болести, а очекује се да ће се тај утицај повећавати у будућности. Утицај климе на људско здравље неће се једнако манифестовати у цијелом свијету. Земље у развоју су једне од најрањивијих. Усклађене мјере за јачање кључних фактора здравственог система и промоција здравих начина развоја могу ојачати јавно здравље већ сада, као и смањити подложност климатским промјенама у будућности.

Евидентан је недостатак истраживања и публикованих научних радова из области климатских промјена и здравља у Републици Српској и Босни и Херцеговини. То је био један од основних разлога за писање овог поглавља и указивање на актуелност и потребу за будућим истраживањима.

13.2. Климатске промјене и здравље у свијету

Већ је наглашено да климатске промјене узрокују повећање броја природних катастрофа, као што су поплаве, суше, шумски пожари, лавине, олујни вјетрови и друго, а тиме и повећање броја смрти и болести насталих као њихова посљедица. Тако је, у ствари, немогуће не уочити утицај климатских промјена на људску врсту: посредно, као утицај времена на друге елементе животне средине, организме, производњу хране, појаву штеточина и на хидролошке прилике, јер све то утиче на ширење заразних болести, расположивост хране и воде, те на миграције становништва условљене екстремним климатским непогодама (Zapinović i Gajić-Čarka 2008). Непосредни здравствени утицаји температурних екстрема, као што су топлотни удар, топлотна исцрпљеност или промрзLINE, познати су од давнина, али истраживања показују како су за болести кардиоваскуларног система у зимском периоду неповољне ниске температуре ваздуха, пад атмосферског притиска и јужна струјања. Љети су

за болести кардиоваскуларног система неповољне оне промјене времена којима претходе периоди великих врућина и спарина. Ниске температуре ваздуха и неповољне зимске временске прилике често су везане и за дисајне болести, док љети на појаву поремећаја везаних за пулмолошки систем неповољно дјелује нестабилно вријеме праћено падавинама (Трбић 2005; Реселј et al. 2013). Према томе, већ раније је уочена повезаност неповољних климатских утицаја са свим споменутим болестима и стањима. Повећана учесталост појаве екстремних временских догађаја, као што су топлотни стресови, поплаве, дуготрајне суше и други екстреми, такође могу индиректно утицати на здравље, а повећање ултраљубичастиг зрачења због смањења озонског слоја атмосфере (узрокованог негативним дјеловањем гасова са ефектом стаклене баште) утиче на већу појаву карцинома коже, оштећења ока и имунолошког система.

У студији Америчке асоцијације за карцином (*American Cancer Society Cancer Prevention Study*) утврђено је да дуготрајно излагање партикулама величине 2,5 микрона или мањим, сулфатима и сумпор-диоксиду изазива повећање опште смртности. Наведени резултат истраживања је конзистентан са резултатима других епидемиолошких студија и повезан је са смртношћу не само од кардиоваскуларних болести него и смртношћу од карцинома (Krewski et al. 2009).

Међу студијама које су пратиле утицај екстремних температура на здравље посебно се истиче Међународна студија температуре, топлоте и урбаног морталитета (*International study of temperature, heat and urban mortality, ISOTHURM*) (McMichael et al. 2008). Ова студија је обухватила сљедеће градове: Делхи, Монтереј, Мексико Сити, Чијанг Меј, Бангкок, Салвадор, Сао Пауло, Сантијаго, Кејптаун, Љубљану, Букурешт и Софију. Највиша и најнижа дневна температура, релативна влажност ваздуха и подаци о падавинама добијани су од локалних метеоролошких станица које су лоциране у наведеним градовима. У већини градова показало се да су највеће вриједности морталитета биле присутне на највишим и најнижим температурама. Граница на којој је почело да долази до пораста морталитета била је између 15 °C и 29 °C за морталитет повезан са хладноћом. Граница на којој је почело да долази до пораста морталитета била је између 16 °C и 31 °C за морталитет повезан са врућином. Ова гранична вриједност за врућину је генерално гледано била виша у градовима са топлијом климом, док гранична вриједност за хладноћу није имала повезаност са климом у којој се град налази. Ипак, треба рећи да нису сви градови у овој студији били униформни. Љубљана, Салвадор и Делхи нису имали пораст морталитета на ниским температурама. Чијанг Меј и Кејптаун нису показали пораст морталитета на високим температурама ваздуха (McMichael et al. 2008).

Климатске промјене утичу и на ширење неких болести (маларије, денга грознице, грознице западног Нила, колере, енцефалитиса и других). Болести које преносе инсекти, на примјер комарци, шире се јер се повећањем температуре шири простор у коме ти инсекти могу живјети. Због промјена температуре и количине падавина долази до поремећаја у пољопривредној производњи, што може довести до смањења производње и појаве глади у неразвијеним земљама. Клима, дакле, утиче на производњу хране, али утиче и на расположивост и доступност воде за пиће јер се претпоставља да би даље загријавање могло довести до још већег топљења ледника и повећања нивоа мора. Сматра се како глобално загријавање узрокује смрт око 150.000 људи годишње, а према неким процјенама тај би се број до 2030. године могао удвостручити. Због посљедица промјене климе, према Свјетској здравственој организацији, сваке године оболи око пет милиона људи у свијету. То се углавном односи на становништво најнеразвијенијих земаља. Највећи проблеми јављају се у великим градовима неразвијених земаља, прије свега због загађености ваздуха. Проблеми се уочавају и у развијеним земљама. У Аустралији због топлотног стреса умре око 1.000 људи годишње, а сматра се да би се тај број до 2100. године могао повећати на 15.000 људи годишње (Humphrys et al. 2020).

У извјештајима Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental panel on climate change*, IPCC) наглашено је да климатске промјене негативно утичу на људско здравље повећањем изложености и рањивости на климатске стресове. Осмотрене и откривене климатске промјене које утичу на људско здравље укључују: екстремне временске прилике, промјену расподјеле здравствених ризика, повећани ризик од потхрањености, расељавање становништва и већи ризик од повреда, болести и смрти. Свако повећање глобалног загријавања, чак и повећање од 0,5 °C, може утицати на људско здравље. Загријавање од 1,5 °C не сматра се „сигурним“ за већину нација, заједница, екосистема и сектора и представља значајан ризик за природне и људске системе. Пројекције показују да ће ризици по људско здравље и системе производње хране бити мањи при 1,5 °C него на 2 °C глобалног загријавања. Предвиђа се да ће ризици бити нижи на 1,5 °C него на 2 °C због морбидитета везаног за топлоту, те смртност у вези са озоном.

Према петом извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (IPCC 2014) климатске промјене ће вјероватно имати низ здравствених ефеката у Европи. Студије су потврдиле ефекте топлоте на морталитет и морбидитет у европским популацијама и посебно код старијих људи и оних са хроничном болешћу (Åström et al. 2012; Corobov et al. 2012, 2013). Што се тиче рањивости на субрегионалном нивоу, становништво у јужној Европи је најосјетљивије на топло вријеме (Michelozzi et al. 2009; D'Ippoliti et al. 2010; Vaccini et al. 2011) и

такође ће бити изложено највећим топлотним таласима. Становништво у континенталној (Hertel et al. 2009) и сјеверној Европи (Rocklöv and Forsberg 2010; Armstrong et al. 2011) такође је подложно догађајима топлотних таласа. Мјере прилагођавања за смањење ефеката топлоте на здравље у свијету и даље су веома ограничене и неефикасне (Hajat et al. 2010a; Lowe et al. 2011; Schifano et al. 2012).

13.3. Климатске промјене и здравље у Републици Српској и Босни и Херцеговини

Главни узроци озбиљног нарушавања здравља људи у Републици Српској и Босни и Херцеговини које проузрокују екстремне промјене климе су топлотни удари. Статистички значајан тренд повећања температуре ваздуха на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине већ је детерминисан у неколико научних радова (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018, 2019a, 2019b). Топлотни таласи утичу и на повећање смртности, док ће погоршање климатских услова довести до учесталијих промјена и погоршања здравствене ситуације код најтежих болесника. Ријеч је о обољењима са кардиоваскуларним и неуролошким ризицима, алергијским реакцијама и другим акутним реакцијама на високе дневне температуре ваздуха, а могу се јавити и други здравствени проблеми као што су болести изазване бактеријама у храни и води, болести које преносе комарци и птице и друго (Miljković et al. 2011; Vujkovic et al. 2012; Vulić et al. 2019; Škrbić et al. 2019; Spasojević et al. 2020). Један од кључних проблема је недоступност података и недостатак истраживања по појединим гранама медицине у којима се очекује знатан утицај климатских промјена (кардиологија, пулмологија и друго). Неопходно је перманентно информисање јавности о могућим утицајима климатских промјена на здравље људи, а нарочито у екстремним временским и климатским условима. На људско здравље, у контексту климатских промјена, велики утицај има и доступност пијаће воде становништву. Снабдијевање пијаћом водом отежано је приликом појаве екстремних суша у руралним срединама, те у условима великих поплава.

Постоји јака узрочна повезаност између загађења ваздуха и читавог спектра поремећаја здравља човјека. Научне студије су потврдиле да и краткорочно и дугорочно излагање оваквим утицајима има негативан ефекат на здравље људи (изазивање морбидитета, односно оболијевања и морталитета, односно смртности). Научне студије су се углавном базирале на негативне ефекте на кардиоваскуларни систем, те настанак рака плућа и свеукупни морталитет (Smith et al. 2014). Широк је дијапазон кардиоваскуларних поремећаја који су праћени у смислу повезаности са загађењем ваздуха. Праћена је првенствено

укупна смртност и повезаност са загађењем ваздуха, а још су праћени: број дана хоспитализације због кардиоваскуларне болести, исхемијска болест срца, срчано попуштање, цереброваскуларне болести (инфаркт мозга и хеморагијска болест мозга), болести периферних артерија и вена, аритмије, поремећаји коагулације, системска и пулмонарна артеријална хипертензија, васкуларна функција, атеросклероза...

Широк распон нових студија које се крећу од епидемиологије до молекуларних и токсиколошких експеримената пружио је додатне доказе да данашњи ниво загађености ваздуха доприноси кардиоваскуларном морбидитету и морталитету. Међутим, треба напоменути да постоји веома велика хетерогеност студија, методологија истраживања и закључака који понекада нису сви конзистентни. Сигурно је да подручје утицаја загађења ваздуха и климатских промјена на кардиоваскуларни систем није до краја испитано и да су потребна даља истраживања у овом подручју (World Health Organization 2005; Brook et al. 2010; World Health Organization Regional Office for Europe 2013). Негативни ризици по здравље излагања овим честицама израженији су код дуготрајног излагања у односу на краткотрајно излагање. Дакле, може се уопштено рећи да што је дуже излагање овим честицама, и негативни ефекти на здравље су израженији (World Health Organization Regional Office for Europe 2013). Токсиколошке студије су показале да су могући механизми настанка штетног дејства на људски организам преко системске инфламације и васкуларне дисфункције. Епидемиолошке студије су показале да нема сигурног нивоа штетних партикула у ваздуху. Наиме, свака њихова концентрација је штетна, али је ефекат на здравље све штетнији уколико је концентрација штетних честица у ваздуху већа (Burnett et al. 2014). Укупно гледано, морталитет од свих узрока смрти расте за 7% за $10 \mu\text{g m}^{-3}$ повећања у дуготрајном излагању у подручјима која имају благи до умјерени ниво загађења (World Health Organization 2014). Уколико се гледа укупни утицај на здравље, процјењује се да је загађење ваздуха овим честицама одговорно за 3,7 милиона смрти у 2012 години. Од овог броја 88% смрти настало је у сиромашним земљама (World Health Organization 2014). Уколико се нивои штетних честица смање у ваздуху, ризик по здравље је дијелом реверзибилан у првих неколико година након смањења концентрације честица у ваздуху (Laden et al. 2006).

Поред штетних честица и њиховог негативног утицаја на здравље, често се истиче значај екстремних температура на здравље. Студије углавном износе податке о штетности екстремно високих, али и екстремно ниских температура на здравље. Углавном се обично истичу утицаји на свеукупни морталитет и кардиоваскуларни морталитет и морбидитет (Basu 2009; Gasparrini et al. 2012).

На промјене температуре су посебно вулнерабилне старије особе (Hajat et al. 2007). Исти аутор је у студији из 2010. године објавио резултате да у скоро пола испитиваних локација смртност од свих узрока расте за 1% до 3% за сваки пораст температуре од 1 °C (Hajat and Kosatky 2010). Међутим, нису све локације имале овакав резултат. Висока густина насељености, број особа старијих од 65 година живота и слабо економско стање земље фактори су који су били независно повезани са повећањем морталитета на врућинама (Hajat and Kosatky 2010; Hajat et al. 2010). Међутим, смртност повезана са екстремним температурама варира и од прилагођавања индивида и градова на климатске промјене. Уколико се примијене мјере адаптације, наведени морталитет је мањи при екстремним температурама (Anderson and Bell 2009; Kovats and Hajat 2008).

Климатске промјене су повезане и са промјенама у појављивању инфективних болести. Такав примјер је појава обољења које узрокује вирус западног Нила. Овај RNA вирус је неуротропни и узрокује инфекцију централног нервног система. У трансмисији ове болести учествује тигрasti комарац. Највећи дио инфицираних особа је асимптоматски (око 80%), а мање од 1% развија клиничку слику инфекције централног нервног система у виду болести као што је менингитис, енцефалитис или флакцидна парепареза. Подаци о овим инфекцијама на нашим просторима су веома оскудни. Недавно је публикована студија из Србије (Stevic et al. 2015). У овој студији о епидемији која је захватила јужни дио Бачке описано је 32 случаја инфекције централног нервног система са овим вирусом (у периоду од 1. јануара 2012. до 31. децембра 2013. године). Пацијенти су били старости од 31 до 65 година. Дијагноза је потврђена ензимски повезаним имуносорбентним тестом (*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay Test*, ELISA). Пуни опоравак се десио код 87,5% случајева.

Такође, недавно је публикована и студија која је обухватила 52 пацијента из Србије који су имали симптоме инфекције +вирусом западног Нила и знацима захватања централног нервног система (Poročić et al. 2014). Ови пацијенти су лијечени на Клиници за инфективне и тропске болести Клиничког центра Србије у Београду. На озбиљност инфекција указују подаци да је 84,6% пацијената имало енцефалитис, 15,4% менингитис и 25% флакцидну парепарезу. Респираторна инсуфицијенција и посљедична механичка вентилација се десила код 29,5% пацијената, а 9 пацијената је умрло (17,3%). Болест је оставила инвалидитет код 9,6% пацијената.

Међу инфективним болестима такође се истиче и све већа учесталост лајмске болести, која је узрокована са *Boreliom burgdoferi*. Болест се преноси уједом крпеља, а све већа учесталост појаве обољења повезује се са повећавањем температуре и посљедично већом активношћу крпеља. Подаци о ова два

инфективна обољења и трендовима кретања тих обољења у Републици Српској су оскудни. У извјештају Института за јавно здравство Републике Српске о кретању заразних болести објављеном 2015. године речено је да је пријављено 83 случаја лајмске болести у 2015. години са стопом инциденце од 5,9‰. Анализирајући кретање стопе морбидитета лајмске болести у петогодишњем периоду од 2011. до 2015. запажа се пораст морбидитета од 2011. до 2013. године, у 2014. се региструје иста стопа као у 2013. те се на крају у 2015. години инциденца спушта на најнижу вриједност (5,9‰). У циљу контроле и надзора над појавом и ширењем ове болести, усљед евидентних климатских промјена (првенствено глобалног загријавања, које погодује одржавању природно жаришних инфекција), велики значај између осталог има спровођење мјера личне заштите приликом боравка у природи и преглед површине тијела након повратка из природе.

У 2015. години није пријављен ниједан случај грознице западног Нила (*West Nile Fever*), као ни у периоду 2011–2013. године. У 2014. години је пријављено 10 вјероватних случајева ове болести. Сви су дијагностиковани у Заводу за микробиологију Универзитетског клиничког центра Републике Српске у Бањој Луци, а воде се као вјероватни случајеви у складу са међународном дефиницијом случајева заразних болести, и ниједан случај није потврђен. Обољели су регистровани у три регије (Бања Лука, Добој и Требиње), различитог су добног узраста, а највећи број је регистрован у мјесецу мају (Институт за јавно здравство, паразитарне и заразне болести 2015).

Према извјештајима и истраживањима које је вршио Ветеринарски институт „Васо Бутузан“ из Бање Луке у љето 2015. године присуство азијског тиграстог комарца (*Aedes albopictus*) утврђено је на пет локација у Републици Српској, и то: у Лакташима, Бијељини, Броду, Градишци и Бањој Луци. На подручјима Лакташа и Бијељине адулти и ларве тиграстог комарца нађени су код двије вулканизерске радње. Јаја и ларве овог комарца нађени су у овопозиционим клопкама које су биле постављене на територији граничних прелаза. У Бањој Луци је у једном стану у Улици Јована Дучића пронађен адулт комарца који је касније детерминисан као тиграсти комарац. Познато је да та врста комарца игра веома важну улогу као вектор микроорганизама који узрокују вирусне трансмисивне заразне болести као што су денга, чикунгуња и грозница западног Нила. Ова врста комарца је раније детектована у неким сусједним европским земљама. У Републици Српској и Босни и Херцеговини детектоване су и неке друге врсте и родови комараца, који знатно могу утицати на здравље људи. Већа бројност популације ових комараца утврђена је на подручјима Градишке, Брода, Српца и Козарске Дубице.

Познато је да климатске промјене већ имају мјерљив утицај на временске прилике и у Европи у виду повећања просјечних вриједности и промјене количине падавина, те се очекују све чешћи таласи врућина, суша и поплаве. Једна од посљедица климатских промјена јесте и њихов утицај на појаву, распрострањеност и сезонске варијације заразних болести људи. То у ствари подразумева појаву и ширење већ постојећих заразних болести на подручјима гдје их раније није било, али и појаву нових заразних болести.

Највећи утицај климатске промјене имају на векторске заразне болести. То су болести чији узрочник извјесно вријеме, прије него што доспије у организам свог домаћина, проведе у вектору (комарци, крпељи и различите друге врсте инсеката). Вектори су организми који немају механизме за одржавање тјелесне температуре, па директно зависе од спољашње температуре. Одговарајућа температура и влажност ваздуха су основни предуслов за развој јаја и ларви инсеката у одрасле јединке, тако да у условима високе температуре и велике влажности њихов број може да порасте и за неколико пута. Процјењује се да свако повећање температуре ваздуха за 0,1 °C шири станиште комараца и до 150 км у правцу сјеверне географске ширине Земљине кугле.

Када су у питању векторске заразне болести на територији Републике Српске, региструју се претежно случајеви оболијевања од *Lyme boreliose* и по неколико случајева импортоване маларије годишње, али је у 2014. години евидентирано и 10 вјероватних случајева грознице западног Нила.

Такође, у извјештајима Института за јавно здравство Републике Српске за године 2017, 2016. и 2015. уочава се да кардиоваскуларне болести чине од 48,31% до 49,53% свих смрти у Републици Српској (Таб. 13.1). Злоћудни тумори су узрок од 20,64% до 21,10% свих смртних исхода (Институт за јавно здравство 2015, 2016, 2017).

Сигурно је да би диферентнија анализа ових података могла да покаже да ли у Републици Српској постоји тренд пораста или пада неког од горе наведених обољења и да ли се ови трендови могу довести у везу са климатским утицајима.

Таб. 13.1. Смртност у Републици Српској према узроку болести за 2015, 2016. и 2017. годину (Институт за јавно здравство Републике Српске 2015, 2016, 2017)

Table 13.1. Mortality in the Republic of Srpska by cause of disease for 2015, 2016 and 2017 (Институт за јавно здравство Републике Српске 2015, 2016, 2017)

Узрок смрти МКВ 10	Број		%		Број		%	
	2017		2016		2015			
Болести система крвотока	7.180	48,97	6.920	49,53	7.275	48,31		
Злоћудни тумори	3.027	20,64	2.948	21,10	3.138	20,84		
Болести система за дисање	576	3,93	510	3,65	618	4,10		
Заразне и паразитарне болести	147	1,00	187	1,34	159	1,06		

13.4. Климатске промјене и мождани удари¹

Мождани удар је мултифакторијелна болест са добро документованим факторима ризика (група фактора ризика на које се може утицати и група фактора ризика на које се не може утицати). Нема довољно доступних студија које су пратиле повезаност између можданог удара и климатских екстрема. Поставља се питање: Да ли у данима када је неповољна метеоролошка ситуација имамо већу учесталост можданих удара?

Сви мождани удари грађана Града Бање Луке лијече се на Неуролошкој клиници Универзитетског клиничког центра Републике Српске у Бањој Луци, те је због тога Неуролошка клиника изабрана да буде установа у којој ће бити спроведена студија.

Циљ истаживања. Циљ истаживања је био да се утврди да ли су повезани дани у години када су неповољни хумидекс и степен удобности са појавом можданог удара код грађана Града Бања Лука.

Испитаници и методе. Испитивање је спроведено на Неуролошкој клиници Универзитетског клиничког центра Републике Српске у Бањој Луци. Испитивањем су обухваћени искључиво грађани Града Бање Луке и Лакташа који су лијечени на Неуролошкој клиници. Ретроспективно су анализирани

¹ Истраживање спроведено на Неуролошкој клиници Универзитетског клиничког центра Републике Српске у Бањој Луци.

подаци за период 2011–2017. Ове године су биле неповољне у смислу да су имале велики број дана са опасним и екстремно опасним хумидексом и степеном удобности. Урађене су биоклиматске анализе за сваки појединачни дан за истраживани период. Дани су класификовани према вриједностима хумидекса на:

- мање од 29 опрез,
- 30–39 велики опрез,
- 40–44 опасност,
- 45–54 опасност,
- више од 55 екстремно опасно.

Истраживање је извршено на основу протокола пријемне амбуланте Неуролошке клинике. У сваком појединачном дану избројано је колико је пацијената примљено због сумње на инфаркт мозга (Дијагнозе: *Infarctus cerebri, RIND*), а колико због сумње на крварење у мозгу (Дијагнозе: *Haematoma intracerebralis, Haemorrhagia subarachnoidalis*). Потом је провјерено у протоколу отпуштених пацијената да ли су ти пацијенти имали и на отпусту (након спроведеног лијечења на Неуролошкој клиници) потврђену пријемну дијагнозу. Из студије су избачени пацијенти који су примљени под сумњом на мождани удар (један од ова два типа), али се за вријеме лијечења испоставило да се ради о неком другом обољењу и ови пацијенти су отпуштени са Неуролошке клинике под другом дијагнозом која није мождани удар. Увидом у отпуснице са Неуролошке клинике верификовано је да ли је пацијент преживио мождани удар или је умро. Овај резултат је показивао тежину можданог удара. У протоколима је провјерено да ли пацијенти живе у граду Бања Лука. Пацијенти примљени на Неуролошку клинику из других општина нису укључени у студију.

Резултати истраживања. У периоду 2011–2017. године на Неуролошку клинику примљено је 2.942 пацијента са инфарктом мозга и крварењима у мозак (Таб. 13.2). Сви ови пацијенти живе на подручју територије града Бања Лука. Анализом података по појединачним данима и поређењем броја можданих удара са вриједностима хумидекса и степена удобности није нађена сигнификантно значајна повезаност између настанка можданог удара и дана са повишеним вриједностима хумидекса и степена удобности (45–54 опасност, више од 55 екстремно опасно). С обзиром на обимност података по појединачном дану и немогућност да се прикажу у овом документу, у даљем тексту је дата табела у којој је приказан број пацијената који су примљени на Неуролошку клинику по мјесецима за посматрани период (Таб. 13.2. и Таб. 13.3).

Таб. 13.2. Мождани удари у Бањој Луци (само грађани Бање Луке) у периоду 2011–2017.

Table 13.2. Strokes in Banja Luka (only Banja Luka citizens) in the 2011–2017 periods

Мождани удари (инфаркти мозга и крварења)								
	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	
I	41	43	38	26	32	37	47	
II	33	44	34	43	40	36	27	
III	42	20	26	35	36	40	39	
IV	29	35	33	36	28	38	32	
V	30	32	28	39	35	35	45	
VI	30	24	29	37	33	34	33	
VII	35	35	36	28	41	35	30	
VIII	29	30	27	36	35	50	39	
IX	23	32	40	32	26	39	40	
X	35	37	40	32	31	27	35	
XI	44	37	34	42	44	38	29	
XII	34	35	48	39	31	40	38	
Ук.	405	404	413	425	412	449	434	Свега 2.942

Таб. 13.3. Смртност услед можданих удара у Бањој Луци (само грађани Бање Луке) у периоду 2011–2017.

Table 13.3. Mortality due to strokes in Banja Luka (only Banja Luka citizens) in the 2011–2017 periods

Смртност (Мождани удар – инфаркти мозга и крварења)								
	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	
I	10	16	17	9	5	10	20	
II	11	18	11	10	11	5	5	
III	11	4	8	10	9	14	11	
IV	12	8	8	10	9	10	9	
V	11	6	7	9	13	5	8	
VI	9	8	9	3	7	8	7	
VII	11	16	10	3	11	4	8	
VIII	9	11	4	9	10	8	8	
IX	6	14	12	4	3	11	6	
X	9	13	11	9	8	6	7	
XI	13	14	11	12	8	11	12	
XII	6	18	13	7	2	8	13	
Ук.	118	146	121	95	96	100	114	Свега 790

Закључци истраживања:

1. Анализом података за град Бања Лука по појединачним данима и поређењем броја можданих удара са вриједностима хумидекса и степена удобности није пронађена статистички значајна повезаност између настанка можданог удара и дана са повишеним вриједностима хумидекса и степена удобности.
2. Посматрањем података по мјесецима уочава се статистички значајно више можданих удара по типу крварења у мјесецима јули и август, али само за одређена рурална подручја изван територије града Бања Лука. Ово би се могло објаснити тиме да ово становништво ради у пољу и изложено је јачем утицају екстремних временских прилика. Међутим, апсолутни бројеви су мали те су потребне нове студије да би се овај закључак могао потврдити или одбацити.
3. Упркос растућој евиденцији и доказима, потребна су даља истраживања о неповољним утицајима климатских промјена на здравље човјека. Сигурно је да се дуготрајни неповољни ефекти на здравље човјека које чине климатске промјене могу модификовати и смањити мјерама адаптације.
4. Неопходно би било извршити и истраживања за друге болести (кардиолошке, пулмолошке...) чији се интензитет појава може везати за неповољне биоклиматске услове и индексе.

13.5. Закључак

Климатске промјене имају све израженији утицај на људско здравље. Земље југоисточне Европе, гдје се налази Република Српска и Босна и Херцеговина, све су више изложене и рањиве на климатске промјене, а тај утицај постаје све интензивнији. Према Међувладином панелу за климатске промјене, климатске промјене утичу на здравље на три начина:

- директни утицаји као што су смртност и морбидитет (укључујући топлотне стресове и исцрпљеност) усљед екстремних топлотних догађаја, поплава и других екстремних временских прилика условљених климатским промјенама;
- индиректни утицаји промјена животне средине и екосистема, као што су промјене у начинима преношења болести чији су узрочници комарци и крпељи, те болести условљене загађеном водом због смањеног водостаја или поплава;
- посредни утицаји у друштвеним системима као што су неухрањеност и менталне болести усљед измијењених услова пољопривредне

производње и несигурности у храни, те исцрпљивање радника на отвореном у условима високих температура и других екстремних временских и климатских догађаја.

Утицај климатских промјена на људско здравље је по правилу, али не и искључиво, негативан. Позитиван је утицај на становништво у умјереним областима које ће бити изложено мањем ризику од екстремне хладноће, те могућношћу веће продуктивности пољопривредне производње услед продужења периода вегетације. Међутим, ако се посматра укупан утицај, он је доминантно негативан, а разлог више је што климатске промјене имају све већи интензитет. Сем тога, највећа концентрација свјетске популације је у екваторијалним ширинама и тропском појасу, гдје је и притисак од климатских промјена највећи.

Иако се директним утицајима екстремних климатских догађаја на здравље даје велика пажња, климатске промјене углавном штетно дјелују на људско здравље, погоршавајући постојеће оптерећење на болести (кардиолошке, пулмолошке, неуролошке, психолошке...) и негативно утичу на свакодневни живот међу обољелима. На те болести најслабије реагује становништво са лошијим здравственим системима. И то становништво, по правилу, има најмање капацитета за прилагођавање.

У непосредној будућности неопходно је функционално прилагођавање јавног здравља у Републици Српској и Босни и Херцеговини на климатске промјене. Ово прилагођавање подразумијева унапређење превенције, те ефикасности здравственог система и одговор на све брже и екстремније климатске догађаје. Приоритетне интервенције треба да укључују боље управљање еколошким детерминантима здравља (као што су водоснабдијевање и санитарна заштита), праћењем постојећих и нових заразних болести, те повећање отпорности здравствених система на екстремне временске и климатске догађаје. Такође, смањење сиромаштва и друштвено-економски развој неопходан је предуслов за успјешну адаптацију. Климатски модели и сценарији упућују да ће ограничења у здравственом прилагођавању бити све комплекснија. На примјер, пројекције загријавања и повећања температуре очекују се према сва четири климатска сценарија (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 и RCP2.6) до краја XXI вијека. Ово повећање упућује на чињеницу да се могу јавити температуре које прелазе оптималне физиолошке границе које могу отежавати рад или обављање других физичких активности на отвореном. Сем тога, уз повећање температуре очекује се притисак на водне ресурсе, што дугорочно може условити и притисак на пијаћу воду. Неопходно је наставити даља истраживања, али и перманентно информисати јавност о могућим утицајима климатских промјена на здравље људи.

Литература

- Abaspahić H, Davis A, Arifagić E, Andronova Vincelle G (2014) Bosnia and Herzegovina Floods — Recovery Needs Assessment. Доступно на: https://www.undp.org/content/dam/bosnia_and_herzegovina/docs/Response%20to%20Floods/RNA.pdf, Приступљено: 17. септембар 2021
- Anderson BG, Bell ML (2009) Weather-Related Mortality: How Heat, Cold, and Heat Waves affect Mortality in the United States. *Epidemiology* 20(2):205–213. doi.10.1097/EDE.0b013e318190ee08
- Armstrong BG, Chalab Z, Fenn B, Hajat S, Kovats S, Milojevic A, Wilkinson P (2011) Association of Mortality with High Temperatures in a Temperate Climate: England and Wales. *Journal of Epidemiology and Community Health* 65(4): 340–345. doi.10.1136/jech.2009.093161
- Åström C, Rocklöv J, Hales S, Béguin A, Louis V, Sauerborn R (2012) Potential Distribution of Dengue Fever Under Scenarios of Climate Change and Economic Development. *EcoHealth* 9(4):448–454. doi.10.1007/s10393-012-0808-0
- Basu R (2009) High Ambient Temperature and Mortality: A Review of Epidemiologic Studies from 2001 to 2008. *Environmental Health* 8:40. doi.10.1186/1476-069X-8-40
- Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, Anderson HR, D’Ovidio M, Menne B, Michelozzi P, Biggeri A (2011) Impact of Heat on Mortality in 15 European Cities: Attributable Deaths Under Different Weather Scenarios. *Journal of Epidemiology and Community Health* 65(1):64–70. doi.10.1136/jech.2008.085639
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker R, Mittleman MA, Peters A, Siscovick D, Smith SC Jr, Whitsel L, Kaufman JD, American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism (2010) Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease an Update to the Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation* 121(21):2331–2378. doi.10.1161/CIR.0b013e3181dbec1
- Burnett R, Pope C, Ezzati M, Olives C, Lim S, Mehta S, Shin HH, Singh G, Hubbell B, Brauer M, Anderson HR, Smith KR, Balmes JR, Bruce NG, Kan H, Laden F, Prüss-Ustün A, Turner MC, Gapstur SM, Diver WR, Cohen A (2014) An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure. *Environmental Health Perspectives* 122(4):397–403. doi.10.1289/ehp.1307049
- Vujkovic Z, Racić D, Miljković Š, Đajić V (2012) Hemorrhagic Complications of Thrombolytic Therapy. *Medicinski pregled* 65(1–2):9–12. doi.10.2298/MPNS1202009V

- Vujković Z (2015) Human Health Sector Report. In: Oprašić S, Avdić S, Selmanagić Bajrović A, Muharemović A, Prašović S, Trbić G, Husika A, Krajinović B, Stojanović B, Zorić B, Blagojević V, Đurđević V, Tica G, Bajić D, Arnautović-Aksić D, Vojinović Đ, Zahirović E, Krečinić E, Omerčić E, Kupusović E, Vujković Z, Musić I, Čizmić I, Koprena J, Čolović-Daul M, Tais M, Voloder M, Ljuša M, Karabegović M, Mataruga M, Kotur M, Rudan N, Drešković N, Begović P, Dekić R, Gnjato R, Radić R, Hodžić S, Stupar S, Kopranović S, Čustović H, Republički hidrometeorološki zavod, Federalni hidrometeorološki zavod (authors) Third National Communication (TNC) and Second Biennial Update Report on Greenhouse Gas Emissions (SBUR) of Bosnia and Herzegovina, pp 113–114. UNDP
- Vulic D, Secerov Zecevic D, Burgic M, Vujkovic Z, Ristic S, Marinkovic J, Medenica S, Wong ND (2019) Post-Trauma Cardiovascular Risk Factors and Subclinical Atherosclerosis in Young Adults Following the War in Bosnia and Herzegovina. *European Journal of Psychotraumatology* 10(1):1601988. doi.10.1080/20008198.2019.1601988
- Gasparrini A, Armstrong B, Kovats S, Wilkinson P (2012) The Effect of High Temperatures on Cause-Specific Mortality in England and Wales. *Occupational and Environmental Medicine* 69(1):56–61. doi.10.1136/oem.2010.059782
- D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de' Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramon M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iniguez C, Perucci CA (2010) The Impact of Heat Waves on Mortality in 9 European Cities: Results from the EuroHEAT Project. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 9:37. doi.10.1186/1476-069X-9-37
- Zaninović K, Gajić-Čapka M (2008) Klimatske promjene i utjecaj na zdravlje. *Croatian Journal of Infection* 28(1)5–15
- Институт за јавно здравство (2015) Заразне и паразитарне болести на територији Републике Српске. Институт за јавно здравство Републике Српске, Бања Лука
- Институт за јавно здравство (2015) Здравствено стање становништва у 2015. години. Институт за јавно здравство Републике Српске, Бања Лука
- Институт за јавно здравство (2016) Здравствено стање становништва у 2016. години. Институт за јавно здравство Републике Српске, Бања Лука
- Институт за јавно здравство (2017) Здравствено стање становништва у 2017. години. Институт за јавно здравство Републике Српске, Бања Лука
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1535
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part A: Global and Sectoral Aspects; Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1132

- Kovats RS, Hajat S (2008) Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health* 29:41–55. doi.10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843
- Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, Turner MC, Pope CA 3rd, Thurston G, Calle EE, Thun MJ, Beckerman B, DeLuca P, Finkelstein N, Ito K, Moore DK, Newbold KB, Ramsay T, Ross Z, Shin H, Tempalski B (2009) Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. *Research Reports: Health Effects Institute* 140:5–114
- Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW (2006) Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality: Extended Follow-Up of the Harvard Six Cities Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 173(6):667–672. doi.10.1164/rccm.200503-443OC
- Lowe D, Ebi KL, Forsberg B (2011) Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8(12):4623–4648. doi.10.3390/ijerph8124623
- Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, D'Ippoliti D, Marino C, Baccini M, Biggeri A, Anderson HR, Katsouyanni K, Ballester F, Bisanti L, Cadum E, Forsberg B, Forastiere F, Goodman PG, Hojs A, Kirchmayer U, Medina S, Paldy A, Schindler C, Sunyer J, Perucci CA, PHEWE Collaborative Group (2009) High Temperature and Hospitalizations for Cardiovascular and Respiratory Causes in 12 European Cities. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 179(5):383–389. doi.10.1164/rccm.200802-217OC
- Miljković S, Rabi-Zikić T, Arbutina M, Vujković Z, Racić D, Crncević S, Jesić A, Zikić M (2011) Our Experience with Thrombolytic Therapy – Preliminary Report. *Acta Clinica Croatica* 50(2):217–223
- McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, Pattenden S, Hajat S, Armstrong B, Vajanapoom N, Niciu EM, Mahomed H, Kingkeow C, Kosnik M, O'Neill MS, Romieu I, Ramirez-Aguilar M, Barreto ML, Gouveia N, Nikiforov B (2008) International Study of Temperature, Heat and Urban Mortality: The 'Isotherm' Project. *International Journal of Epidemiology* 37(5):1121–1131. doi.10.1093/ije/dyn086
- Oprašić S, Avdić S, Selmanagić Bajrović A, Muharemović A, Prašović S, Trbić G, Husika A, Krajinović B, Stojanović B, Zorić B, Blagojević V, Đurđević V, Tica G, Bajić D, Arnautović-Aksić D, Vojinović Đ, Zahirović E, Krečinić E, Omerčić E, Kupusović E, Vujković Z, Musić I, Čizmić I, Koprena J, Čolović-Daul M, Tais M, Voloder M, Ljuša M, Karabegović M, Mataruga M, Kotur M, Rudan N, Drešković N, Begović P, Dekić R, Gnjata R, Radić R, Hodžić S, Stupar S, Kopranić S, Čustović H, Republički hidrometeorološki zavod, Federalni hidrometeorološki zavod (2016) Treći nacionalni izvještaj (TNC) BiH i Drugi dvogodišnji izvještaj o emisiji stakleničkih plinova (SBUR) BiH. Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa BiH, Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju

- Republike Srpske, Ministarstvo okoliša i turizma Federacije BiH, UNDP, GEF, str 257. Доступно на: https://www.undp.org/content/dam/bosnia_and_herzegovina/docs/News/E&E%20Sector/TNC/TNC%20Report%20ENG.pdf. Приступљено: 30. јануар 2022
- Pecelj M, Krajic A, Trbic G, Stevanovic V, Golijanin J (2013) Bioclimatic Characteristics of the City of Novi Sad Based on Human Heat Balance. 6th International Conference on Climate Change, Global Warming and Biological Problems, March 21 – 23, 2013, Lemesos, Frederick University, Proceedings, pp 244–249
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019a) Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Geografie* 124(1):19–40. doi.10.37040/geografie2019124010019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019b) Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change*, pp 213–228. Springer Nature. doi.org/10.1007/978-3-030-03383-5_15
- Popovic N, Milosevic B, Urosevic A, Poluga J, Popovic N, Stevanovic G, Milosevic I, Korac M, Mitrovic N, Lavadinovic L, Nikolic J, Dulovic O (2014) Clinical Characteristics and Functional Outcome of Patients with West Nile Neuroinvasive Disease in Serbia. *Journal of Neurology* 261(6):1104–1111. doi.10.1007/s00415-014-7318-7
- Rocklöv J, Forsberg B (2010) The Effect of High Ambient Temperature on the Elderly Population in Three Regions of Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7(6):2607–2619. doi.10.3390/ijerph7062607
- Savic T, Vulic D, Secerov Zecevic D, Vujkovic Z, Burgic M, Spasojevic G, Wong N (2021) Follow Up of Influence of Psychotrauma on Intima Media Thickness in Young Adults Following the War. *Scripta Medica* 52(supplement 1):53
- Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch JM, Revich B, Sauerborn R (2014) Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part A: Global and Sectoral Aspects; Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 709–754. Cambridge University Press
- Spasojević G, Vujmilović S, Vujković Z, Gajanin R, Malobabić S, Ponorac N, Preradović L (2020) Internal Carotid and Vertebral Arteries Diameters and Their

- Interrelationships to Sex and Left/Right Side. *Folia Morphologica* 79(2):219–225. doi.10.5603/FM.a2019.0071
- Stevic S, Mikic SS, Sipovac D, Turkulov V, Milosevic V, Hrnjakovic-Cvetkovic I (2015) Epidemics of the Central Nervous System Infections Caused by West Nile Virus in the Territory of the South Bačka District, Vojvodina, Serbia. *Vojnosanitarni pregled* 72(12):1098–1104. doi.10.2298/vsp140718115s
- Schifano P, Leone M, De Sario M, de' Donato F, Bargagli AM, D'Ippoliti D, Marino C, Michelozzi P (2012) Changes in the Effects of Heat on Mortality Among the Elderly from 1998–2010: Results from a Multicenter Time Series Study in Italy. *Environmental Health* 11:58. doi.10.1186/1476-069X-11-58
- Trbic G, Bajic D, Djurdjevic V, Ducic V, Cupac R, Markez Đ, Vukmir G, Dekić R, Popov T (2018) Limits to Adaptation on Climate Change in Bosnia and Herzegovina: Insights and Experiences. In: Leal Filho W, Nalau J (eds) *Limits to Climate Change Adaptation*, pp 245–259. Springer. doi.10.1007/978-3-319-64599-5_14
- Трбић Г (2005) Биоклиматска обиљежја Бања Луке. *Гласник/Herald* 19:49–57
- Trbic G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01
- Hajat S, Kovats RS, Lachowycz K (2007) Heat-Related and Cold-Related Deaths in England and Wales: Who is at Risk. *Occupational and Environmental Medicine* 64:93–100. doi.10.1136/oem.2006.029017
- Hajat S, Kosatky T (2010) Heat-Related Mortality: A Review and Exploration of Heterogeneity. *Journal of Epidemiology and Community Health* 64(9):753–760. doi.10.1136/jech.2009.087999
- Hajat S, O'Connor M, Kosatsky T (2010) Health Effects of Hot Weather: From Awareness of Risk Factors to Effective Health Protection. *Lancet* 375(9717): 856–863. doi.10.1016/S0140-6736(09)61711-6
- Hertel S, Le Tertre A, Jöckel K, Hoffmann B (2009) Quantification of the Heat Wave Effect on Cause-Specific Mortality in Essen, Germany. *European Journal of Epidemiology* 24(8):407–414. doi.10.1007/s10654-009-9359-2
- Humphrys E, Newman F, Goodman J (2020) Heat Stress and Work in the Era of Climate Change: What We Know, and What We Need to Learn. The Australia Institute Research That Matters, Center for Future Work. Доступно на: https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/theausinstitute/pages/3235/attachments/original/1605114522/Heat_Stress_and_Work_FINAL_FINAL.pdf?1605114522, Приступљено: 7. септембар 2022
- Corobov R, Sheridan S, Opopol N, Ebi K (2012) Heat-Related Mortality in Moldova: the Summer of 2007. *International Journal of Climatology* 33(11):2551–2560. doi.10.1002/joc.3610
- Corobov R, Sheridan S, Ebi K, Opopol N (2013) Warm Season Temperature Mortality Relationships in Chisinau (Moldova). *International Journal of Atmospheric Sciences* 2013:346024. doi.10.1155/2013/346024

- Супаћ Р, Трбић Г, Захириовић Е (2020) Cost–Benefit Analysis of Climate Change Adaptation Measures in Bosnia and Herzegovina. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 5:26. doi.10.1007/s41207-020-00160-4
- Škrbić R, Vujković Z, Stojiljković MP, Gajanin R, Bokonjić D, Komić J (2019) Efficacy and Safety of Low-Dose Versus Standard-Dose Alteplase Regimens in Patients with Acute Ischaemic Stroke. *Psychiatria Danubina* 31(Supplement 1):32–38
- World Health Organization (2005) WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide; Global Update 2005: Summary of Risk Assessment. World Health Organization, Geneva, pp 20
- World Health Organization (2014) Mortality from Ambient Air Pollution for 2012. Доступно на: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/, Приступљено: 14. новембар 2014
- World Health Organisation (2021) COP26 Health Programme, Country Commitments to Build Climate Resilient and Sustainable Health Systems. Доступно на: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/climate-change/cop26-health-programme.pdf?sfvrsn=cde1b578_10, Приступљено: 10. септембар 2022
- World Health Organisation (2022) Fast Facts on Climate Change and Health. Доступно на: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/climate-change/fast-facts-on-climate-and-health.pdf?sfvrsn=157ecd81_5, Приступљено: 17. септембар 2022
- World Health Organization Regional Office for Europe (2013) Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP Project. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, pp 302
- World Health Organization Regional Office for Europe (2014) WHO Expert Meeting: Methods and Tools for Assessing the Health Risks of Air Pollution at Local, National and International Level. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, pp 109

Climate Change and Health

Zoran Vujković, Goran Trbić

Summary

Climate change is becoming an increasing threat and one of the biggest health challenges facing humanity. A very unfavorable impact on the most important health factors: food, air and water has already been observed. Prolonged heat waves with high temperatures, followed by storms, floods and droughts are the cause of the death of tens of thousands of people every year, while the existence of millions of people is threatened due to climate change. Diseases such as diarrhea, malaria and malnutrition, which are conditioned in a certain way by specific climatic conditions, already cause more than three million deaths per year. These numbers do not include the devastating indirect impact of climate, for example, on food crops and the availability of drinking water around the world. Climate change threatens to halt progress in the fight against poverty and widen the health gap between rich and poor. Human health must be at the center of the fight against climate change, and efforts to preserve health must be strengthened through the Millennium Development Goals. The territory of the Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, but also Southeastern Europe is under great pressure from climate change, where negative impacts have already been recorded.

Keywords: Climate change, health, Republic of Srpska, heat waves, tiger mosquito, stroke

Савремене климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини

Татјана Попов, Владан Дуцић, Владимир Ђурђевић, Горан Трбић,
Слободан Гњато

Сажетак: У раду се даје преглед уочених климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини, а првенствено промјена температуре ваздуха и режима падавина. У периоду 1961–2015. године утврђени су позитивни трендови средњих, максималних и минималних годишњих и сезонских температура ваздуха, који су најизраженији у сезони љето, док је у сезони јесен присутан само незнатан тренд пораста температура ваздуха. Загријавање је најизраженије у сјеверном дијелу територије, док је пораст знатно мањи у вишим предјелима Херцеговине. За разлику од температуре ваздуха, трендови падавина су, и сезонски и регионално, веома промјенљиви и различитог знака (позитивни и негативни), али већином несигнификантни. Ипак, у појединим подручјима повећана је међугодишња варијабилност падавина и учесталост екстремних падавина.

Поред тога, у раду су приказани и резултати истраживања потенцијалних климатских промјена до краја XXI вијека у Републици Српској и Босни и Херцеговини према климатском сценарију RCP8.5.

Цитирање: Попов Т, Дуцић В, Ђурђевић В, Трбић Г, Гњато С (2023) Савремене климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:567–604

Cite as: Popov T, Ducić V, Đurđević V, Trbić G, Gnjato S (2023) Recent Climate Change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:567–604

Анализе климатских промјена до краја XXI вијека засноване су на очекиваним колебањима температуре ваздуха и количина падавина. Резултати указују на израженије климатске промјене које се односе на повећање годишње температуре до 5 °C, а смањење годишњих падавина до 30%, док дефицит у сезони љето може ићи и до 40% до краја XXI вијека. Овакви трендови и промјене указују на озбиљан проблем суше и потребу за знатнијим интегрисањем климатских промјена у планске и стратешке документе.

Кључне ријечи: Климатске промјене, температура ваздуха, падавине, климатски индекси, тренд, пројекције, Република Српска, Босна и Херцеговина

14.1. Увод

Климу простора Републике Српске и Босне и Херцеговине доминантно одређује географски положај, циркулација ваздушних маса, рељеф и геолошка подлога. На термички режим и климатска обиљежја Босне и Херцеговине утичу два акциона центра атмосфере: азорски антициклон, који условљава стабилно, а љети и топло вријеме, и исландски циклон, који доноси падавине. Зимом се повремено региструје и утицај сибирског антициклона, који је праћен хладним и углавном сувим временом, док је у сезони љето присутан и утицај антициклона који има сахарско, односно медитеранско поријекло, а који условљава изузетно топло и суво вријеме (Трбић 2011). Према Кепеновој класификацији климата, територија Босне и Херцеговине доминантно се налази у С умјерено топлим и D умјерено хладном (бореалном) климатском типу. Основни типови климата заступљени на подручју Босне и Херцеговине су: умјереноконтинентална клима (карактерише Перипанонски обод на сјеверу), планинска клима (заступљена у средишњем дијелу у зони Динарида), те јадранска и измијењена јадранска клима (заступљена на јадранском приморју око Неума, те у јадранском залеђу, на подручју ниске Херцеговине) (Милосављевић 1973; Вајић и Трбић 2016).

Досадашња истраживања указују на значајан раст температуре ваздуха у Републици Српској и Босни и Херцеговини до краја XXI вијека, те смањење падавина уз знатно нарушен плувиометријски режим током године. Климатске промјене имају све већи утицај на многе секторе у Босни и Херцеговини. Ови утицаји су посебно изражени у XXI вијеку и огледају се у све већем порасту температура ваздуха и дуготрајним топлим таласима, који уз недостатак падавина изазивају суше, повећању броја дана са градоносним облацима и градом, смањењу падавина током сезоне љето и смањењу броја дана са задржавањем снијега и сњежног покривача (Трбић et al. 2014, 2018, 2021, 2022).

Климатске промјене имају велики утицај на кључне секторе у Републици Српској и Босни и Херцеговини: пољопривреду, шумарство, енергетику и туризам. Климатске промјене су снажно утицале на приносе култура, учесталост пожара, производњу и потрошњу енергије, погодност дестинација за развој туризма итд. (Trbić et al. 2014, 2018; Popov and Delić 2019; Popov et al. 2019a). Стога је њихово проучавање од кључне важности како би се дефинисале одговарајуће мјере адаптације и митигације у циљу смањења рањивости и повећања отпорности ових важних сектора за одрживи развој Босне и Херцеговине.

Циљ овог рада је да се да преглед до сада уочених климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини, а првенствено промјена температуре ваздуха и падавина.

14.2. Промјене температуре ваздуха

Многобројне анализе трендова спроведене на цијелој територији Босне и Херцеговине (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b, 2018c, 2019a, 2019b) или за њене поједине дијелове (Popov et al. 2017a, 2018g, 2019c, 2019d, 2021; Popov and Delić 2019; Попов 2020; Gnjato et al. 2021) јасно показују да је на овом подручју присутно загријавање климатског система. Анализе показују да је у посљедњих неколико деценија присутан тренд пораста и средњих и екстремних (максималних и минималних) температура ваздуха на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018b, 2019c, 2021; Попов 2020).

Истраживањима су на цијелој територији Републике Српске, односно Босне и Херцеговине, утврђени статистички значајни позитивни трендови средње годишње температуре ваздуха (Trbić et al. 2017; Попов 2020). Годишња средња температура ваздуха у периоду 1961–2015. године највише је порасла у Бањој Луци (0,5 °C по деценији), а најмање у вишим предјелима Херцеговине (0,2 °C по деценији у Билећи и на Иван седлу) (Таб. 14.1) (Таб. 14.1) (Trbić et al. 2017). Ипак, на већини метеоролошких станица у Босни и Херцеговини пораст средње годишње температуре кретао се у распону 0,3–0,4 °C по деценији.

Растући трендови средње температуре забиљежени су на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине у свим годишњим сезонама, с тим да је тренд раста најизраженији и најзначајнији у сезони љето, док је у сезони јесен присутно само благо и углавном несигнификантно повећање температуре ваздуха (Trbić et al. 2017). У сезони љето на цијелој територији утврђени су статистички значајни трендови температуре ваздуха (статистичка значајност на нивоу од 99%), који су се кретали у интервалу од 0,3 °C по деценији на Иван

седлу до 0,6 °C по деценији у Бањој Луци, Приједору, Бијељини и Бугојну. Статистички значајан пораст температуре ваздуха присутан је и у сезони зима и прољеће у већем дијелу Босне и Херцеговине, осим на станицама у вишим предјелима: Бјелашница, Билећа и Иван седло (у прољеће), гдје је утврђено незнатно повећање температуре ваздуха за 0,0–0,3 °C по деценији и 0,1–0,2 °C по деценији, респективно, које није било статистички значајно. На осталим станицама температура у сезонама зима и прољеће значајно је порасла, а повећање се кретало у интервалу 0,2–0,5 °C по деценији и 0,2–0,4 °C по деценији, респективно. Најслабији трендови забиљежени су у сезони јесен. Значајан тренд пораста у овој сезони од 0,2–0,3 °C по деценији утврђен је у само неколико подручја – Бања Лука, Приједор, Бугојно, Соколац и Ливно.

Таб. 14.1. Декадни тренд средњих сезонских и годишњих температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Trbić et al. 2017)

Table 14.1. Decadal trend of mean seasonal and annual air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Trbić et al. 2017)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
БХ	0,3	0,3 ^а	0,5 ^а	0,1	0,3 ^а
СМ	0,3 ^б	0,3 ^а	0,4 ^а	0,1	0,3 ^а
ПР	0,4 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,2 ^б	0,5 ^а
БЛ	0,5 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,3 ^а	0,5 ^а
ДБ	0,4 ^б	0,2 ^а	0,4 ^а	0,2	0,3 ^а
ТЗ	0,3 ^б	0,2 ^б	0,4 ^а	0,1	0,3 ^а
БН	0,4 ^б	0,4 ^а	0,6 ^а	0,2	0,4 ^а
ЗЕ	0,4 ^а	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2	0,3 ^а
БУ	0,4 ^а	0,3 ^а	0,6 ^а	0,2 ^б	0,4 ^а
СО	0,5 ^а	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2 ^б	0,4 ^а
СА	0,3 ^б	0,2 ^б	0,5 ^а	0,2	0,3 ^а
БЈ	0,0	0,1	0,4 ^а	0,1	0,2 ^а
ИС	0,3 ^б	0,2	0,3 ^а	0,1	0,2 ^а
ЛИ	0,3 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,3 ^б	0,4 ^а
БИ	0,1	0,2	0,4 ^а	-0,0	0,2 ^а
МО	0,2 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,1	0,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), БХ – Бихаћ, СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, ЗЕ – Зеница, БУ – Бугојно, СО – Соколац, СА – Сарајево, БЈ – Бјелашница, ИС – Иван седло, ЛИ – Ливно, БИ – Билећа, МО – Мостар

Посматрано на мјесечном нивоу, температуре ваздуха су највише порасле у најхладнијем мјесецу – јануару и у најтоплијим мјесецима – јулу и августу (Popov et al. 2019б). Статистички значајан тренд средње температуре ваздуха јануара у периоду 1961–2017. године утврђен је у већем дијелу Босне и Херцеговине, осим на највишој станици (Бјелашници) и у Херцеговини (Таб. 14.2). У осталим подручјима температура најхладнијег мјесеца значајно је порасла: 0,4–0,7 °C по деценији. Статистички значајни позитивни трендови средње температуре јула и августа утврђени су на свим станицама у Републици Српској и Босни и Херцеговини (значајност на нивоу од 99,9% и 99%). У већини подручја температура јула и августа порасла је за 0,5–0,6 °C по деценији, док је нешто већи пораст (0,7–0,8 °C по деценији) присутан само у Бањој Луци и Бијељини.

Таб. 14.2. Декадни тренд средњих мјесечних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2017. године (°C по деценији) (Popov et al. 2019б)

Table 14.2. Decadal trend of mean monthly air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2017 (°C per decade) (Popov et al. 2019б)

МС	СМ	БЛ	ДБ	БН	БУ	СА	СО	БЈ	БИ	МО
I	0,5 ^в	0,6 ^б	0,6 ^в	0,6 ^б	0,4 ^в	0,4 ^г	0,7 ^б	0,1	0,1	0,3 ^г
II	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,5 ^в	0,2	0,1	0,2
III	0,3 ^г	0,4 ^б	0,3 ^г	0,4 ^в	0,4 ^в	0,3 ^г	0,3 ^в	0,1	0,2	0,3 ^в
IV	0,3 ^в	0,4 ^б	0,2 ^г	0,4 ^б	0,3 ^в	0,3 ^г	0,3 ^в	0,2	0,2	0,3 ^б
V	0,3 ^б	0,4 ^б	0,2 ^в	0,3 ^б	0,3 ^б	0,2	0,3 ^в	0,2	0,1	0,3 ^б
VI	0,4 ^а	0,5 ^а	0,4 ^б	0,5 ^а	0,6 ^а	0,4 ^а	0,4 ^а	0,4 ^б	0,4 ^б	0,5 ^а
VII	0,5 ^а	0,7 ^а	0,5 ^а	0,7 ^а	0,6 ^а	0,5 ^а	0,6 ^а	0,5 ^а	0,4 ^а	0,5 ^а
VIII	0,6 ^а	0,8 ^а	0,6 ^а	0,7 ^а	0,6 ^а	0,6 ^а	0,6 ^а	0,5 ^б	0,5 ^б	0,6 ^а
IX	0,0	0,2 ^г	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,2	0,0	0,1 ^б
X	0,2	0,3 ^в	0,2	0,2 ^г	0,3 ^в	0,2	0,2 ^г	0,1	0,0	0,1
XI	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,1
XII	0,4 ^б	0,5 ^а	0,4 ^в	0,4 ^б	0,4 ^в	0,3 ^г	0,4 ^в	0,0	0,0	0,2 ^в

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^а), 99 % (^б), 95 % (^в) и 90 % (^г), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, БН – Бијељина, БУ – Бугојно, СА – Сарајево, СО – Соколац, БЈ – Бјелашница, БИ – Билећа, МО – Мостар

Компаративна анализа просјечних годишњих и сезонских температура ваздуха показује да је у периоду 1986–2015. године температура у Босни и Херцеговини порасла у односу на вриједности референтног периода 1961–1990. године на

цијелој територији и у свим годишњим сезонама (Таб. 14.3). Највећи пораст температуре ваздуха забиљежен је у најтоплијем периоду године, у сезони љето (1,0–1,7 °C), а затим у сезони прољеће (0,3–1,0 °C) и зима (0,1–1,2 °C), док је температура најмање порасла у јесен (0,1–0,8 °C) (Trbić et al. 2017).

Таб. 14.3. Промјена просјечних средњих сезонских и годишњих температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1986–2015. године у односу на референтни период 1961–1990. године (у °C) (Trbić et al. 2017)

Table 14.3. Difference in average mean seasonal and annual air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1986–2015 in relation to the reference period 1961–1990 (in °C) (Trbić et al. 2017)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
БХ	0,9	0,7 ^б	1,3 ^а	0,4	0,8 ^а
СМ	0,9 ^б	0,7 ^б	1,3 ^а	0,4	0,8 ^а
ПР	1,2 ^б	1,0 ^б	1,5 ^а	0,5	1,1 ^а
БЛ	1,2 ^б	0,9 ^а	1,7 ^а	0,8 ^а	1,1 ^а
ДБ	1,0 ^б	0,6 ^б	1,3 ^а	0,4	0,8 ^а
ТЗ	0,7	0,5	1,3 ^а	0,4	0,7 ^а
БН	1,0 ^б	0,9 ^а	1,9 ^а	0,6	1,1 ^а
ЗЕ	0,8 ^б	0,7 ^а	1,6 ^а	0,7 ^б	0,9 ^а
БУ	1,0 ^б	0,8 ^а	1,6 ^а	0,7 ^б	1,0 ^а
СО	1,2 ^а	0,6 ^б	1,5 ^а	0,8 ^б	1,0 ^а
СА	0,7	0,5	1,4 ^а	0,5	0,8 ^а
БЈ	0,1	0,3	1,3 ^а	0,2	0,5 ^а
ИС	0,7	0,4	1,0 ^а	0,3	0,6 ^а
ЛИ	0,7	0,8 ^а	1,6 ^а	0,7 ^б	0,9 ^а
БИ	0,4	0,4	1,2 ^а	0,1	0,5 ^а
МО	0,6 ^б	0,8 ^а	1,6 ^а	0,4	0,8 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), БХ – Бихаћ, СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, ЗЕ – Зеница, БУ – Бугојно, СО – Соколац, СА – Сарајево, БЈ – Бјелашница, ИС – Иван седло, ЛИ – Ливно, БИ – Билећа, МО – Мостар

Анализа промјена дистрибуција средњих сезонских и годишњих температура између два наведена периода показује да је на цијелој територији утврђена значајна промјена дистрибуција температуре на годишњем нивоу и у сезони љето, док је промјена у сезони јесен била несигнификантна на цијелом подручју Републике Српске и Босне и Херцеговине (Попов 2020). У сезони зима

дистрибуција температура статистички значајно се промијенила само у Сокоцу, а у сезони прољеће у Бањој Луци, Приједору, Бијељини и Мостару (Таб. 14.4).

Таб. 14.4. Промјена дистрибуција средњих сезонских и годишњих температура ваздуха у Босни и Херцеговини између периода 1961–1990. и 1986–2015. године (Колмогоров-Смирнов тест) (Попов 2020)

Table 14.4. Difference in the distribution of mean seasonal and annual air temperatures in Bosnia and Herzegovina between 1961–1990 and 1986–2015 (Kolmogorov-Smirnov test) (Попов 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,226	0,300	0,700 ^а	0,200	0,500 ^а
ПР	0,297	0,433 ^а	0,633 ^а	0,233	0,567 ^а
БЛ	0,287	0,433 ^а	0,700 ^а	0,333	0,633 ^а
ДБ	0,249	0,300	0,600 ^а	0,200	0,533 ^а
ТЗ	0,149	0,300	0,567 ^а	0,167	0,533 ^а
БН	0,260	0,433 ^а	0,800 ^а	0,233	0,633 ^а
СА	0,253	0,267	0,600 ^а	0,233	0,533 ^а
СО	0,349 ^б	0,267	0,600 ^а	0,300	0,600 ^а
БИ	0,185	0,233	0,500 ^а	0,167	0,500 ^а
МО	0,248	0,367 ^б	0,633 ^а	0,267	0,633 ^а
ТР	0,151	0,300	0,567 ^а	0,133	0,467 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар, ТР – Требиње

Осим средњих температура, на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине у порасту су и екстремне температуре, како максималне тако и минималне (Попов 2017, 2020).

У периоду 1961–2015. године на свим станицама значајан тренд пораста средње максималне температуре ваздуха утврђен је на годишњем нивоу и у свим годишњим сезонама, осим у сезони јесен (и у сезони зима у Билећи) (Таб. 14.5). Највећи пораст температуре присутан је у сезони љето (0,5–0,7 °С по деценији), затим у сезони зима (0,2–0,6 °С по деценији) и прољеће (0,3–0,5 °С по деценији), док је у сезони јесен присутно незнатно и несигнификантно повећање средње максималне температуре ваздуха (0,1–0,3 °С по деценији) (Попов 2020).

Таб. 14.5. Декадни тренд сезонских и годишњих средњих максималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Попов 2020)

Table 14.5. Decadal trend of seasonal and annual mean maximum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Попов 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,5 ^б	0,5 ^а	0,6 ^а	0,1	0,4 ^а
ПР	0,5 ^а	0,5 ^а	0,6 ^а	0,1	0,5 ^а
БЛ	0,6 ^а	0,5 ^а	0,7 ^а	0,3 ^б	0,6 ^а
БН	0,5 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,2	0,4 ^а
СА	0,4 ^б	0,4 ^а	0,7 ^а	0,2	0,4 ^а
БИ	0,2	0,3 ^б	0,5 ^а	0,1	0,3 ^а
МО	0,2 ^б	0,3 ^а	0,6 ^а	0,2	0,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

Таб. 14.6. Декадни тренд сезонских и годишњих средњих минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Попов 2020)

Table 14.6. Decadal trend of seasonal and annual mean minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Попов 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,4 ^а	0,2 ^а	0,4 ^а	0,2	0,3 ^а
ПР	0,3 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2 ^б	0,3 ^а
БЛ	0,5 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,4 ^а	0,5 ^а
БН	0,4 ^а	0,3 ^а	0,4 ^а	0,2	0,3 ^а
СА	0,4 ^а	0,2 ^а	0,4 ^а	0,2 ^б	0,3 ^а
БИ	0,2	0,1 ^б	0,3 ^а	0,0	0,1 ^а
МО	0,2 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2 ^б	0,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

У периоду 1961–2015. године на свим метеоролошким станицама утврђен је статистички значајан тренд пораста средње минималне температуре ваздуха

на годишњем нивоу и у сезонама љето и прољеће, док је у сезони зима пораст значајан на свим станицама осим у Билећи, а у сезони јесен само у Бањој Луци, Приједору, Сарајеву и Мостару (Таб. 14.6). Највећи пораст средње минималне температуре присутан је у сезони љето (0,3–0,6 °C по деценији), затим у сезони зима (0,2–0,5 °C по деценији) и сезони прољеће (0,1–0,4 °C по деценији), док је у јесен присутно незнатно и несигнификантно повећање средње минималне температуре (0,0–0,4 °C по деценији) (Попов 2020).

Тренд пораста апсолутно максималне температуре ваздуха значајан је у готово свим дијеловима Републике Српске и Босне и Херцеговине (слабије изражен једино у вишим предјелима Херцеговине), док је повећање апсолутно минималних температура још несигнификантно у већем дијелу територије (Таб. 14.7, Таб. 14.8. и Таб. 14.9) (Попов 2017, 2020).

Таб. 14.7. Декадни тренд годишњих апсолутно максималних и минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Попов 2020)

Table 14.7. Decadal trend of annual absolute maximum and minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Попов 2020)

МС	СМ	ПР	БЛ	ДБ	ТЗ
Tmax	0,5 ^a	0,6 ^a	0,8 ^a	0,6 ^a	0,7 ^a
Tmin	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3
МС	БН	СА	СО	БИ	МО
Tmax	0,7 ^a	0,8 ^a	0,7 ^a	0,3	0,6 ^a
Tmin	0,5	0,5	0,8 ^b	0,6 ^b	0,4

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^a) и 95 % (^b), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

Апсолутно максимална температура највећи пораст биљежи на простору Бање Луке и Сарајева (0,8 °C по деценији). На осталим станицама забиљежени су позитивни трендови у распону 0,3–0,7 °C по деценији. Да загријавање постаје израженије након 1990. године, потврђују подаци да су на готово свим станицама (Сански Мост, Приједор, Бања Лука, Добој, Тузла, Бијељина, Сарајево, Соколац, Билећа, Мостар...) након наведене године надмашени апсолутни максимуми температуре ваздуха из претходног стандардног климатолошког периода 1961–1990. године. На примјер, на подручју Бање Луке је нова апсолутно максимална вриједност температуре ваздуха постављана чак пет пута након завршетка претходног стандардног климатолошког периода (1961–

1990) (до тада је максимална измјерена температура ваздуха износила 39,7 °С, забиљежена у јулу 1968. године): у августу 1994. (40,4 °С), у августу 2000. (41,2 °С), у јулу 2007. (41,4 °С), у јулу 2013. (41,6 °С) и посљедњи пут у августу 2017. (41,8 °С) (Попов 2020). Рекордно високе температуре ваздуха у већини подручја у Босни и Херцеговини забиљежене су током изузетно јаких топлих таласа у љето 2000, 2003, 2007, 2013. и 2017. године.

Таб. 14.8. Промјена просјечних годишњих апсолутно максималних и минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1986–2015. године у односу на референтни период 1961–1990. године (у °С) (Попов 2020)

Table 14.8. Difference in average annual absolute maximum and minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1986–2015 in relation to the reference period 1961–1990 (in °C) (Попов 2020)

МС	СМ	ПР	БЛ	ДБ	ТЗ
Tmax	1,2 ^а	1,1 ^б	2,0 ^а	1,4 ^б	1,7 ^а
Tmin	0,4	0,5	0,5	0,7	0,2
МС	БН	СА	СО	БИ	МО
Tmax	2,0 ^а	2,0 ^а	1,5 ^а	0,7	1,4 ^а
Tmin	0,4	0,9	2,3 ^б	1,7 ^б	1,0

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

Таб. 14.9. Промјена дистрибуција годишњих апсолутно максималних и минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини између периода 1961–1990. и 1986–2015. године (Колмогоров-Смирнов тест) (Попов 2020)

Table 14.9. Difference in the distribution of annual absolute maximum and minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina between the period 1961–1990 and 1986–2015 (Kolmogorov-Smirnov test) (Попов 2020)

МС	СМ	ПР	БЛ	ДБ	ТЗ
Tmax	0,367 ^б	0,233	0,367 ^б	0,300	0,400 ^б
Tmin	0,167	0,167	0,167	0,133	0,133
МС	БН	СА	СО	БИ	МО
Tmax	0,533 ^а	0,400 ^б	0,300	0,233	0,400 ^б
Tmin	0,100	0,233	0,300	0,333	0,233

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

У складу с осмотреним трендом загријавања, присутан је и пораст апсолутно минималних температура ваздуха, иако тренд њиховог повећања (0,3–0,8 °C по деценији) засада углавном није статистички значајан – значајан пораст утврђен је само у Сокоцу и Билећи (Попов 2020).

Треба истакнути да су годишње и сезонске и апсолутне и средње минималне температуре ваздуха порасле по нешто нижим стопама од апсолутних и средњих максималних температура ваздуха, што се разликује од глобалног тренда утврђеног за читаву планету (Alexander et al. 2006; Zhang et al. 2019; Dunn et al. 2020), али је у складу с трендовима осмотреним у овом дијелу Европе (Burić et al. 2015a; Malinovic-Milicevic et al. 2016; Milošević et al. 2017).

Слични резултати добијени су и анализом индекса екстремних температура које је дефинисао Стручни тим за детекцију климатских промјена и индексе (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, ETCCDI), а који се заснивају на највишој и најнижој температури у години. Сви индекси засновани на апсолутним вриједностима показују позитивне трендове у Републици Српској и Босни и Херцеговини током посљедњих деценија (1961–2015) (Таб. 14.10) (Popov et al. 2018в, 2019в; Попов 2020; Gnjato et al. 2021).

Таб. 14.10. Декадни тренд индекса екстремних температура заснованих на апсолутним вриједностима у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (дани по деценији) (Popov et al. 2018в, 2019в)
Table 14.10. Decadal trend of extreme temperature indices based on absolute values in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (days per decade) (Popov et al. 2018в, 2019в)

МС	ТХх	ТХп	ТNx	ТNп
СМ	0,4 ^б	0,3	0,4 ^а	0,5
БЛ	0,7 ^а	0,3	0,6 ^а	0,5
ДБ	0,6 ^б	0,2	0,4 ^а	0,6
ТЗ	0,7 ^а	0,3	0,4 ^а	0,3
СА	0,8 ^а	0,3	0,5 ^б	0,5 ^г
МО	0,5 ^а	0,3	0,6 ^а	0,4 ^б

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^а) и 99 % (^б), 95 % (^в) и 90 % (^г), ТХх – максимална дневна максимална температура, ТХп – минимална дневна максимална температура, ТNx – максимална дневна минимална температура, ТNп – минимална дневна минимална температуре, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

Индекси максимална вриједност дневних максималних температура (ТХх) и максимална вриједност дневних минималних температура (ТNx) биљеже

статистички значајне трендове у распону 0,4–0,8 °C по деценији и 0,4–0,6 °C по деценији, респективно (Роров et al. 2018в, 2019в). Индекс минималне вриједности дневних максималних температура (ТХп) и индекс минималне вриједности минималних температура (ТНп) такође биљеже позитивне трендове, али још нису статистички значајни – вриједности наведених индекса порасле су по линији тренда 0,2–0,3 °C по деценији и 0,4–0,6 °C по деценији, респективно (Роров et al. 2018в, 2019в).

Такође, на цијелом подручју Републике Српске, односно Босне и Херцеговине учесталост појаве топлих дана и топлих ноћи повећава се по статистички значајним вриједностима трендова, док се фреквенција појаве хладних дана и хладних ноћи значајно смањује (Роров et al. 2018в, 2019в; Попов 2020). Фреквенција топлих дана порасла је за 8,6–11,8 дана по деценији, а топлих ноћи за 8,2–13,8 дана по деценији, много више него што смањена учесталост појаве хладних дана и хладних ноћи (3,1–4,5 дана по деценији и 4,0–6,0 дана по деценији, респективно) (Таб. 14.11).

Таб. 14.11. Декадни тренд годишње учесталости топлих и хладних дана и ноћи у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (дани по деценији) (Попов 2020)

Table 14.11. Decadal trend of the annual number of warm and cold days and nights in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (days per decade) (Попов 2020)

МС	ТХ10р	ТХ90р	ТН10р	ТН90р
СМ	-3,3 ^а	8,6 ^а	-4,9 ^а	8,6 ^а
БЛ	-4,5 ^а	11,8 ^а	-6,0 ^а	13,8 ^а
ДБ	-4,4 ^а	8,8 ^а	-4,1 ^а	8,6 ^а
ТЗ	-4,3 ^а	11,2 ^а	-4,0 ^а	8,3 ^а
СА	-3,1 ^а	9,6 ^а	-4,4 ^а	8,2 ^а
МО	-3,3 ^а	9,5 ^а	-4,2 ^а	9,8 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), ТХ10р – хладни дани, ТХ90р – топли дани, ТН10р – хладне ноћи, ТН90р – топле ноћи, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

У складу са трендом загријавања на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине, смањује се учесталост појаве ледених дана (у интервалу од 0,8 до 2,7 дана по деценији) и мразних дана (у интервалу од 2,2 до 6,3 дана по деценији) (Роров et al. 2018а) (Таб. 14.12). У складу са загријавањем су и утврђени трендови повећања учесталости појаве љетњих дана (у распону 3,0–8,2 дана по деценији) и тропских дана (у распону 1,2–8,1 дана по деценији).

Јасно је уочљиво да су позитивни трендови љетњих и тропских дана знатно израженији од негативних трендова ледених и мразних дана. Смањену фреквенцију појаве ледених и мразних дана, а повећану фреквенцију љетњих и тропских дана, усљед израженијег загријавања од 1990-их, а нарочито од почетка XXI вијека, илуструје анализа одступања од просјека референтног периода 1961–1990. године (Роров et al. 2018а). Перцентилна анализа годишњег броја мразних дана указује на то да је тренд смањења постао израженији од 1990-их година, а посебно од почетка XXI вијека. На примјер, у том периоду према годишњем броју мразних дана просјечно свака трећа година била је у категорији < 25. перцентила (7–13 година), док је просјечно свака пета година била чак у категорији < 10. перцентила; с друге стране, само 1–3 године биле су у категорији > 90. перцентила (само у Бијељини 5 година), док на подручју Бање Луке и Бјелашнице није регистрована ниједна година са фреквенцијом мразних дана у наведеној категорији (Роров et al. 2017б).

Таб. 14.12. Декадни тренд индекса екстремних температура заснованих на фиксним вриједностима прагова у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2016. године (дани по деценији) (Роров et al. 2018а)

Table 14.12. Decadal trend of extreme temperature indices based on fixed threshold in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2016 (days per decade) (Роров et al. 2018а)

МС	ИД0	ФД0	SU25	TR30	TR20
СМ	-1,8 ^а	-3,3 ^б	5,3 ^а	4,3 ^а	
БЛ	-2,4 ^а	-6,3 ^а	7,4 ^а	6,2 ^а	
ДБ	-1,8 ^б	-2,4 ^б	4,2 ^б	4,2 ^б	
ТЗ	-2,2 ^б	-3,0 ^б	5,6 ^а	4,8 ^а	
БН	-0,8	-3,1 ^г	3,8 ^б	5,2 ^а	
БУ	-2,5 ^а	-5,1 ^а	6,1 ^а	5,2 ^а	
ЗН	-2,7 ^а	-4,4 ^а	8,2 ^а	8,1 ^а	
СА	-2,3 ^б	-3,0 ^б	6,0 ^а	5,9 ^а	
БЈ	0,0	-4,1 ^а			
ИС	-2,2 ^б	-3,3 ^б	6,5 ^а	1,2 ^а	
ЛИ	-1,5 ^б	-3,0 ^б	7,2 ^а	6,1 ^а	
МО		-2,2 ^б	3,0 ^б	4,4 ^а	6,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^а), 99 % (^б), 95 % (^в) и 90 % (^г), ИД0 – ледени дани, ФД0 – мразни дани, SU25 – љетни дани, TR30 – тропски дани, TR20 – тропске ноћи, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, БУ – Бугојно, ЗН – Зеница, СА – Сарајево, БЈ – Бјелашница, ИС – Иван седло, ЛИ – Ливно, МО – Мостар

Иако се тропске ноћи ријетко јављају у већини подручја Босне и Херцеговине (обично се годишње забиљеже свега 1–2 таква дана, а у вишим планинским предјелима њихова појава до сада није забиљежена), па се не може говорити о постојању израженог тренда у њиховој временској серији, уочљива је повећана учесталост појаве широм Босне и Херцеговине, нарочито од почетка XXI вијека. Неке од највећих фреквенција појаве тропских ноћи забиљежене су у годинама са интензивним и дуготрајним топлим таласима –2007, 2010. и 2012. године (Роров et al. 2018a). Тропске ноћи биљеже статистички значајне позитивне трендове у нижим предјелима Херцеговине, гдје је њихова појава релативно честа у најтоплијем дијелу године. На примјер, у Мостару је у периоду 1961–2016. године утврђен статистички значајан позитиван тренд од 6,3 дана по деценији (Роров et al. 2017a).

Посљедњих деценија вишеструко је повећана дужина трајања топлих таласа. Индекс дужине трајања топлих таласа WSDI, који представља годишњи број дана у периодима од најмање 6 узастопних дана са максималном дневном температуром > 90. перцентила, биљежи статистички значајне трендове на цијелој територији Босне и Херцеговине, у распону од 3,3 дана по деценији до 5,0 дана по деценији (Таб. 14.13). Пораст је нарочито изражен након 1990. године – од тада је годишњи WSDI повећан чак 4–7 пута у односу на референтни период 1961–1990. године (Попов 2020).

Таб. 14.13. Декадни тренд дужине трајања топлих и хладних таласа у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (дани по деценији) (Попов 2020)

Table 14.13. Decadal trend in warm and cold spell duration index in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (days per decade) (Попов 2020)

МС	СМ	БЛ	ДБ	ТЗ	СА	МО
WSDI	3,3 ^а	5,0 ^а	5,3 ^а	5,0 ^а	4,4 ^а	5,0 ^а
CSDI	-0,8 ^б	-0,9 ^б	-0,7	-0,6	-0,3	-0,8

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), WSDI – трајање топлих таласа, CSDI – трајање хладних таласа, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

Да тенденција загријавања у Републици Српској и Босни и Херцеговини постаје све израженија од 1990-их година, а нарочито од почетка XXI вијека, показују и промјене функција густине вјероватноће (*Probability Density Function, PDF*) средњих годишњих и сезонских температура ваздуха у периоду 1991–2016. године у односу на референтни период 1961–1990. године (Роров et al. 2019b). Дистрибуције годишњих и сезонских средњих температура помјерене су ка вишим вриједностима (тј. ка топлијим условима) у другом периоду.

Резултати Колмогоров–Смирнов теста такође потврђују значајне промјене дистрибуције између два наведена периода у свим годишњим добима, осим у зимском периоду. Промјене су посебно биле изражене у горњем репу дистрибуције (најизраженије за годишње и љетње температуре).

Промјене функција густине вјероватноће екстремних, максималних и минималних температура између периода 1961–1990. и 1991–2016. године такође су се десиле у правцу помјерања дистрибуција ка вишим температурама у другом периоду (Pорov et al. 2019a). Према очекивању, резултати Колмогоров–Смирновог теста потврдили су да су сви топли индекси екстремних температура значајно помјерили своје дистрибуције ка вишим вриједностима (осим индекса минимална дневна максимална температура и минимална дневна минимална температура), док је значајан помак ка нижим вриједностима детектован за већину хладних индекса екстремних температура (помјерање дистрибуције ледених дана било је значајно само на нивоу од 90%, а код дужине трајања хладних таласа CSDI незнатно због његове веома ријетке појаве) (Pорov et al. 2019a). Промјене су посебно биле изражене у горњем репу дистрибуција топлих индекса TXx, TNx, TN90p, TX90p, SU25, SU30 и WSDI (Pорov et al. 2019a).

Анализе функција густине вјероватноће индекса екстремних температура за Перипанонски регион (Pорov et al. 2019в), Мостар (Pорov et al. 2018г) и Сарајево (Gњато et al. 2021) потврђују резултате добијене на нивоу Босне и Херцеговине. Оне су такође показале да су топли индекси екстремних температура (топли дани, топле ноћи, максимална дневна максимална температура, максимална дневна минимална температура, тропски дани, тропске ноћи, дужина трајања топлих таласа WSDI) помјерили своје дистрибуције према вишим вриједностима индекса, док су хладни индекси екстремних температура (хладни дани, хладне ноћи, ледени дани, мразни дани и дужина трајања хладних таласа) помјерили своје дистрибуције ка нижим вриједностима индекса у периоду 1991–2016. у односу на период 1961–1990. године (Pорov et al. 2018г, 2019в; Gњато et al. 2021). Колмогоров–Смирнов тест потврдио је да су многе промјене у дистрибуцији статистички значајне. У Мостару су незнатне и несигнификантне промјене утврђене само за TXn и TNn и за хладне индексе ледени дани, мразни дани и дужина трајања хладних таласа CSDI због њихове веома ријетке појаве (Pорov et al. 2018г). У Сарајеву несигнификантне промјене кумулативне дистрибуције температурних индекса у периоду 1991–2016. године у односу на референтни период 1961–1990. године утврђене су за индексе: ледени дани, мразни дани, дужина трајања хладних таласа, TNn, TXn и тропске ноћи (Gњато et al. 2021). У Перипанонском региону незнатне и несигнификантне промјене утврђене су само за TXn и TNn (и тропске ноћи и дужину трајања хладних таласа због њихове веома ријетке појаве на овом

подручју) (Pоров et al. 2019в). Промјене су посебно биле изражене такође у горњем репу дистрибуције топлих индекса екстремних температура.

Анализа параметара генерализоване дистрибуције екстремних вриједности (*Generalized Extreme Value*, GEV) показала је повећање вриједности параметра локације и за максималну и за минималну температуру у периоду 1991–2016. године у поређењу са референтним периодом (1961–1990), што потврђује тренд пораста загријавања од 1990-их година (Pоров et al. 2018г; Gnjato et al. 2021). Ниже вриједности параметара скале сугеришу више концентрисане варијабилности дистрибуције у другом периоду. Штавише, двогодишњи и двадесетогодишњи догађаји и максималне и минималне температуре постали су чешћи од 1990-их. Наведено повећање вриједности повратног периода било је посебно изражено за максималне температуре.

Да тренд загријавања постаје израженији од 1990-их година, илуструју и анализа распореда средњих и екстремних температура према перцентилима и анализа одступања од просјека у претходном стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године (Граф. 14.1, Граф. 14.2. и Граф. 14.3). Од 1990. године само су се једна или двије године на одређеним станицама нашле у категорији < 25. перцентила (обично 1991, 1995, 1996, 2005. или 2006. година), на неким станицама ниједна (на примјер, Соколац) (Попов 2020).

Анализа распореда средњих температура ваздуха у источној Херцеговини према перцентилима показује да је након 1990. године годишња средња температура само током 2–4 године била у категорији < 25. перцентила (углавном 1995, 1996, 2005. или 2006. године) (Pоров et al. 2021). Годишње средње максималне и средње минималне температуре су се током само 3 године налазиле у категорији < 25. перцентила (максимална углавном 1995, 1996 и 2005. године, а минимална углавном 1991, 1993, 1995, 2005 или 2006. године). Насупрот томе, просјечно свака друга година била је у категорији > 75. перцентила (од 11 година у Билећи до 15 година у Требињу). Само 1–2 године према средњој максималној температури (према средњој минималној температури ниједна) из периода 1961–1990. године биле су у овој категорији (1961. година и у нижим подручјима 1990. година).

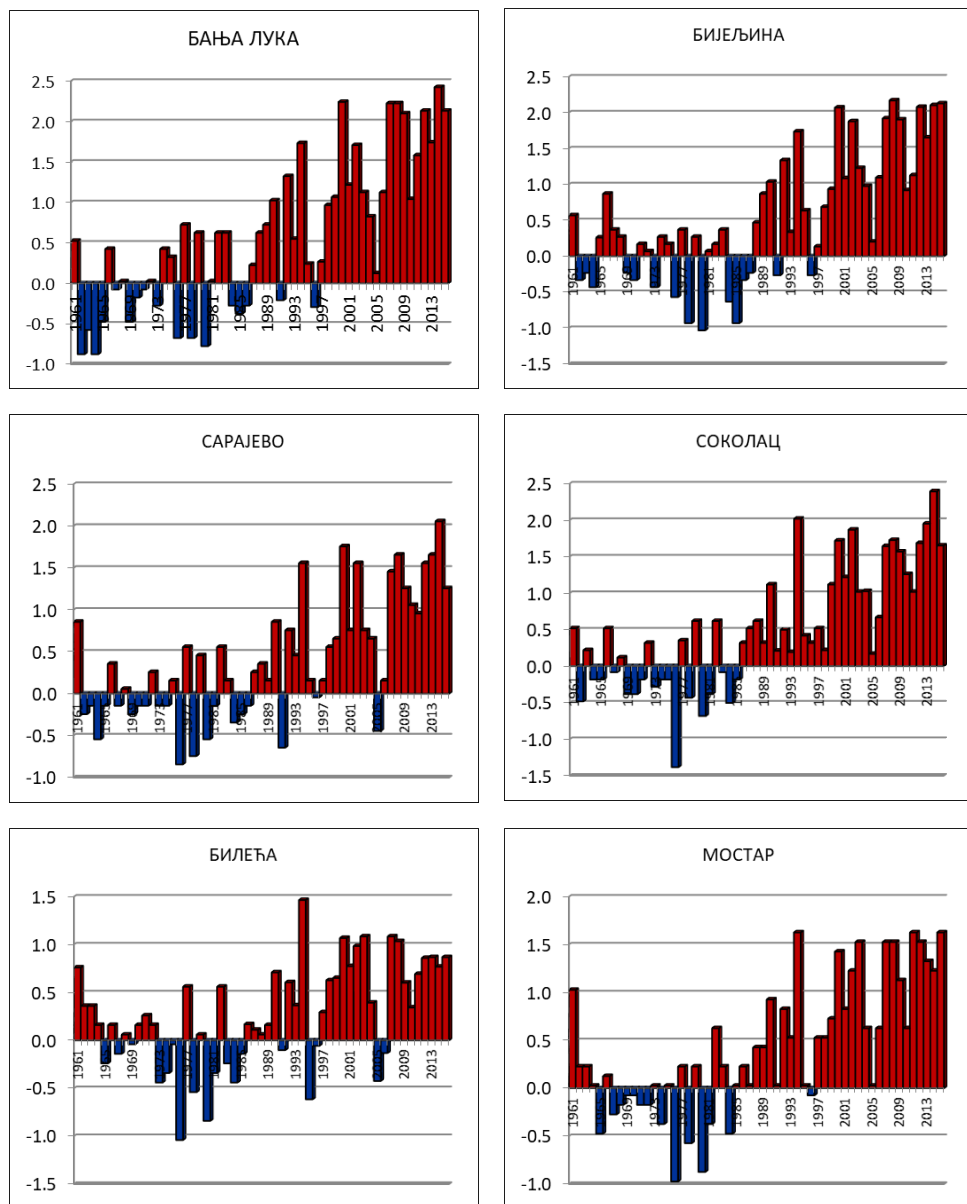
Од укупног броја екстремно хладних мјесеци (дефинисаних као мјесеци са вриједношћу испод дугорочног 10. перцентила) који су у периоду 1991–2016. године забиљежени на подручју источне Херцеговине, 72–82% забиљежено је у периоду 1961–1990. године, док је 60–74% екстремно топлих мјесеци (дефинисаних као мјесеци са вриједношћу изнад дугорочног 90. перцентила) забиљежено након 1990. (Pоров et al. 2019г). Највећи пораст учесталости појаве екстремно топлих мјесеци, као и највећи пад учесталости појаве екстремно хладних мјесеци догодио се у сезони љето. Број екстремно топлих

мјесеци љети повећан је 4–16 пута у односу на учесталост у референтном периоду. Готово сви екстремно топли мјесеци у овом дијелу године забиљежени су након 1990. године (до тада само 1–3 екстремно топла мјесеца, а након тога 15–17 мјесеци).

Анализа одступања годишњих средњих, средњих максималних и средњих минималних температура у источној Херцеговини од просјечне температуре у референтном периоду 1961–1990. године такође потврђује да загријавање постаје интензивније од 1990-их година (Роров et al. 2021). Компаративна анализа просјечних температура у периоду 1961–1990. и 1991–2016. године показала је да највећи пораст сезонских средњих, средњих максималних и средњих минималних температура ваздуха на подручју источне Херцеговине присутан у најтоплијем дијелу године, у сезони љето (1,1–1,9 °C, 1,6–2,1 °C и 1,3–2,1 °C, респективно), а затим у сезони прољеће (0,5–0,9 °C, 0,8–1,1 °C и 0,6–1,2 °C, респективно) и зима (0,2–0,7 °C, 0,4–0,8 °C и 0,6–0,8 °C, респективно) (Роров et al. 2021).

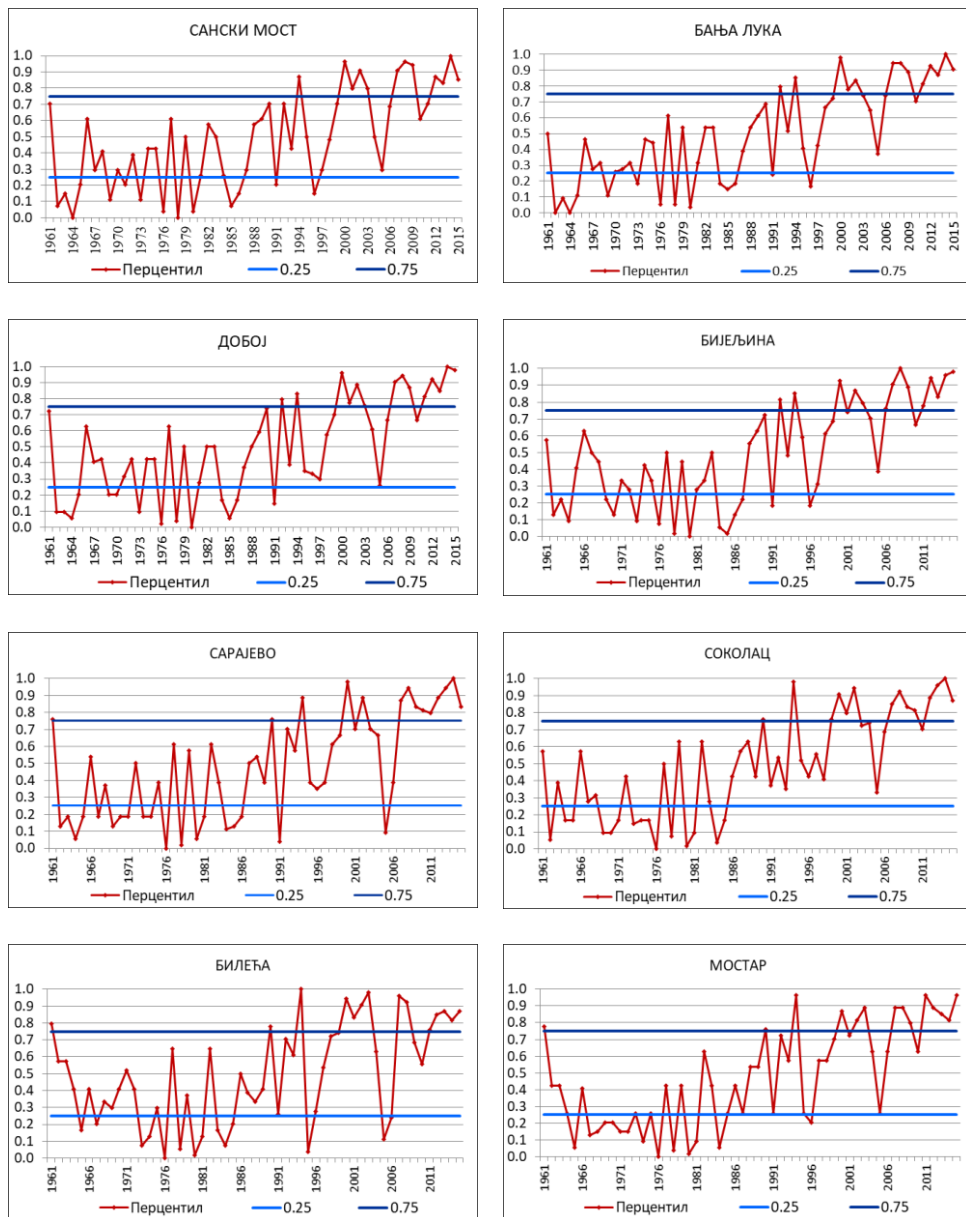
Анализа одступања годишњих вриједности индекса екстремних температура у Мостару од просјека претходног стандардног климатолошког периода 1961–1990. године (који је обично узиман као референтни период) такође потврђује да је тренд загријавања постао израженији од почетка XXI вијека – ни у једној години нису забиљежене вриједности топлих индекса екстремних температура TX90p, TN90p, SU25 и WSDI ниже од просјека референтног периода, док су вриједности индекса TXx, TNx и TR20 током само једне године биле испод просјека, и то током 2014. године, која је била једна од најтоплијих година и година са највишом годишњом минималном температуром, али није било појаве јаких топлих таласа са екстремно високим температурним аномалијама (Роров et al. 2017a). Учесталост појаве хладних индекса екстремних температура, као што су TN10p, TN90p и FD0, углавном је била испотпросјечна, што такође указује на повећано загријавање.

Од почетка XXI вијека у Сарајеву није регистрована ниједна појава топлих индекса екстремних температура TXx, SU25, TR30 и WSDI испод просјека стандардног климатолошког периода 1961–1990. године, док су TX90p и TN90p забиљежили само једну годину са испотпросјечним вриједностима (2005. година); с друге стране, вриједности хладних индекса екстремних температура углавном су биле испод просјека (Гнјато et al. 2021). Просјечна годишња вриједност TR30 се утростручила, а TX90p и TN90p удвостручила у посљедњој деценији у поређењу са просјецима референтног периода 1961–1990. године, док се годишњи број WSDI повећао 9 пута.



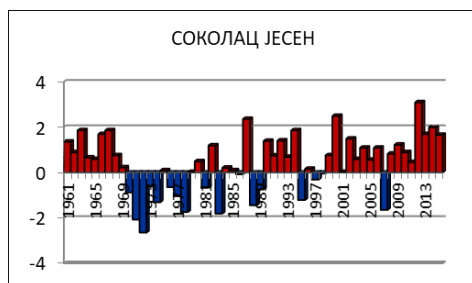
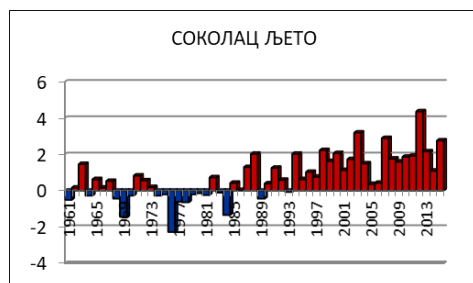
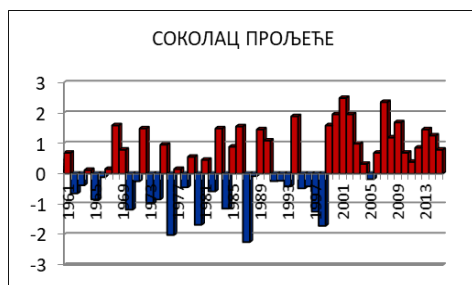
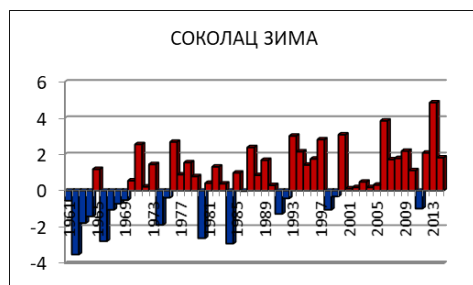
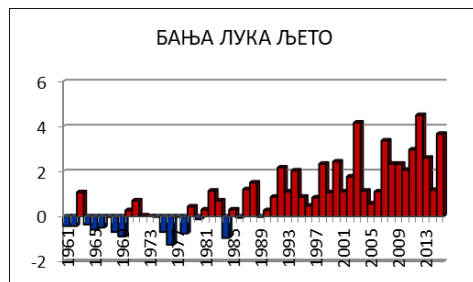
Граф. 14.1. Одступање средње годишње температуре ваздуха у Босни и Херцеговини од просјечне температуре у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)

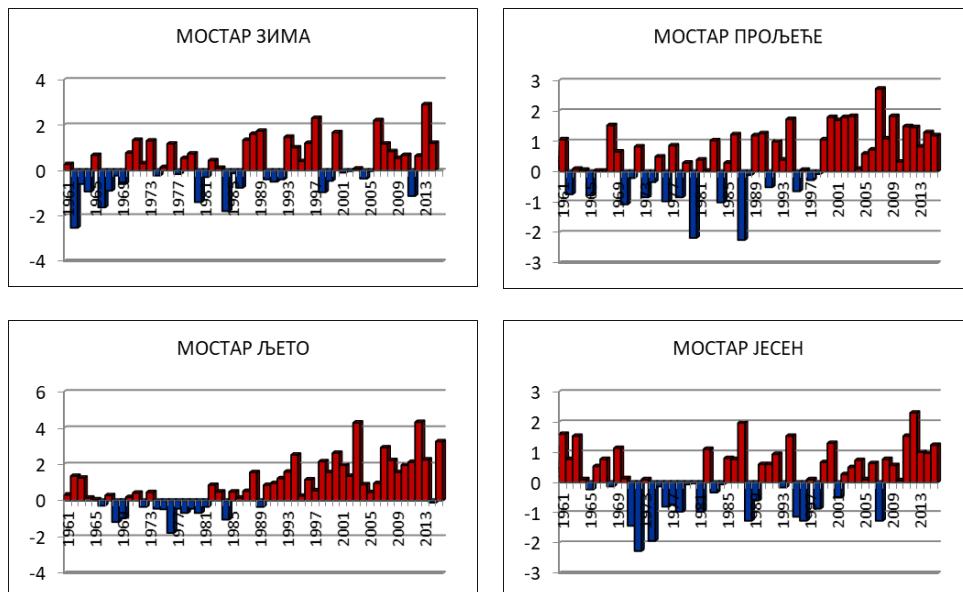
Graph.14.1. Deviation of average annual air temperature in Bosnia and Herzegovina from the standard climatological period 1961–1990 averages in the period 1961–2015 (Попов 2017)



Граф. 14.2. Ранг средње годишње температуре ваздуха у Босни и Херцеговини према перцентилима у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)

Graph.14.2. Percentile rank of average annual air temperature in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (Попов 2017)





Граф. 14.3. Одступање средњих сезонских температура ваздуха у Босни и Херцеговини од просјечне температуре у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)

Graph. 14.3. Deviation of mean seasonal air temperatures in Bosnia and Herzegovina from the standard climatological period 1961–1990 averages in the period 1961–2015 (Попов 2017)

14.3. Промјене падавина

За разлику од конзистентног тренда раста средњих и екстремних температура, присутног на цијелом подручју Републике Српске и Босне и Херцеговине, трендови промјене суме падавина, средњих и екстремних, нису просторно ни сезонски конзистентни (Дуцић и сар. 2008; Trbić et al. 2012; Ducić et al. 2014; Роров et al. 2017в, 2018б, 2018д, 2019б, 2019д, 2019ђ; Djurdjevic et al. 2019; Попов 2020). За период од 1961. године утврђени су и позитивни и негативни трендови мјесечних, сезонских и годишњих падавина, али су преовлађујући били трендови слабог интензитета који су статистички несигнификантни (Роров et al. 2019б; Попов 2020).

Годишње падавине порасле су у периоду 1961–2017. у већини подручја у перипанонском ободу (од 5,3 мм по деценији у Санском Мосту до 20,5 мм по деценији у Добоју), осим у Бањој Луци, гдје су смањене за 4,4 мм по деценији

(Popov et al. 2019b) (Таб. 14.14). Годишње падавине порасле су и у планинским подручјима – статистички значајно на Бјелашници (78,2 мм по деценији) и у Сокоцу (37,5 мм по деценији). За разлику од већине подручја у сјеверном и централном планинском подручју Босне и Херцеговине, годишње падавине смањене су у субмедитеранском подручју на југу, у региону Херцеговине (Мостар 43,4 мм по деценији, Билећа 16,1 мм по деценији) (Popov et al. 2019b; Попов 2020). Анализа података са падавинских станица у источној Херцеговини потврђује наведени негативни тренд падавина на овом подручју – на већини станица несигнификантан, али је статистички значајан негативни тренд утврђен на падавинској станици Тули (78,9 мм по деценији) (Popov et al. 2019f).

Иако су промјене годишњих падавина још слабог интензитета и углавном несигнификантне, нешто веће промјене утврђене су у расподјели падавина током године (Таб. 14.14). Дакле, иако се укупна сума падавина није знатно промијенила, поремећен је плувиометријски режим, односно расподјела падавина по сезонама. Наведено се прије свега огледа у негативном тренду падавина у сезони љето и позитивном тренду у сезони јесен који су присутни широм Републике Српске и Босне и Херцеговине.

Таб. 14.14. Декадни тренд средњих сезонских и годишњих падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (мм по деценији) (Попов 2020)

Table 14.14. Decadal trend of average seasonal and annual precipitation in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (mm per decade) (Popov 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	4,9	0,9	-16,3	12,5	2,5
БЛ	1,9	0,0	-15,6	9,4	-9,8
ДБ	0,4	7,5	-4,5	10,0	19,7
БН	-0,2	7,4	-6,3	5,7	7,3
СА	-3,1	3,3	-4,9	3,5	-0,7
СО	8,1	10,1 ^а	4,0	10,9	35,3 ^б
БИ	1,1	-5,3	-16,4 ^а	12,2	-20,0
МО	-12,8	-12,0	-8,5	2,0	-42,5

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

У сезони љето падавине су смањене у готово свим подручјима у распону од 4,5 мм по деценији до 16,4 мм по деценији, осим у вишим предјелима (на

примјер, Соколац и Бјелашница) (Popov et al. 20196). У сезони јесен на цијелој територији забиљежен је пораст падавина у распону од 2,0 мм по деценији у Мостару до 12,5 мм по деценији у Санском Мосту (Popov et al. 20196; Попов 2020). У сезонама зима и прољеће преовладавају позитивни трендови, иако су у одређеним подручјима присутни и трендови смањења падавина (Popov et al. 20196; Попов 2020). Трендови промјене мјесечних падавина у Републици Српској и Босни и Херцеговини приказани су у Таб. 14.15. (Popov et al. 20196).

Таб. 14.15. Декадни тренд мјесечних падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2017. године (мм по деценији) (Popov et al. 20196)
 Table 14.15. Decadal trend of monthly precipitation in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2017 (mm per decade) (Popov et al. 20196)

МС	I	II	III	IV	V	VI
СМ	0,0	6,4 ^Б	-0,4	2,1	1,9	-3,7
БЛ	2,7	3,0	2,6	-1,5	1,8	-3,6
ДБ	2,6	3,3	2,7	0,5	7,2 ^Б	-5,0 ^Г
БН	2,3	1,5	3,1	2,6	5,1 ^Г	-3,7
БУ	1,3	0,5	0,2	3,8	1,9	1,7
СА	1,2	0,1	1,4	1,0	1,9	0,0
СО	3,2	2,3	1,7	4,1 ^Г	4,6	4,3
БЈ	10,4 ^Б	11,4 ^Б	8,5 ^Б	10,0 ^Б	3,5	2,3
БИ	0,2	5,9	-2,2	-4,0	1,9	-4,2
МО	-2,0	-3,6	-4,1	-2,6	-0,8	-4,4
МС	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СМ	-5,8 ^Г	-5,9	8,0 ^Б	7,5 ^Г	-2,9	0,5
БЛ	-5,0	-8,2 ^Г	5,4	5,6	-2,8	-1,2
ДБ	0,1	-3,5	3,0	7,3 ^Б	-1,7	-2,6
БН	-1,2	-0,2	0,6	6,8 ^Б	-2,4	-3,4
БУ	1,8	-0,6	7,1 ^Б	2,1	-4,2	-5,2
СА	-3,2	-2,0	4,2	5,3	-2,8	-3,3
СО	0,5	-0,3	6,1 ^Г	6,2 ^Г	-1,4	0,1
БЈ	1,4	-5,1	9,1 ^Г	9,6	7,9	8,1 ^Г
БИ	-2,2	-6,9 ^Б	3,1	8,2	1,0	-1,8
МО	0,5	-7,3 ^Г	12,4 ^Г	3,9	-10,1	-9,3

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^А), 99 % (^Б), 95 % (^В) и 90 % (^Г), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, БН – Бијељина, БУ – Бугојно, СА – Сарајево, СО – Соколац, БЈ – Бјелашница, БИ – Билећа, МО – Мостар

Кумулативна дистрибуција годишњих падавина у сјеверном дијелу територије Републике Српске и Босне и Херцеговине и у Сокоцу помјерена је према већим сумама падавина, а у региону Херцеговине према мањим у периоду 1986–2015. године у односу на референтни период 1961–1990. године (Попов 2020). Ипак, Колмогоров-Смирнов тест показао је да промјене дистрибуције још нису значајне ни у једном дијелу Босне и Херцеговине (Таб. 14.16).

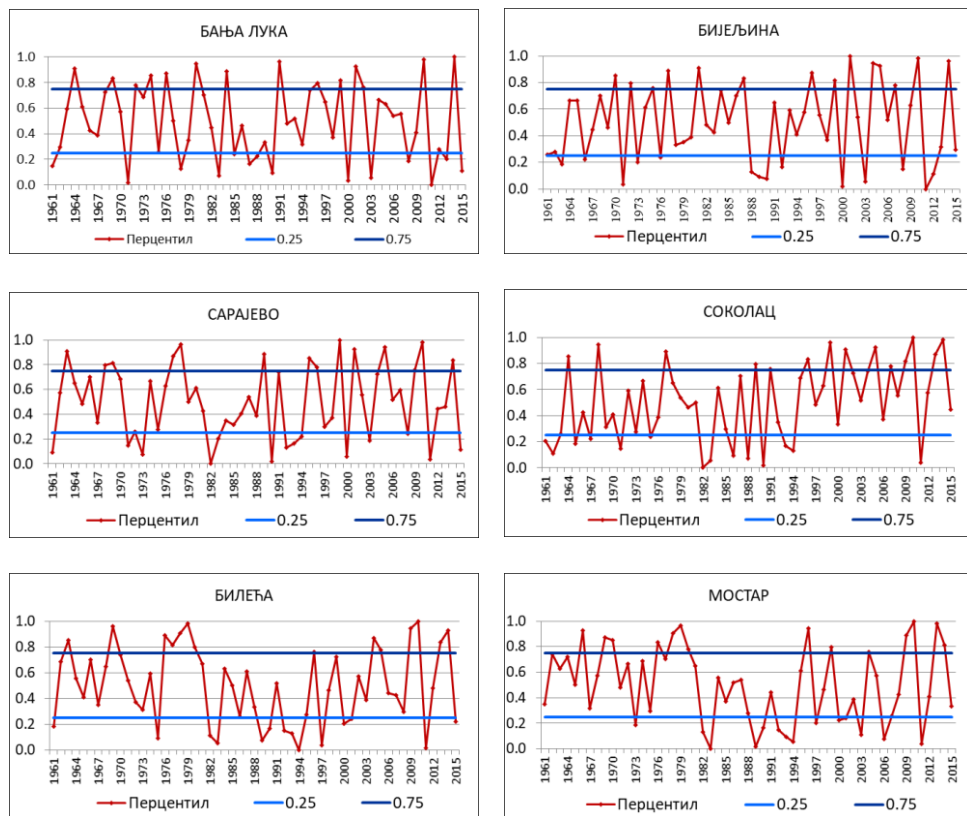
Таб. 14.16. Промјена дистрибуција средњих сезонских и годишњих падавина у Босни и Херцеговини између периода 1961–1990. и 1986–2015. године (Колмогоров-Смирнов тест) (Попов 2020)
Table 14.16. Difference in the distribution of average seasonal and annual precipitation in Bosnia and Herzegovina between 1961–1990 and 1986–2015 (Kolmogorov-Smirnov test) (Popov 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,190	0,167	0,300	0,333	0,133
ПР	0,117	0,167	0,233	0,333	0,133
БЛ	0,063	0,133	0,200	0,333	0,100
ДБ	0,210	0,167	0,200	0,400	0,267
ТЗ	0,130	0,200	0,200	0,300	0,167
БН	0,157	0,167	0,167	0,300	0,167
СА	0,123	0,200	0,200	0,200	0,167
СО	0,182	0,300	0,200	0,233	0,333
БИ	0,124	0,267	0,233	0,167	0,233
МО	0,200	0,300	0,300	0,100	0,300
ТР	0,115	0,233	0,200	0,100	0,200

Напомена: Промјене нису статистички значајне, СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар, ТР – Требиње

У Босни и Херцеговини повећана је међугодишња варијабилност падавина. Примјетна је све чешћа појава година са екстремно високим или ниским падавинама. Треба напоменути и да је све чешћа појава да након веома влажне године са великим поплавама наступи изразито сува година са појавом јаке суше (или обрнуто) – на примјер, након веома сушних 1990, 2000. и 2013. године наступиле су веома влажне 1991, 2001. и 2014. година, а након веома влажне и са великим поплавама 2010. године, дошла је екстремно сушна 2011. година, која је у већини подручја једна од најсушнијих година од 1961. године (Попов 2020).

На повећану учесталост година са екстремним падавинама указује и распоред средњих годишњих падавина према перцентилима (Граф. 14.4).



Граф. 14.4. Ранг средњих годишњих падавина у Босни и Херцеговини према перцентилима у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)
 Graph.14.4. Percentile rank of mean annual precipitation in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (Попов 2017)

Позитивни трендови индекса интензивних падавина, као што су: највећа једнодневна количина падавина, највећа петодневна количина падавина, сума падавина на веома влажне дане, сума падавина на изузетно влажне дане, број дана са падавинама већим од 10 мм, стандардни дневни интензитет падавина и др., забиљежени на појединим станицама у Републици Српској и Босни и Херцеговини, сугеришу промјене ка све интензивнијим падавинама, које, међутим, још углавном нису статистички значајне (Таб. 14.17. и Таб. 14.18) (Popov et al. 2017в, 2018д, 2018б, 2019ђ; Попов 2020; Gnjato et al. 2021). Слични резултати добијени су и истраживањима у региону (Unkašević and Tošić 2011; Burić et al. 2015б; Gajić-Čarka et al. 2015; Ćulafić et al. 2020).

Таб. 14.17. Декадни тренд индекса максималне једнодневне и петодневне суме падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (мм по деценији) (Попов 2020)

Table 14.17. Decadal trend of highest 1-day and 5-day sum of precipitation indices in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (mm per decade) (Попов 2020)

МС	СМ	БЛ	ДБ	СА	СО	БИ	МО
RX1day	-0,4	0,0	1,9	0,7	0,8	1,9	1,9
RX5day	1,8	1,3	5,0 ^б	0,6	-1,0	1,8	1,3

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), RX1day – највећа једнодневна сума падавина, RX5day – највећа петодневна сума падавина, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

Таб. 14.18. Декадни тренд индекса екстремних падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (Popov et al. 2017в; Попов 2020)

Table 14.18. Decadal trend of the extreme precipitation indices in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (Popov et al. 2017в; Попов 2020)

МС	СМ	БЛ	ДБ	СА	МО
R01mm	-2,3	-2,0	0,6	0,0	-3,3 ^б
R1mm	-1,6	-4,3 ^а	-0,8	-1,1	-3,2 ^б
R10mm	0,0	-1,4 ^б	0,5	0,0	-1,3
R95p	6,4	0,6	17,9	-1,0	-5,8
R99p	0,0	0,9	6,5	0,0	2,4
SDII	0,14	0,03	0,21	0,07	0,04
CDD	0,5	1,1 ^б	0,3	0,0	0,0
CWD	7,0	6,8	6,4	7,0	8,5

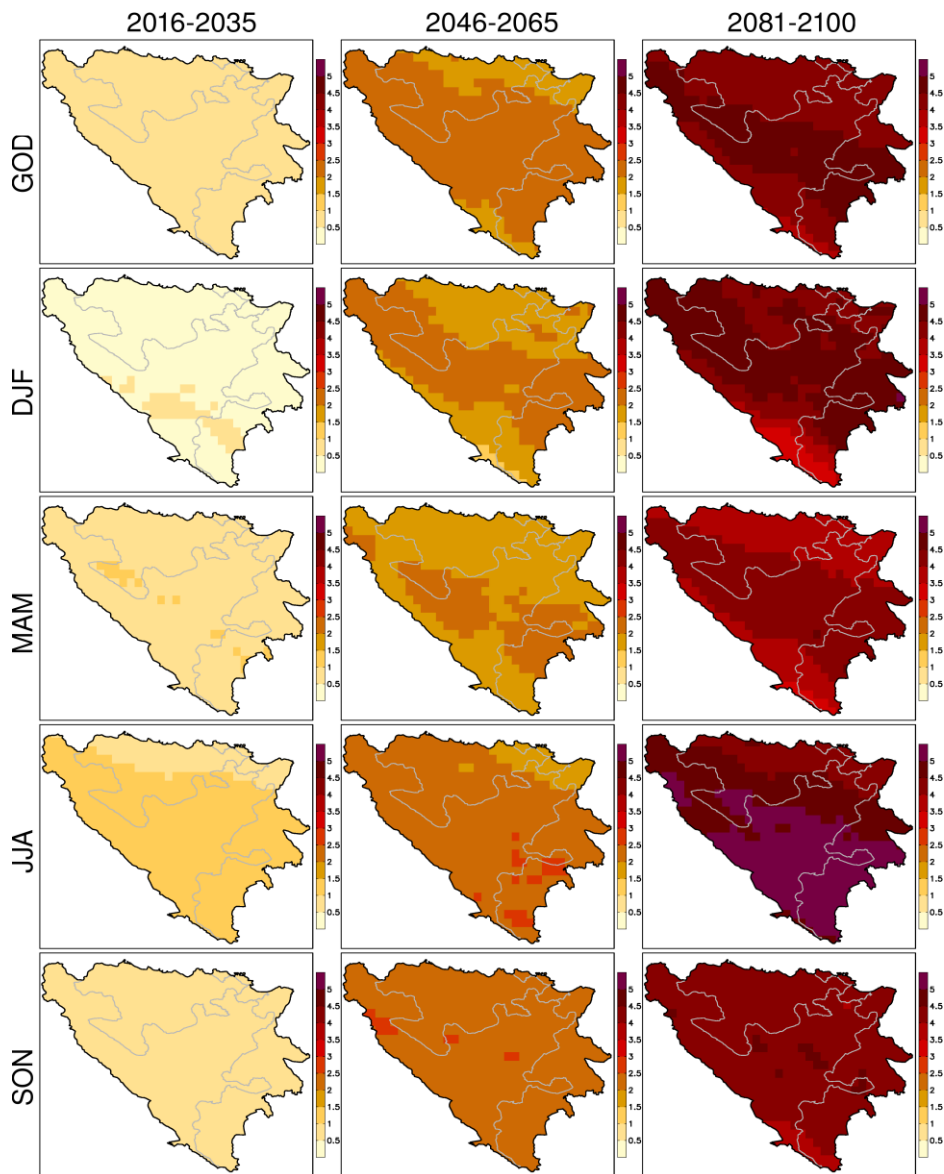
Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), R01mm – број дана са падавинама $\geq 0,1$ мм (дани по деценији), R1mm – број дана са падавинама $\geq 1,0$ мм (дани по деценији), R10mm – број дана са падавинама $\geq 10,0$ мм (дани по деценији), R95p – сума падавина на веома влажне дане (мм по деценији), R99p – сума падавина на екстремно влажне дане (мм по деценији), SDII – једноставан индекс дневног интензитета падавина (мм дан⁻¹ по деценији), CDD – трајање метеоролошке суше (дани по деценији), CWD – трајање кишног периода (дани по деценији), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, СА – Сарајево, МО – Мостар

14.4. Промјене температуре ваздуха до краја XXI вијека према климатском сценарију RCP8.5

На Сл. 14.1. приказане су очекиване промјене средње дневне температуре ваздуха према сценарију RCP8.5, за три будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100. године, у односу на референтни период 1986–2005. године. Анализе су вршене на годишњем нивоу (GOD) и за четири годишње сезоне – зима (децембар–јануар–фебруар, DJF), прољеће (март–април–мај, MAM), лето (јун–јул–август, JJA) и јесен (септембар–октобар–новембар, SON). Према приказаним резултатима за климатски сценарио RCP8.5 очекиване промјене за први период (2016–2035) крећу се у интервалу од 0,5 °C до 1,5 °C. Најмања промјена се може очекивати за сезону DJF, док су промјене за остале сезоне и за годишње средње вриједности приближно сличне. За други анализирани период (средина вијека, 2036–2065), промјене се крећу у интервалу од 1,5 °C до 3 °C. За посљедњи период (2081–2100), очекивани пораст температуре је у интервалу од 2,5 °C до 5 °C, за све сезоне међу којима се посебно истиче пораст температуре за сезону JJA, када је пораст температуре у већем дијелу Босне и Херцеговине већи од 5 °C. Осим тога, на неким картама запажа се да су промјене температуре веће у планинским областима, што је јасно уочљиво у случају промјена за посљедњи анализирани период 2081–2100. године. Сезона коју карактерише најмање одступање је MAM сезона.

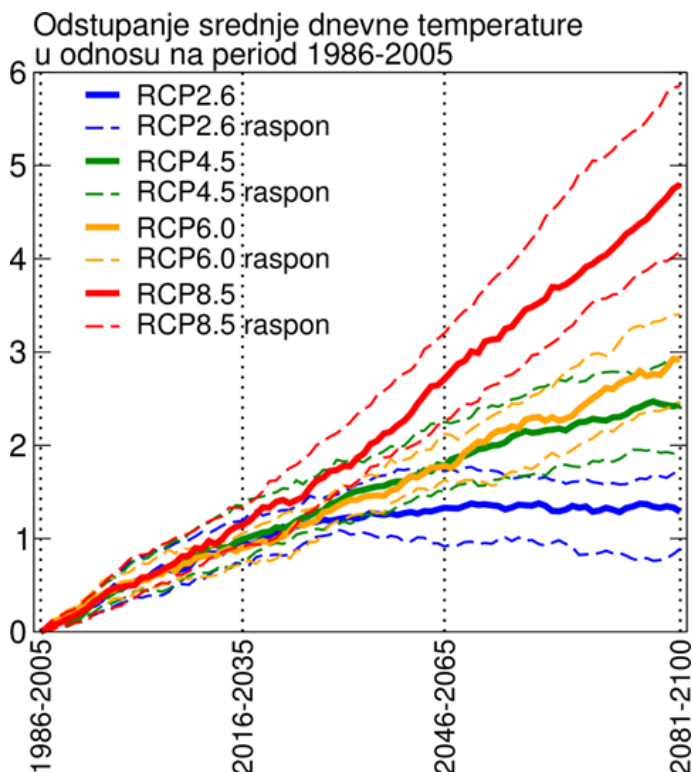
На Граф. 14.1. приказане су пројекције одступања просјечних годишњих вриједности средње дневне температуре за узастопне двадесетогодишње периоде, почевши од двадесетогодишњег периода 1986–2005. до периода 2081–2100. Референтни (базни) период и у овом случају је био период 1986–2005. Приказани су резултати за четири различита сценарија, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5, и то пуном линијом средња вриједност ансамбла различитих глобалних климатских модела, а испрекиданом линијом распон могуће промјене између 25. и 75. перцентила укупног могућег распона цијелог ансамбла.

Према сценарију RCP8.5 до краја вијека очекивана промјена средње дневне температуре највећа је у односу на друге сценарије, и износи 4,8 °C, са распонем од 4 °C до 6 °C у односу на референтни период 1986–2005. године. За средину вијека средња промјена према овом сценарију је нешто већа од 2,5 °C, док за период блиске будућности (2016–2035) према овом сценарију очекивана промјена износи око 1 °C у односу на вриједност из референтног периода 1986–2005.



Сл. 14.1. Промјена средње дневне температуре ($^{\circ}\text{C}$) у односу на референтни период 1986–2005. године за сценарио RCP8.5 на годишњем нивоу (GOD) и за сезоне DJF, MAM, JJA и SON за три одабрана будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100

Fig. 14.1. Changes in mean daily temperature ($^{\circ}\text{C}$) compared to the reference period 1986–2005 for the RCP8.5 scenario at the annual level (GOD) and for the DJF, MAM, JJA and SON seasons for three selected future periods: 2016–2035, 2046–2065 and 2081–2100

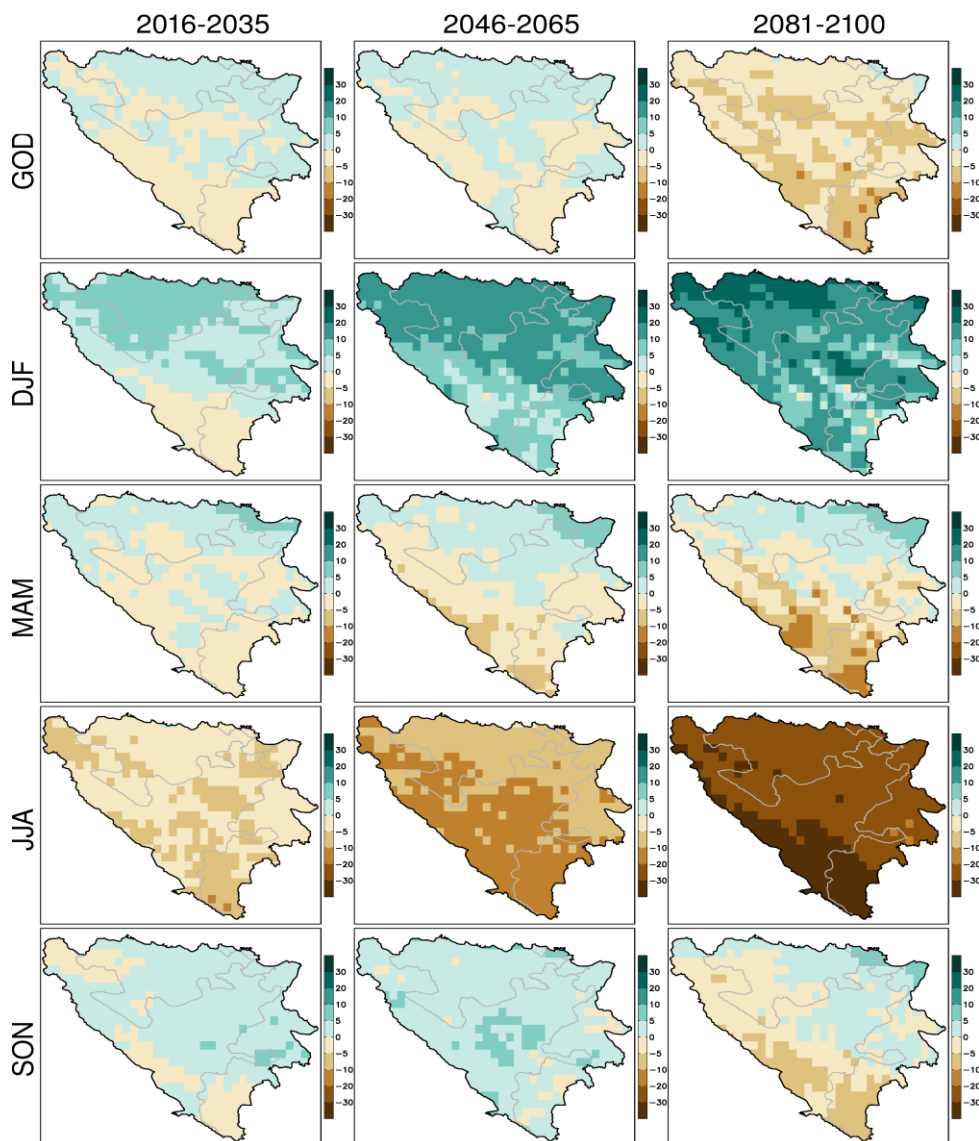


Граф. 14.1. Пројектована одступања средње дневне температуре ваздуха (°C) до краја XXI вијека према климатским сценаријима RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5

Graph.14.1. Projected deviation of the mean daily air temperature (°C) by the end of the 21st century according to climate scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5

14.5. Промјене падавина до краја XXI вијека према климатском сценарију RCP8.5

Очекиване промјене средњих дневних акумулираних падавина за климатски сценарио RCP8.5 приказане су на Сл. 14.2. за три будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100. године, у односу на референтни период 1986–2005. Промјене су анализирани на годишњем нивоу (GOD) и за четири сезоне (DJF, MAM, JJA и SON). Према приказаним резултатима за климатски сценарио RCP8.5 очекује се дефицит падавина и до -10% у појединим дијеловима Босне и Херцеговине.

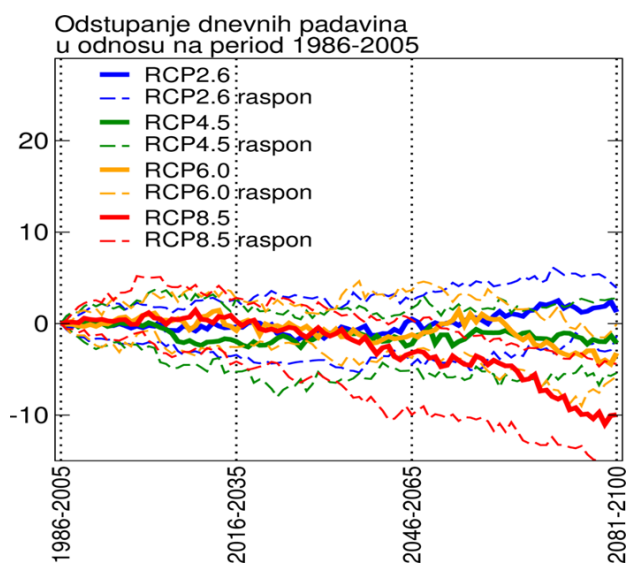


Сл. 14.2. Промјена средњих дневних падавина (%) у односу на референтни период 1986–2005. године за сценарио RCP8.5 на годишњем нивоу (GOD) и за сезоне DJF, MAM, JJA и SON за три одабрана будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100.

Fig. 14.2. Change in mean daily precipitation (%) in relation to the reference period 1986–2005 for the scenario RCP8.5 at the annual level (GOD) and for the DJF, MAM, JJA and SON seasons for three selected future periods: 2016–2035, 2046–2065 and 2081–2100

Сезона са највећим губитком падавина биће ЈЈА, за коју је током посљедњег периода (2081–2100) могуће смањење падавина и до -40% на југу земље. Овај дефицит љетњих падавина је очигледно и главни допринос негативној промјени укупних падавина на годишњем нивоу. Занимљиво је да се у сезони зима (DJF) очекује позитивна промјена падавина у највећем дијелу Републике Српске и Босне и Херцеговине, као и да је она најизраженија за посљедњи анализирани период и сценарио RCP8.5. За преостале двије сезоне, прољеће и јесен, промјена падавина је промјенљива и најчешће је у распону од -10% до +10%, у зависности од сезоне и дијела територије. За сезону МАМ уочљива је карактеристика да јужни дијелови територије углавном имају негативне промјене, док сјеверни имају позитивне, што указује да ће јужни дијелови имати већу вјероватноћу да током ове сезоне имају дефицит падавина.

На Граф. 14.2. приказане су пројекције очекиваних одступања просјечне годишње вриједности дневних акумулација падавина за узастопне двадесетогодишње периоде, почевши од двадесетогодишњег периода 1986–2005. до периода 2081–2100. године, у односу на референтни период 1986–2005. године.



Граф. 14.2. Пројектована одступања средње дневне количине падавина (%) до краја XXI вијека према климатским сценаријима RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5

Graph.14.2. Projected deviations of the mean daily precipitation (%) by the end of the 21st century according to the climate scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5

За разлику од промјена температуре, промјене падавина показују нешто сложенију структуру, са могућим и позитивним и негативним промјенама у односу на референтни период, посебно за периоде у блиској будућности, када се могуће промјене крећу у распону од -5% до +5% у односу на вриједности из референтног периода. Разлике између сценарија уочљиве су тек за периоде на крају XXI вијека, при чему се издваја сценарио RCP8.5 према коме је на крају вијека очекивана вриједност промјене око -10% са распоном од -4% до -15%. С друге стране, према сценарију RCP2.6 до краја овог вијека могућа промјена падавина остаће у распону од -3% до +3% у односу на вриједности из референтног периода. Према сценарију RCP6.0 крајем вијека очекује се негативан распон могуће промјене, слично као у случају сценарија RCP8.5, са вриједностима од -1% до -5%, а очекивана средња вриједност моделског ансамбла износи -3%. У случају сценарија RCP4.5, очекивана вриједност је око -1%, док је очекивани распон од +3% до -5%. Према приказаним резултатима, једино у случају климатског сценарија RCP8.5 будуће промјене могу бити знатније, и то у другој половини XXI вијека, када би требало очекивати смањење укупних количина падавина и промјену климатских услова у смислу потенцијалног губитка падавина на годишњем нивоу.

14.6. Закључак

Тренд загријавања присутан је на цијелом простору Републике Српске и Босне и Херцеговине од друге половине XX вијека, а израженији постаје од 1990-их година, те нарочито од почетка XXI вијека. На загријавање климатског система указују позитивни трендови и средњих и екстремних (максималних и минималних) температура ваздуха. У складу с трендом загријавања, присутни су позитивни трендови индекса топлих екстрема и негативни трендови индекса хладних екстрема.

За разлику од температуре ваздуха, трендови средњих и екстремних падавина регионално и сезонски су веома промјенљиви, али већином нису статистички значајни. Од трендова промјене укупне годишње количине падавина треба истакнути статистички значајан позитиван тренд на простору Сокоца и негативне трендове присутне на цијелом простору Херцеговине (који су у сагласности са опадајућим трендовима утврђеним широм региона Медитерана). Трендови сезонских падавина различитог су знака и регионално веома промјенљиви, али углавном још не и статистички значајни. Ипак, промјене у распореду падавина током године израженије су од самих промјена на годишњем нивоу. Од трендова сезонских сума падавина најизраженији су негативни трендови присутни у сезони љето и позитивни трендови који карактеришу сезону јесен.

Наведени трендови присутни су на готово цијелом простору Републике Српске и Босне и Херцеговине.

Резултати истраживања могућих климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини према климатском сценарију RCP8.5 указују на даље промјене у будућности. Највеће промјене могу се очекивати крајем XXI вијека у случају да не дође до смањења антропогених емисија гасова са ефектом стаклене баште. Анализе климатских промјена до краја вијека засноване су на очекиваним колебањима температуре ваздуха и падавина. Резултати указују на израженије климатске промјене које се односе на повећање годишње температуре до 5 °C, а смањење годишњих падавина до 30%, док дефицит у сезони љето може ићи и до 40% до краја XXI вијека. Овакви трендови и промјене указују на озбиљан проблем чешће и интензивније појаве суше и дефицита воде, те на потребу за знатнијим интегрисањем климатских промјена у планске и стратешке документе. Свакако, неопходна су и будућа истраживања, гдје је потребно укључити и пројекције екстремних климатских индекса, а нарочито температурних екстрема и интензивних падавина које могу условити појаву флувијалних и бујичних поплава.

Литература

- Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aguirre JL (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111(D5):D05109. doi.10.1029/2005JD006290
- Bajić D, Trbić G (2016) Klimatski atlas Bosne i Hercegovine. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci. Доступно на: http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/, Приступљено: 17. септембар 2020
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Luković J, Dragojlović J (2015a) Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 95(4):53–66. doi.10.2298/GSGD140626002B
- Burić D, Luković J, Bajat B, Kilibarda M, Živković N (2015b) Recent Trends in Daily Rainfall Extremes over Montenegro (1951–2010). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15:2069–2077. doi.10.5194/nhess-15-2069-2015
- Vemić M (1954) O klimi Bosne i Hercegovine. III Kongres geografa Jugoslavije, Geografsko društvo NR BiH, Sarajevo

- Gajić-Čarka M, Cindrić K, Pasarić Z (2015) Trends in Precipitation Indices in Croatia, 1961–2010. *Theoretical and Applied Climatology* 121(1–2):167–177. doi.10.1007/s00704-014-1217-9
- Gnjato S, Popov T, Ivanišević M, Trbić G (2021) Changes in Extreme Climate Indices in Sarajevo (Bosnia and Herzegovina). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 101(2):1–21. doi.10.2298/GSGD2102001G
- Дуцић В, Трбић Г, Луковић Ј (2008) Промене количине и режима падавина у Бањалуци у другој половини 20. века. *Гласник/Herald* 12:121–128
- Ducić V, Burić D, Trbić G, Čupać R (2014) Analysis of Precipitation and Droughts on BiH Territory Based Upon Standardized Precipitation Index (SPI). *Гласник/Herald* 18:53–70. doi.10.7251/HER1814053D
- Dunn RJH, Alexander LV, Donat MG, Zhang X, Bador M, Herold N, Lippmann T, Allan R, Aguilar E, Barry AA, Brunet M, Caesar J, Chagnaud G, Cheng V, Cinco T, Durre I, de Guzman R, Mar Htay T, Ibadullah WMW, Ibrahim MKIB, Khoshkam M, Kruger A, Kubota H, Leng TW, Lim G, Li-Sha L, Marengo J, Mbatha S, McGree S, Menne M, de los Milagros Skansi M, Ngwenya S, Nkrumah F, Oonariya C, Pabon-Caicedo JD, Panthou G, Pham C, Rahimzadeh F, Ramos A, Salgado E, Salinger J, Sané Y, Sopaheluwakan A, Srivastava A, Sun Y, Timbal B, Trachow N, Trewin B, van der Schrier G, Vazquez-Aguirre J, Vasquez R, Villarroel C, Vincent L, Vischel T, Vose R, Yussuf MNABH (2020) Development of an Updated Global Land in Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125:e2019JD032263. doi.10.1029/2019JD032263
- Djurdjevic V, Trbić G, Krzic A, Bozanic D (2019) Projected Changes in Multi-day Extreme Precipitation over the Western Balkan Region. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change*, pp 15–28. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_2
- Zhang P, Ren G, Xu Y, Wang XL, Qin Y, Sun X, Ren Y (2019) Observed Changes in Extreme Temperature over the Global Land Based on a Newly Developed Station Daily Dataset. *Journal of Climate* 32(24):8489–8509. doi.10.1175/JCLI-D-18-0733.1
- Malinovic-Milicevic S, Radovanovic MM, Stanojevic G, Milovanovic B (2016) Recent Changes in Serbian Climate Extreme Indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology* 124(3):1089–1098. doi.10.1007/s00704-015-1491-1
- Milosavljević R (1973) *Klima Bosne i Hercegovine*. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo
- Milošević DD, Savić SM, Stankov U, Žiberna I, Pantelić MM, Dolinaj D, Leščešen I (2017) Maximum Temperatures over Slovenia and Their Relationship with Atmospheric Circulation Patterns. *Geografie* 122(1):1–20. doi.10.37040/geografie2017122010001
- Попов Т (2017) Утицај савремених климатских колебања и потенцијалних промена климе на фитогеографска обиљежја Републике Српске.

- Докторска дисертација, Географски факултет Универзитета у Београду,
Београд
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017a) Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina: A Case Study of Mostar. Гласник/Herald 21:107–132. doi.10.7251/HER2117107P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017b) Trends in Frost Days in Bosnia and Herzegovina. Bulletin of the Serbian Geographical Society 97(1):35–55. doi.10.2298/GSGD1701035P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2017в) Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in Bosnia and Herzegovina. Collection of Papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade 65(1):5–24. doi.10.5937/zrgfub1765005P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-Based Index Analysis. Journal of the Geographical Institute „Јован Цвијић“ SASA 68(1):17–33. doi.10.2298/JGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Gnjato R (2018б) Climate Change in South-East Europe: A Case Study of Bosnia and Herzegovina. Известия Географического общества Узбекистана 53:145–158
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018в) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018г) Analysis of Changes in Extreme Climate Indices in Mostar. Гласник/Herald 22:79–102. doi.10.7251/HER2218079P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018д) Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 122(4):433–452. doi.10.28974/idojaras.2018.4.5
- Popov T, Delić D (2019) Recent Climate Change in the Semberija Region – Impact on Agricultural Production. Гласник/Herald 23:35–58. doi.10.7251/HER1923035P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019а) Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change, pp 213–228. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_15
- Popov T, Gnjato S, Gnjato R (2019б) Recent Climate Change in Bosnia and Herzegovina. У: Хикматов ФХ, Дружинин АГ (Отв ред) Материалы Международной научно-практической конференции Географическая наука Узбекистана и России: Общие проблемы, потенциал и перспективы сотрудничества (г. Ташкент, Республика Узбекистан, 13–19 мая 2019 года), стр 276–280. Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, Национальный университет

- Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ассоциация российских географов-обществоведов, Географическое общество Узбекистана
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019в) Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Geografie* 124(1):19–40. doi.10.37040/geografie2019124010019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019г) Extreme Temperature and Precipitation Months in the East Herzegovina Region. *Гласник/Herald* 23:73–94. doi.10.7251/HER1923073P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019д) Changes in Precipitation over the East Herzegovina Region. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 99(1):29–44. doi.10.2298/GSGD1901029P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2019ђ) Analysis of Extreme Precipitation Indices in the East Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić” SASA* 69(1):1–16. doi.10.2298/IJGI1901001P
- Попов Т (2020) Утицај савремених климатских промјена на фитоеографска обилежја Републике Српске. *Географско друштво Републике Српске, Бања Лука*, стр 291
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2021) Changes in Air Temperature over the East Herzegovina in the 1961–2016 Periods. *Гласник/Herald* 25:1–24. doi.10.7251/HER2125001P
- Trbic G, Bajic D, Djurdjevic V, Ducic V, Cupac R, Markez Đ, Vukmir G, Dekić R, Popov T (2018) Limits to Adaptation on Climate Change in Bosnia and Herzegovina: Insights and Experiences. In: Leal Filho W, Nalau J (eds) *Limits to Climate Change Adaptation*, pp 245–259. Springer. doi.10.1007/978-3-319-64599-5_14
- Trbic G, Djurdjevic V, Ivanisevic M, Cupac R, Zahirovic E, Popov T, Filipovic D, Gnjato S, Bajic D (2019) Possible Consequences of Climate Change on Viticulture in Bosnia and Herzegovina. 2nd International Conference ADAPTtoCLIMATE, June 24 – 25, 2019, Heraklion, Crete Island, Greece, National Technical University of Athens, Greece, Proceedings, Доступно на: http://uest.ntua.gr/adapt2clima/proceedings/pdf/ADAPTtoCLIMATE2019_%20Trbic_etal.pdf, Приступљено: 12. децембар 2021
- Trbic G, Djurdjevic V, Vujdinovic Mandic M, Ivanisevic M, Cupac R, Bajic D, Zahirovic E, Filipovic D, Dekic R, Popov T, Gnjato S (2021) The Impact of Climate Change on Grapevines in Bosnia and Herzegovina. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 6(1):4. doi.10.1007/s41207-020-00206-7
- Trbic G, Popov T, Djurdjevic V, Milunovic I, Dejanovic T, Gnjato S, Ivanisevic M (2022) Climate Change in Bosnia and Herzegovina According to Climate Scenario RCP8.5 and Possible Impact on Fruit Production. *Atmosphere* 13(1):1. doi.10.3390/atmos13010001
- Трбић Г (2011) Екоклиматска рејонизација Перипанонског обода Републике Српске. *Географско друштво Републике Српске, Бања Лука*, стр 182

- Trbić G, Ducić V, Rudan N, Anđelković G, Marković S (2012) Extreme Precipitation in Republika Srpska (2010 and 2011 Analyses). Гласник/Herald 15:81–94. doi.10.7251/HER1115081T
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. Geographica Pannonica 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01
- Ćulafić G, Popov T, Gnjato S, Bajić D, Trbić G, Mitrović L (2020) Spatial and Temporal Patterns of Precipitation in Montenegro. Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 124(4):499–519. doi.10.28974/idojaras.2020.4.5
- Unkašević M, Tošić I (2011) A Statistical Analysis of the Daily Precipitation over Serbia: Trends and Indices. Theoretical and Applied Climatology 106(1):69–78. doi.10.1007/s00704-011-0418-8

Recent Climate Change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina

Tatjana Popov, Vladan Ducić, Vladimir Đurđević,
Goran Trbić, Slobodan Gnjata

Summary

The paper gives an overview of the observed climate change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina; primarily the changes in air temperature and precipitation regime. In the period 1961–2015 the positive trends of mean, maximum and minimum annual and seasonal air temperatures were determined, which were most pronounced in the summer season, whereas in the autumn season there is only a slight upward trend of temperatures. Warming is most pronounced in the northern part of the territory, whereas the increase is much lower in the higher parts of the Herzegovina region. Unlike air temperature, precipitation trends are, both seasonally and regionally, very variable and of different signs (positive and negative), but mostly insignificant. However, in some areas, the interannual variability of precipitation and the frequency of extreme precipitation have increased.

In addition, the paper presents the results of research on possible climate change (based on expected changes in air temperature and precipitation) by the end of the 21st century in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina according to the climate scenario RCP8.5. The results indicate more pronounced climate change related to increasing annual temperatures up to 5 °C and reducing annual precipitation by up to 30%, whereas the deficit in the summer season (June, July and August) could go up to 40% by the end of the 21st century. Such changes point to the serious problem of drought and water scarcity and the need for more significant integration of climate change issues into planning and strategic documents.

Keywords: Climate change, temperature, precipitation, trend, projections, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina



Климатски атлас Босне и Херцеговине

Даворин Бајић, Горан Трбић, Драгутин Аџић

Сажетак: У поглављу је представљен Климатски атлас Босне и Херцеговине са 180 тематских карата. Дигитални интерактивни Климатски атлас први пут је израђен за потребе Треће националне комуникације Босне и Херцеговине о промјени климе и објављен је 2016. године. Издавач је био Природно-математички факултет Универзитета у Бањој Луци, а климатолошке мапе су приказане у виду WEB интерактивног климатског атласа. Интерактивном климатском атласу може се приступити преко линка: http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/. Климатски атлас Босне и Херцеговине аутора Даворина Бајића и Горана Трбића одобрен је Одлуком Наставно-научног вијећа Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци, број: 19/3.1370/16, од 18. 05. 2016. године, да се публикује као научна публикација. У овој монографији Климатски атлас се први пут публикује у штампаном издању.

Климатски атлас Босне и Херцеговине чине сетови дигиталних климатолошких мапа, које се односе на два климатолошка параметра, температуре ваздуха и падавине, приказане по мјесецима, сезонама, вегетационом периоду и годишње.

Цитирање: Бајић Д, Трбић Г, Аџић Д (2023)
Климатски атлас Босне и Херцеговине. У: Трбић
Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање
природним ресурсима у ери климатских
промјена. Академија наука и умјетности
Републике Српске, Бања Лука,
Монографија LIV:605–795

Cite as: Bajić D, Trbić G, Adžić D (2023)
Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina. In:
Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural
Resources Management in a Changing
Climate. Academy of Sciences and Arts of
the Republic of Srpska, Banja Luka,
Monograph LIV:605–795

Климатске мапе су урађене за три климатолошка периода, и то: осматрени период 1961–1990. године, те периоде 2001–2030. и 2071–2100, који се односе на сценарије А1В и А2. Климатске мапе за период 1961–1990. године урађене су на основу интерполације климатских параметара са 45 метеоролошких станица у Босни и Херцеговини.

Кључне ријечи: Климатски атлас, Босна и Херцеговина, температуре ваздуха, количина падавина, климатске пројекције

15.1. Увод

Интерактивни Климатски атлас (Вајић и Трбић 2016) прва је публикација оваквог типа у Републици Српској и Босни и Херцеговини. Претечу овог атласа, који је био у штампаном издању, представља Атлас Климe СФРЈ, који је обухватио период 1931–1960. године.

Климатски атлас Босне и Херцеговине чине сетови дигиталних климатолошких мапа, које се односе на два климатолошка параметра, температуре ваздуха и падавине, приказане по мјесецима и сезонама, у вегетационом периоду и годишње. Климатске мапе су урађене за три климатолошка периода, и то: осматрени период 1961–1990. године, те периоде 2001–2030. и 2071–2100, који се односе на сценарије А1В и А2.

Климатске мапе за период 1961–1990. урађене су на основу интерполације климатских параметара са 45 метеоролошких станица у Босни и Херцеговини. Климатске мапе које указују на очекиване климатске промјене (сценарији) урађене су на основу EBU-POM регионалног модела, и то сценарији и периоди: А1В 2001–2030, А1В 2071–20100, А2 2071–2100.

15.2. Спецификација и симболи

Интерактивном Климатском атласу Босне и Херцеговине може се приступити преко линка: http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/

Координатни систем: MGI Balkans 6

Формат: GeoTiff (GIS format)

Rezolucija: 1 arc sec (приближно 90 м)

Климатолошким мапама у дигиталном формату, на упит, може се приступити преко WMS и WCS сервиса, што омогућава широку примјену урађених мапа за различите видове ГИС и климатолошких анализа и истраживања.

Симболи у називима мапа:

- Р – падавине,
- Т – температуре,
- 61_90, 01_30, 71_100 – климатолошки периоди 1961–1990, 2001–2030, 2071–2100,
- A1B, A2 – сценарији,
- I, II, III ... XII – мјесеци,
- PROLJEĆE, LJETO, JESEN, ZIMA – сезоне,
- G – годишње,
- VP – вегетациони период,
- R – разлике.

Разлике климатских параметара (падавине и температуре) приказане су као апсолутне разлике (сценарији минус осмотрени период).

15.3. Методе интерполације

Интерполација осмотрених климатских параметара (температура и падавина) за период 1961–1990. године извршена уз кориштење регресионих модела и метода просторне интерполације (Dobesch et al. 2007; Shujun et al. 2008; Liu 2009; Liu et al. 2009; Бајић и Трбић 2011; Vajić et al. 2015). Интерполација је укључивала двије компоненте: вертикалну и хоризонталну. Температуре ваздуха и падавине у директној су зависности са надморском висином, па је у вертикалну компоненту интерполације укључен дигитални модел терена (*Digital Elevation Model*, DEM) као репрезент хипсометријских карактеристика, а који је основни фактор вертикалне дистрибуције температура и падавина. Хоризонтална интерполација укључила је хоризонталну диференцијацију посматраних климатских параметара, која зависи од удаљености од мора, кретања ваздушних маса и сл. Поред регресионих модела, за интерполацију температура кориштена је Кригинг метода просторне интерполације, а за интерполацију падавина IDW метода просторне интерполације.

Распоред температура ваздуха и количине падавина зависи од великог броја климатских фактора. Комплекс климатских фактора знатно модификује климатска својства, чак и на релативно малом простору, уколико је тај простор хетероген у погледу физичко-географске структуре.

Наведене чињенице захтијевају примјену различитих аналитичких поступака у идентификацији климатских елемената (температура ваздуха и падавина) на комплетној површини посматраног простора. Значај идентификације климатских елемената ван мјерних мјеста (метеоролошке станице) довео је

до појаве великог број методолошких поступака помоћу којих се врше просторне интерполације климатских елемената. Сви поступци који се употребљавају заснивају се на различитим статистичким и картографским моделима интерполације. У новијој климатолошкој литератури углавном се употребљавају модели интерполације засновани на регресионим статистичким моделима. Поред тога, велику помоћ приликом примјене модела интерполације омогућавају ГИС апликације.

Поступак интерполације температура ваздуха и падавина примијењен за израду Климатског атласа Босне и Херцеговине може се описати кроз неколико аналитичких етапа.

У поступку интерполације кориштени су подаци о температурама ваздуха и падавинама са 45 метеоролошких станица у Босни и Херцеговини. Период осматрања односи се на период 1961–1990. године. На основу измјерених вриједности одређене су просјечне мјесечне вриједности температура ваздуха и количине падавина за сваку мјерну станицу. На основу просјечних мјесечних вриједности одређене су просјечне вриједности по сезонама (прољеће, љето, јесен, зима), за вегетациони период и просјечне годишње вриједности. Поред температура ваздуха и количине падавина, као улазних варијабли, као друга улазна варијабла кориштен је дигитални модел терена (DEM) у резолуцији од 90 м.

Уврштавањем дефинисаних варијабли (температуре ваздуха и количине падавина као зависне промјенљиве, и надморских висина као независне промјењиве) у модел линеарне регресије одређена је регресиона једначина за сваки посматрани период, према математичком обрасцу:

$$T = a_t + b_t Z$$
$$x = \frac{n \sum ZT - \sum Z \sum T}{n \sum Z^2 - (\sum Z)^2}$$
$$a_t = \bar{T} - b_t \bar{Z},$$

гдје су:

T – зависна промјенљива,

Z – независна промјенљива,

a_t, b_t – регресиони параметри.

Након формирања регресионе једначине, израчунавањем регресионих параметара, израчунате су естимоване вриједности T_e посматране зависне промјенљиве за сваки период и за сваку метеоролошку станицу. Естимоване вриједности се израчунавају на основу формиране регресионе једначине, у којој добијени регресиони параметри представљају својеврсне константе. Уврштавањем варијабле Z (надморске висине) за сваку посматрану метеоролошку

станицу у постављену формулу добију се естимоване вриједности средњих температура ваздуха и просјечне количине падавина.

У следећој етапи израчунат је резидуални остатак. Резидуални остатак T добије се када се од стварних (измјерених) вриједности одузму естимоване вриједности:

$$\hat{T} = T - T_e$$

Користећи ГИС софтверску апликацију ArcGIS, вриједности резидуалног остатка подвргнуте су просторној интерполацији. Резидуални остатак за температуре ваздуха интерполиран је помоћу Кригинг модела интерполације, а резидуални остатак за падавине интерполиран је помоћу IDW модела интерполације. Овим поступцима резидуални остатак је интерполиран, тако да је одређен интерполирани резидуал за комплетну територију посматраног простора.

Употребом DEM и конструисане регресионе једначине у ГИС апликацији су израчунате естимоване вриједности за обје посматране варијабле и све посматране периоде за комплетну територију Босне и Херцеговине.

У посљедњој фази сабирањем естимованих вриједности и резидуалног остатка (по принципу пиксел са пикселом), кориштењем „мап алгебре“ добијене су интерполиране вриједности посматраних варијабли:

$$T = T_e - \hat{T}.$$

15.4. Клима Босне и Херцеговине

Климу Босне и Херцеговине доминантно одређује географски положај, циркулација ваздушних маса, рељеф и геолошка подлога. Према Вемићу, изнад Босне и Херцеговине врло је интензивна размјена поларних и тропских ваздушних маса (Vemić 1953). Основни типови климата заступљени у Босни и Херцеговини су: умјереноконтинентални, планински и јадрански тип климата (Milosavljević 1973). За анализу климе Босне и Херцеговине кориштени су подаци хидрометеоролошких завода за период 1961–2010. године (Републички хидрометеоролошки завод Републике Српске 1961–2010; Федерални хидрометеоролошки завод ФБиХ 1961–2010; Савезни хидрометеоролошки завод СФРЈ 1963–1988).

Перипанонски обод карактерише умјереноконтинентална клима. Одлике ове климе су умјерено топла љета и умјерено хладне зиме. У односу на Панонску низију, Перипанонски обод прима нешто више падавина (1.200 мм). Средња годишња температура ваздуха је око 10 °С. Најтоплији мјесец је јули, са

просјеком преко 20 °С, а најхладнији је јануар, чије се просјечне температуре спуштају испод 0 °С. Годишња доба су јасно изражена. Главне одлике овог типа климе су топла љета и хладне зиме. Љетње температуре могу порастати и преко 40 °С. Апсолутни максимум измјерен је у Вишеграду (43 °С). Просјечна температура ваздуха у најтоплијем дијелу године (у јулу) је између 20 °С и 23 °С, док је просјечна температура ваздуха у најхладнијем дијелу године (у јануару) око 0 °С. Апсолутни минимуми температуре могу достићи и до -30 °С. Просјечна годишња температура је изнад 10 °С. Овај тип климата је карактеристичан за Бању Луку, Бихаћ, Добој, Зеницу, Тузлу, Сарајево и Вишеград.

У простору Панонске низије заступљена је панонска клима, као подтип умјереноконтиненталне климе. Она је нешто блажа у односу на типичну континенталну климу, која је заступљена у источној Европи. Одликује се веома топлим љетима и хладним зимама. Просјечне годишње температуре ваздуха су у интервалу 10–11 °С, а количине падавина се крећу до 800 мм. Највише падавина се излучи крајем прољећа и почетком љета (мај–јуни). Представник овог климатског типа је Бијељина.

У односу на умјереноконтиненталну климу планинска клима је оштрија. Средње годишње температуре се крећу до 5 °С. Најтоплији мјесец, јули, има средњу температуру нижу од 18 °С, а најхладнији, јануар, нижу од -3 °С. Падавине се излучују у облику кише и снијега, који се задржава знатно дуже у односу на ниже предјеле. Просјечне јануарске температуре износе од -3,5 °С до -6,5 °С, а јулске од 14,5 °С до 17 °С. Апсолутне минималне температуре су од -25 °С до -35 °С, а апсолутне максималне од 30 °С до 35 °С (Бјелашница, Јахорина, Иван седло). Количина падавина је око 1.200 л м²⁻¹, често се јављају сњежне падавине, а сњежни покривач се релативно дуго задржава.

Затворене и релативно дубоке котлине и неке ријечне долине заклоњене су од продора хладних вјетрова. У њима преовладава тзв. жупна (блага) клима. Љетне и зимске температуре ваздуха су више у односу на околне планинске просторе. Као индикатор жупне климе сматрају се простори у којима успијева орах и кестен. Овај тип климе заступљен је у фочанској и вишеградској котлини и Поуњу.

У простору јадранске области заступљена је јадранска и измијењено јадранска клима. Јадранска клима је варијанта средоземне (маритимне) климе. Њу карактеришу благе и кишовите зиме, те сува и топла љета. Средње годишње температуре ваздуха су преко 14 °С. Најтоплији мјесец (јули) има просјечне температуре преко 23 °С, док је најхладнији јануар са температурама изнад 5 °С. Љетни период, са температурама преко 20 °С, траје четири мјесеца. Овај тип климе климе заступљен је у подручју Неума, као и у долини доњег тока Неретве.

Измијењена јадранска клима захвата предјеле у јадранском залеђу, гдје допиру утицаји мора. Кречњачка унутрашњост у току љета брже се загријава од приморског подручја, али се у току зиме брже хлади. У простору измијењене јадранске климе температурни екстреми су израженији, односно љета су топлија а зиме хладније у односу на приобално подручје Јадрана (Неум). Максималне температуре током љета могу достићи вриједност од 45 °С. У погледу количине и годишње расподјеле падавине нема битних разлика у односу на јадранско приморје. Типичан простор измијењене јадранске климе је ниска Херцеговина, подручје Мостара, Требиња, Стоца, Љубиња...

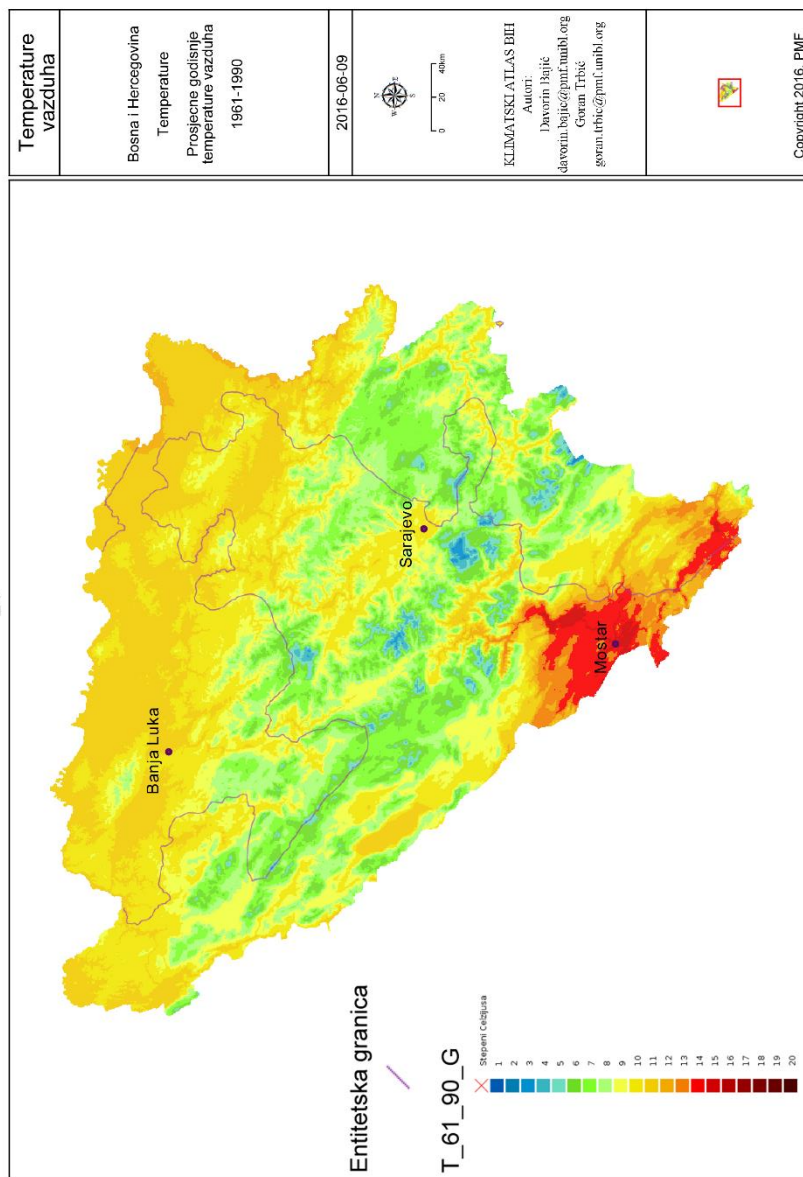
15.5. Температуре ваздуха

На термички режим и климатска обиљежја Босне и Херцеговине утичу два акциона центра атмосфере: азорски антициклон, који условљава стабилно, а љети и топло вријеме, и исландски циклон, који доноси падавине. Зими се повремено региструје и утицај сибирског антициклона, који је праћен хладним и углавном сувим временом, док је љети присутан и утицај антициклона који има сахарско, односно медитеранско поријекло, а који условљава изузетно топло и суво вријеме (Трбић 2011). У сјеверном и западном дијелу Босне и Херцеговине, на подручјима до 500 м надморске висине, средње годишње температуре ваздуха имале су вриједност од 10 °С до 11 °С (период 1961–1990). Централни планински дио, односно подручја преко 500 м надморске висине, карактеришу средње годишње температуре у интервалу од 5 °С до 10 °С, изузев највиших планинских врхова, на којима је температура испод 4 °С (Трбић и Бајић 2011). Најтоплији дио је подручје ниске Херцеговине и јужног дијела херцеговачких Рудина, гдје средње годишње температуре ваздуха имају просјечну вриједност од 11 °С до 14 °С, а област Мостара, Требиња и Поповог поља и преко 14 °С. Са порастом надморске висине просјечна годишња температура опада за 0,5 °С до 0,8 °С на сваких 100 м у континенталном дијелу, док је у источној Херцеговини температурни градијент већи и креће се од 0,7 °С до 1,0 °С. Средња годишња амплитуда температуре ваздуха највећа је у сјеверном и западном дијелу и износи од 20 °С до 23 °С. У осталим дијеловима, осим Подриња, амплитуда температура не прелази 20 °С. Планинска подручја са мањом просјечном температуром имају и мању амплитуду температуре ваздуха.

15.6. Количина падавина

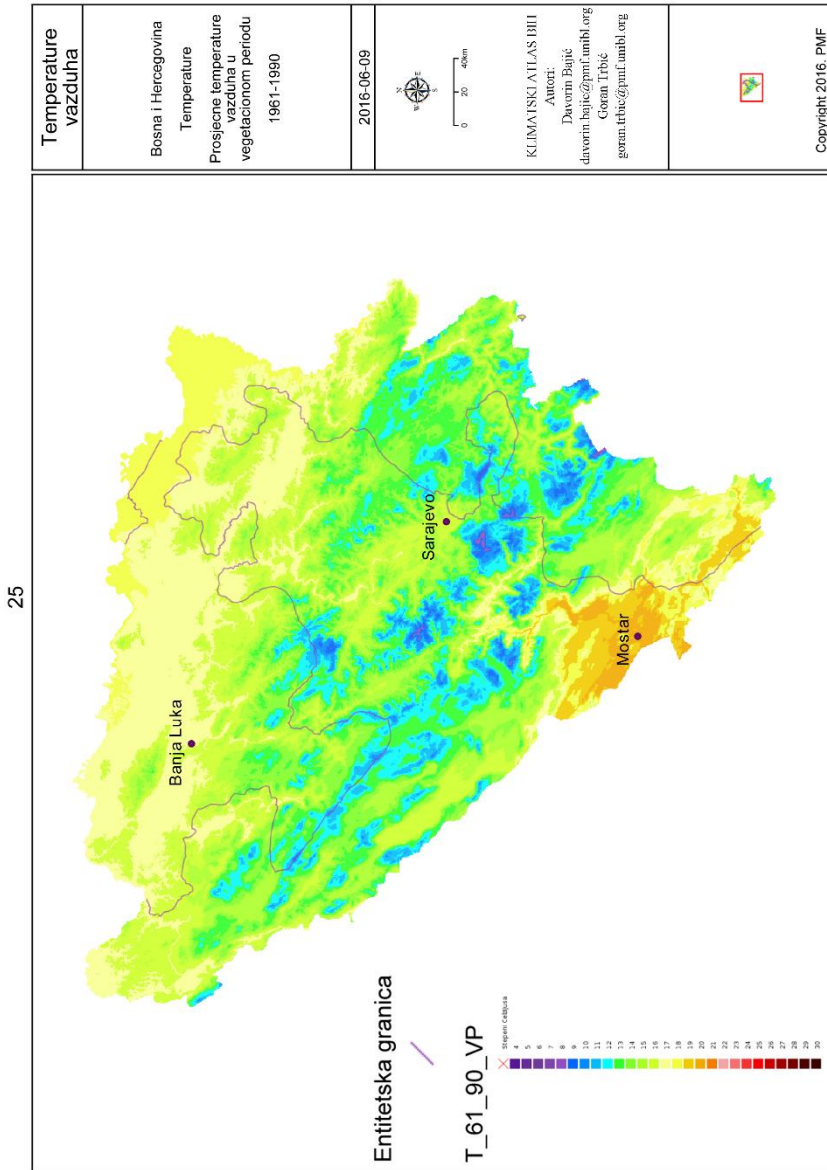
Према Кепеновој класификацији климата територија Босне и Херцеговине доминантно се налази у С и Д климатском типу. Највећи дио сјевера има континентални режим падавина, са максимумом у љетњим и минимумом у зимским мјесецима. На подручју ниске Херцеговине влада типичан маритимно медитерански режим, са максимумом у зимским и минимумом у љетњим мјесецима. У централним дијеловима доминира јесењи максимум, док минимум није изразито просторно диференциран (Trbic et al. 2010; Трбић и сар. 2010; Трбић и Бајић 2011; Трбић и сар. 2013). Најмања количина падавина излучи се на крајњем сјевероистоку Босне и Херцеговине (око 750 мм), док подручје источне Херцеговине прима највише падавина током године (до 2.000 мм). Над осталим, већим дијелом земље, излучи се 850 до 1.500 мм. У Перипанонском ободу падавине релативно правилно опадају од запада ка истоку, док је у ниској Херцеговини ситуација сложенија.

24



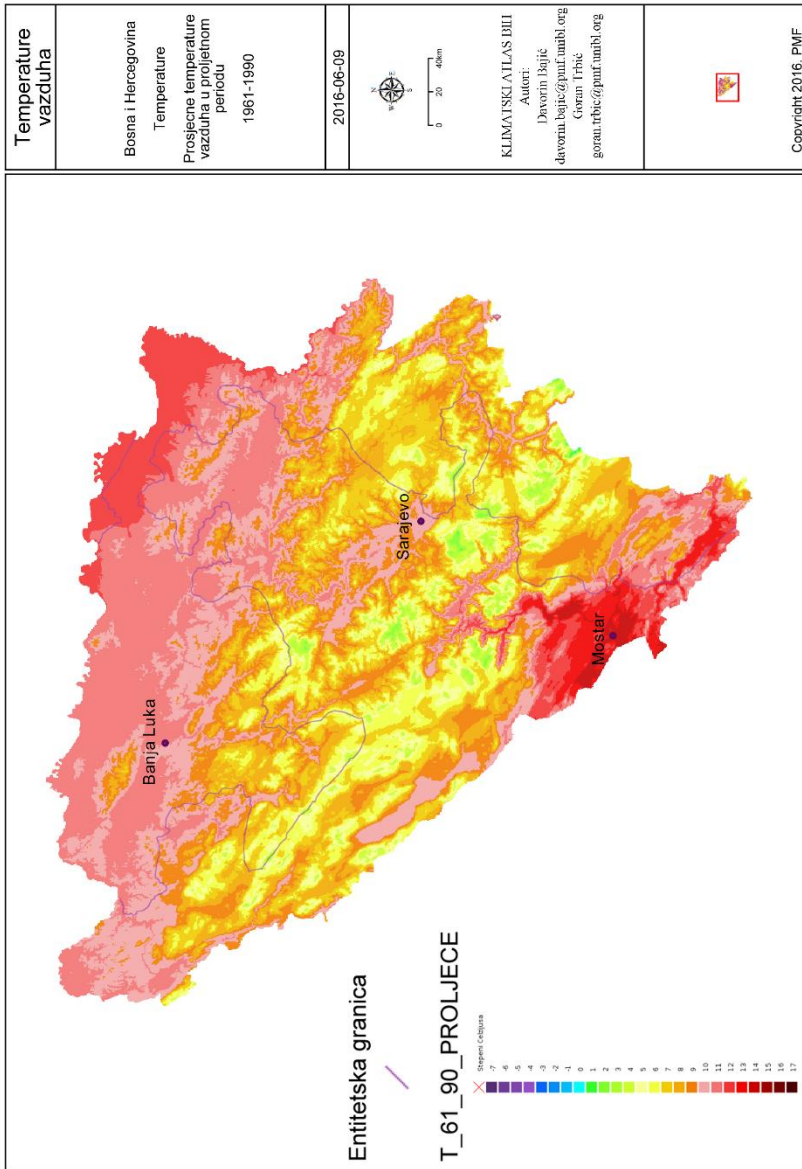
Сл. 15.1. Просјечне годишње температуре ваздуха 1961–1990.

Fig. 15.1. Average annual air temperature 1961–1990.



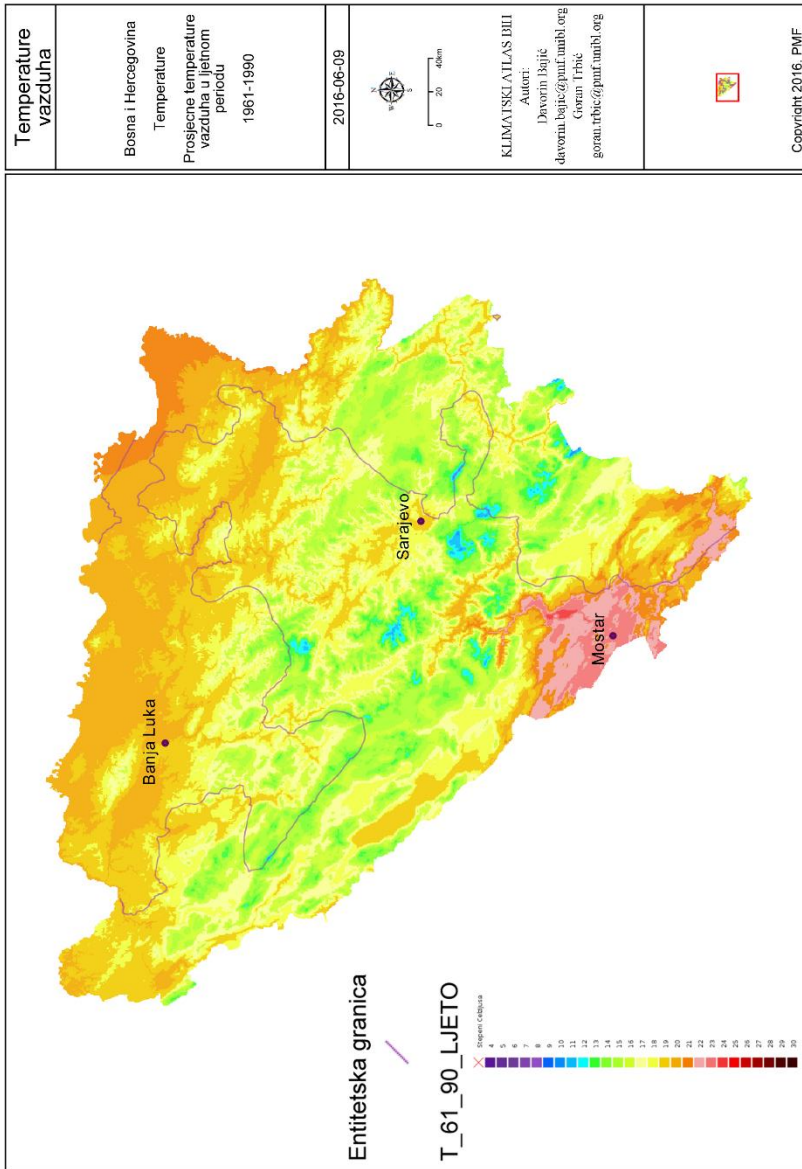
Сл. 15.2. Просјечне температуре ваздуха у вегетационом периоду 1961–1990.
 Fig. 15.2. Average air temperature during the growing season 1961–1990.

26



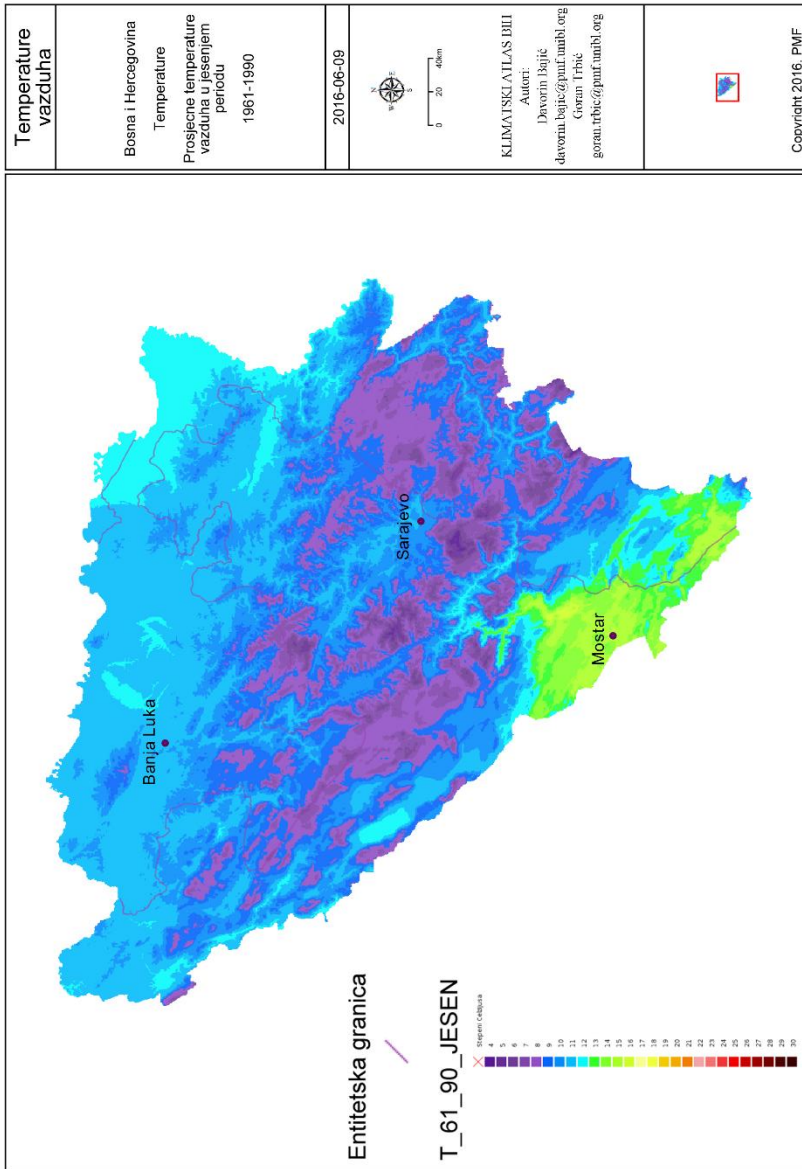
Сл. 15.3. Просјечне температуре ваздуха у прољетном периоду 1961–1990.
 Fig. 15.3. Average air temperature in the spring 1961–1990.

27

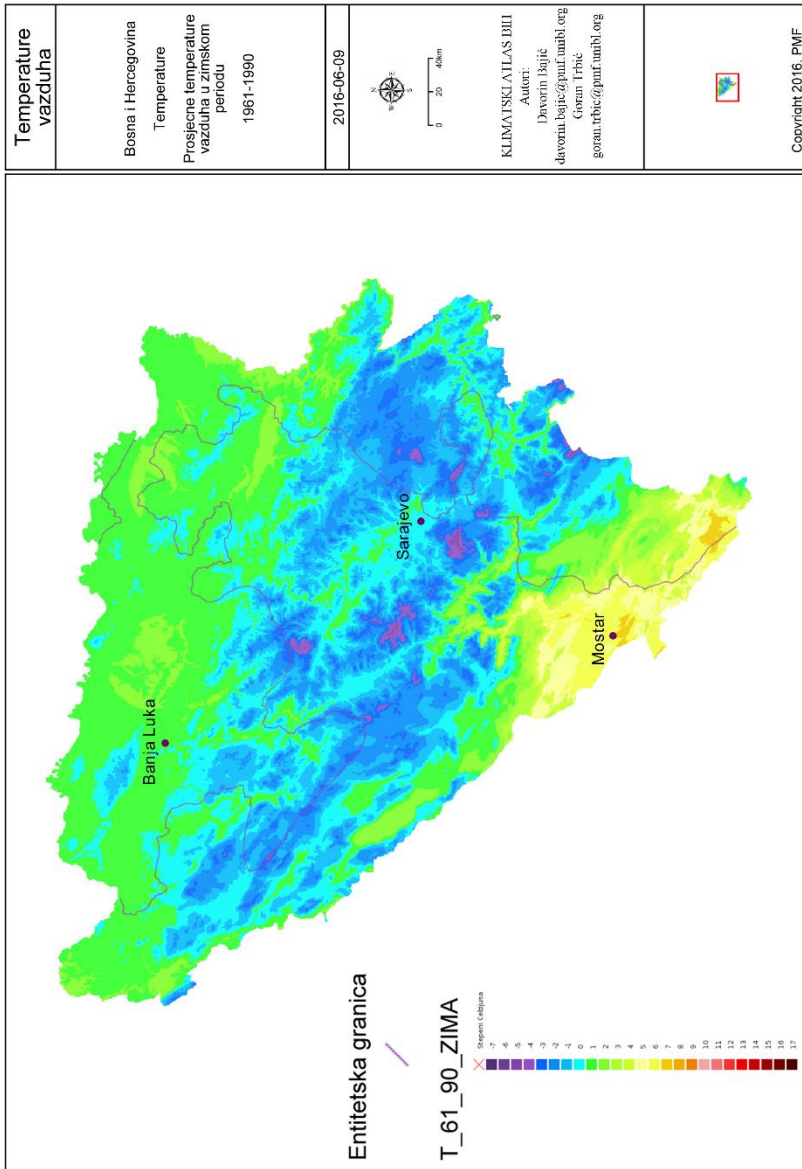


Сл. 15.4. Просјечне температуре ваздуха у љетном периоду 1961–1990.
 Fig. 15.4. Average air temperature in the summer 1961–1990.

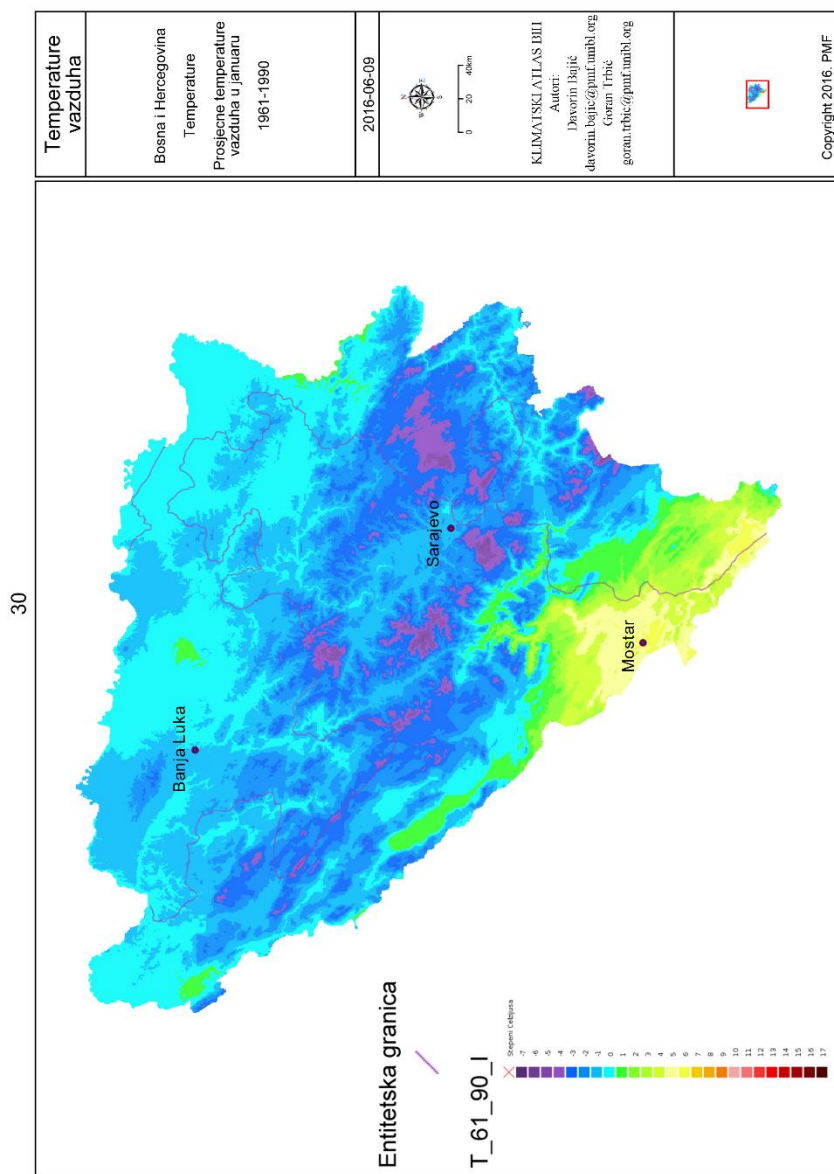
28



Сл. 15.5. Просјечне температуре ваздуха у јесењем периоду 1961–1990.
 Fig. 15.5. Average air temperature in the autumn 1961–1990.



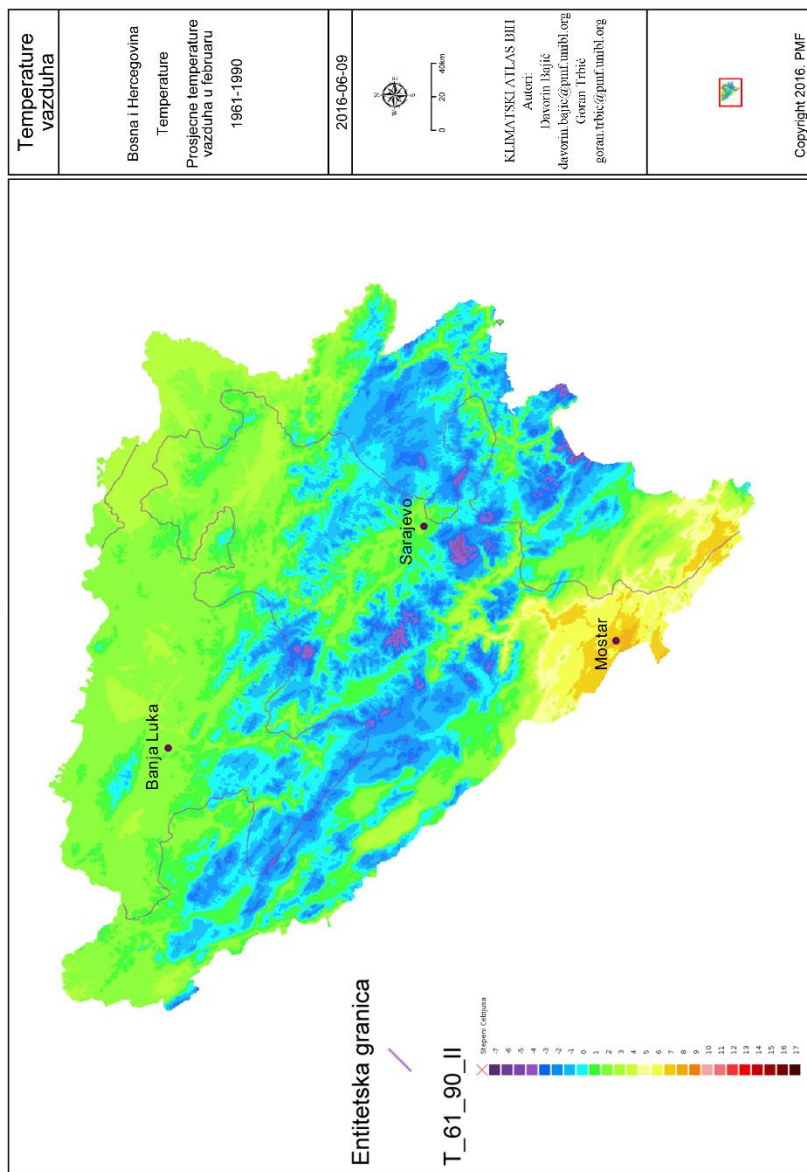
Сл. 15.6. Просјечне температуре ваздуха у зимском периоду 1961–1990.
 Fig. 15.6. Average air temperature in the winter 1961–1990.



Сл. 15.7. Просјечне температуре ваздуха у јануару 1961–1990.

Fig. 15.7. Average air temperature in January 1961–1990.

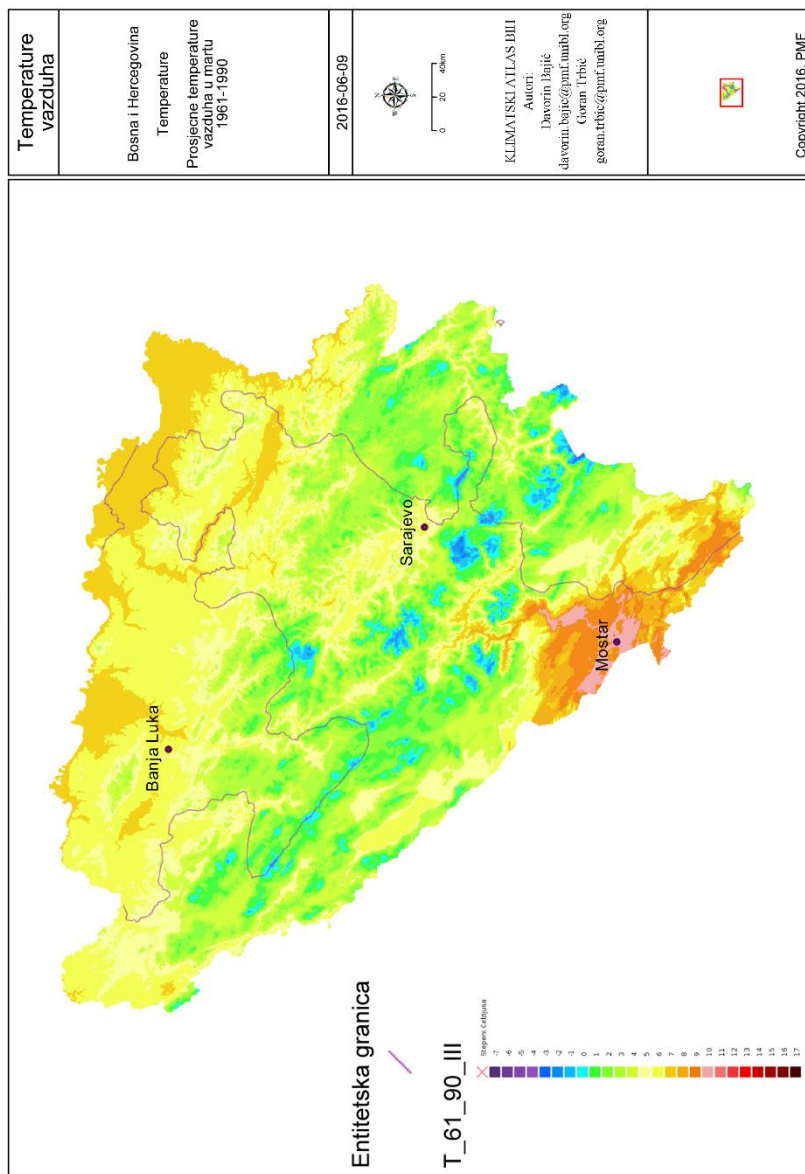
31



Сл. 15.8. Просјечне температуре ваздуха у фебруару 1961–1990.

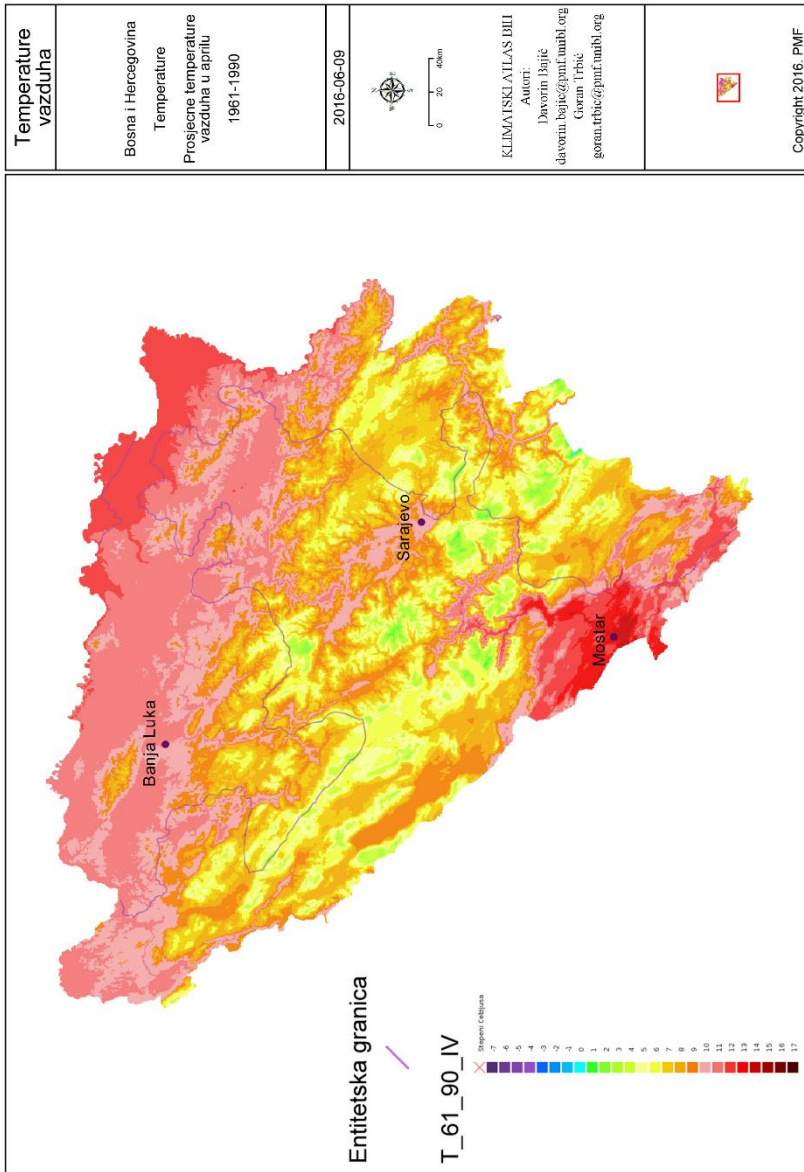
Fig. 15.8. Average air temperature in February 1961–1990.

32



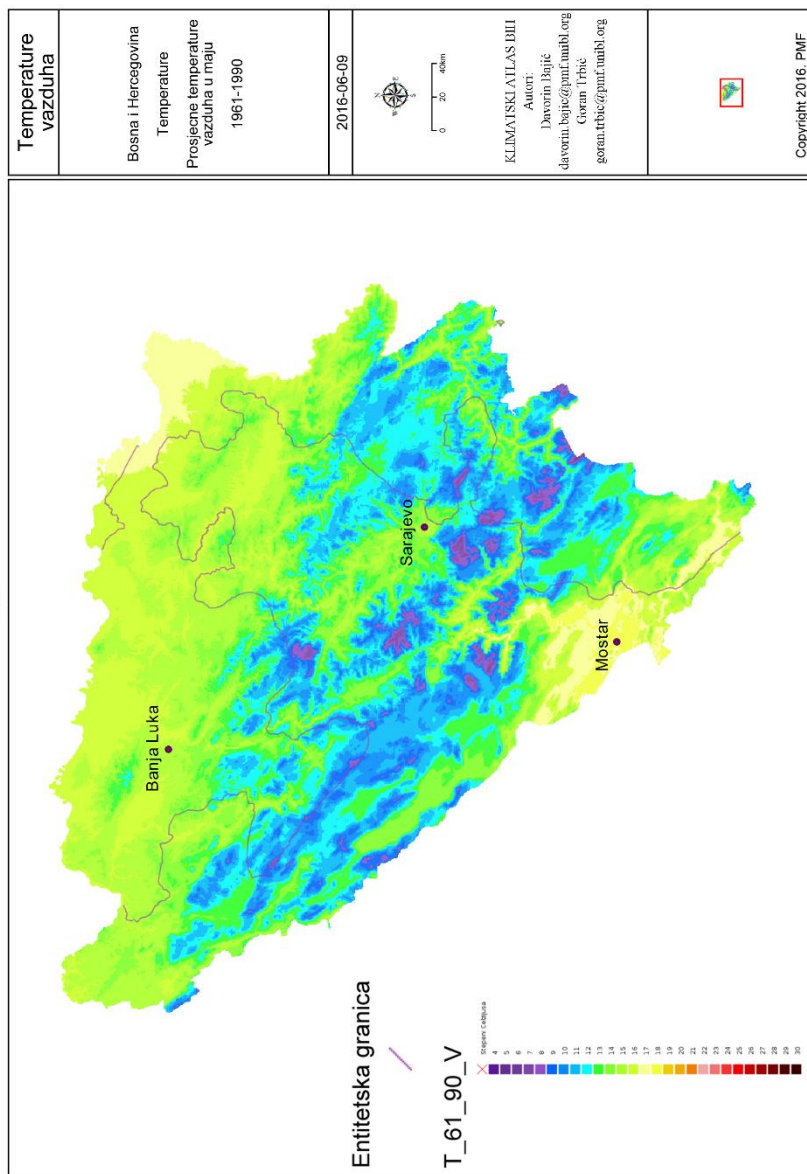
Сл. 15.9. Просјечне температуре ваздуха у марту 1961–1990.
Fig. 15.9. Average air temperature in March 1961–1990.

33



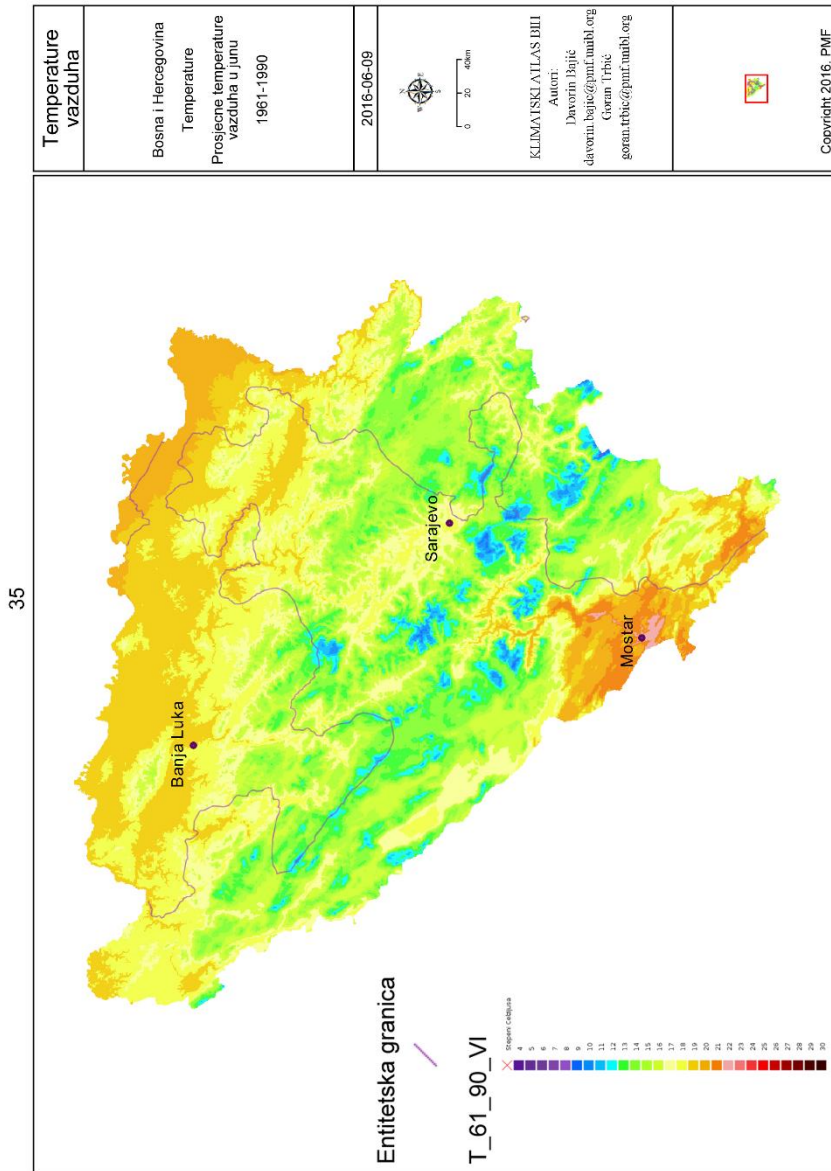
Сл. 15.10. Просјечне темперетуре ваздуха у априлу 1961–1990.
 Fig. 15.10. Average air temperature in April 1961–1990.

34



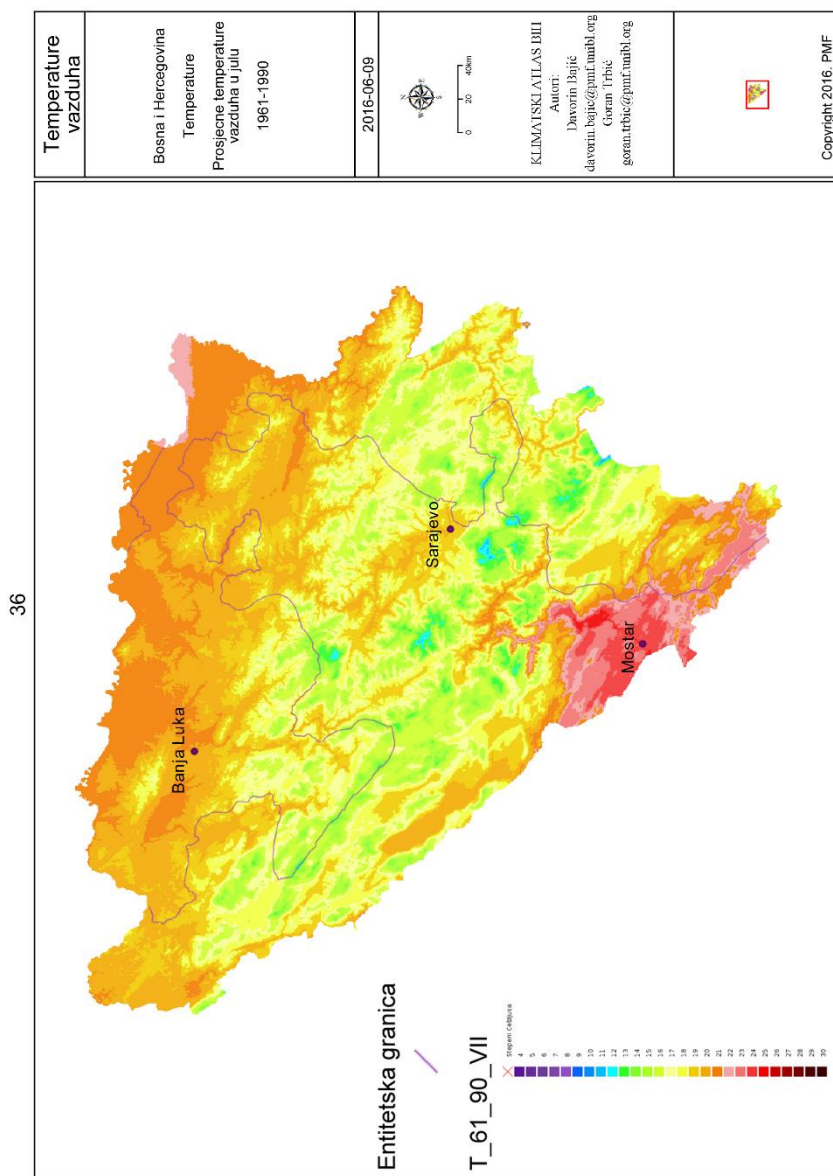
Сл. 15.11. Просјечне темперетуре ваздуха у мају 1961–1990.

Fig. 15.11. Average air temperature in May 1961–1990.



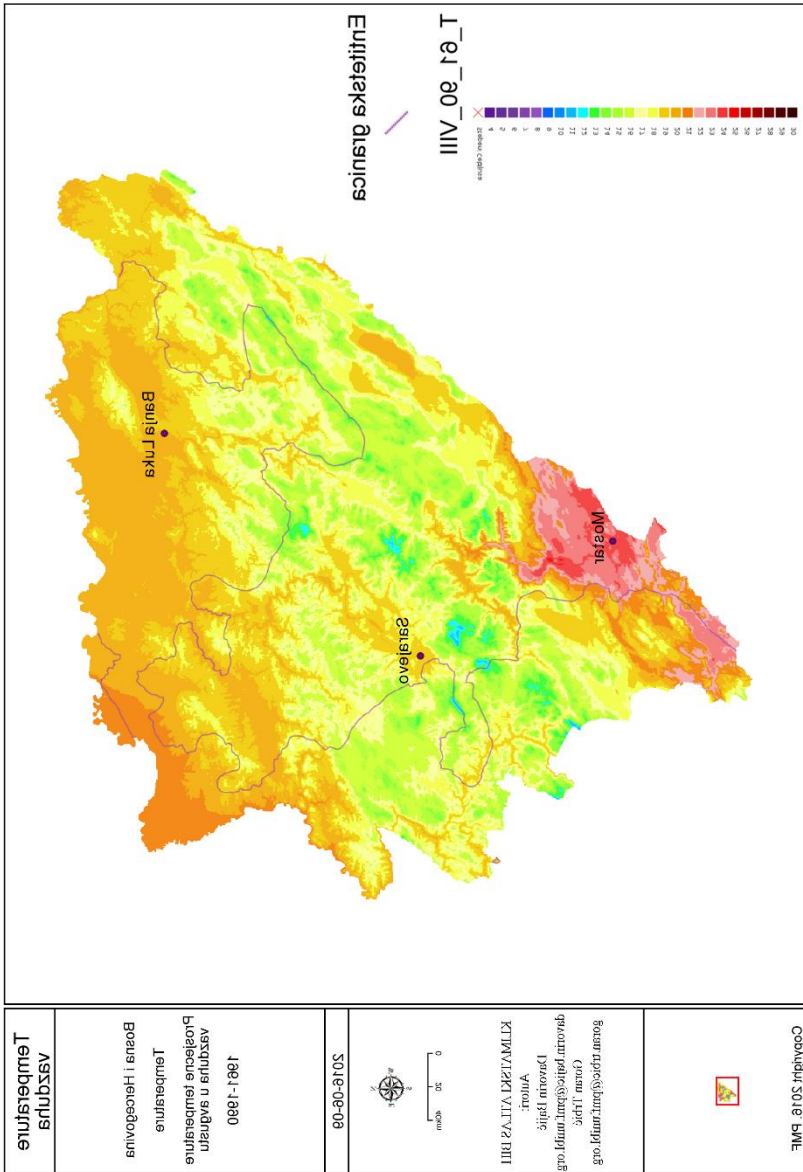
Сл. 15.12. Просјечне температуре ваздуха у јуну 1961–1990.

Fig. 15.12. Average air temperature in June 1961–1990.



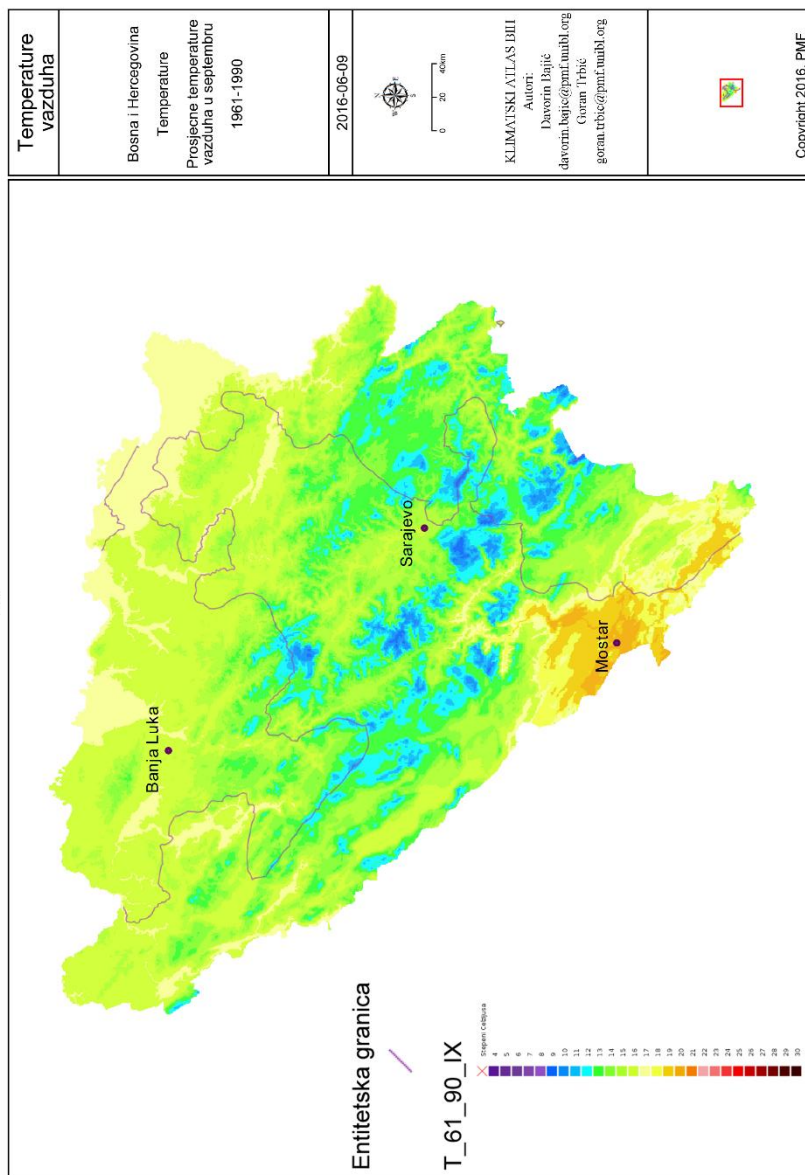
Сл. 15.13. Просјечне темперетуре ваздуха у јулу 1961–1990.

Fig. 15.13. Average air temperature in July 1961–1990.



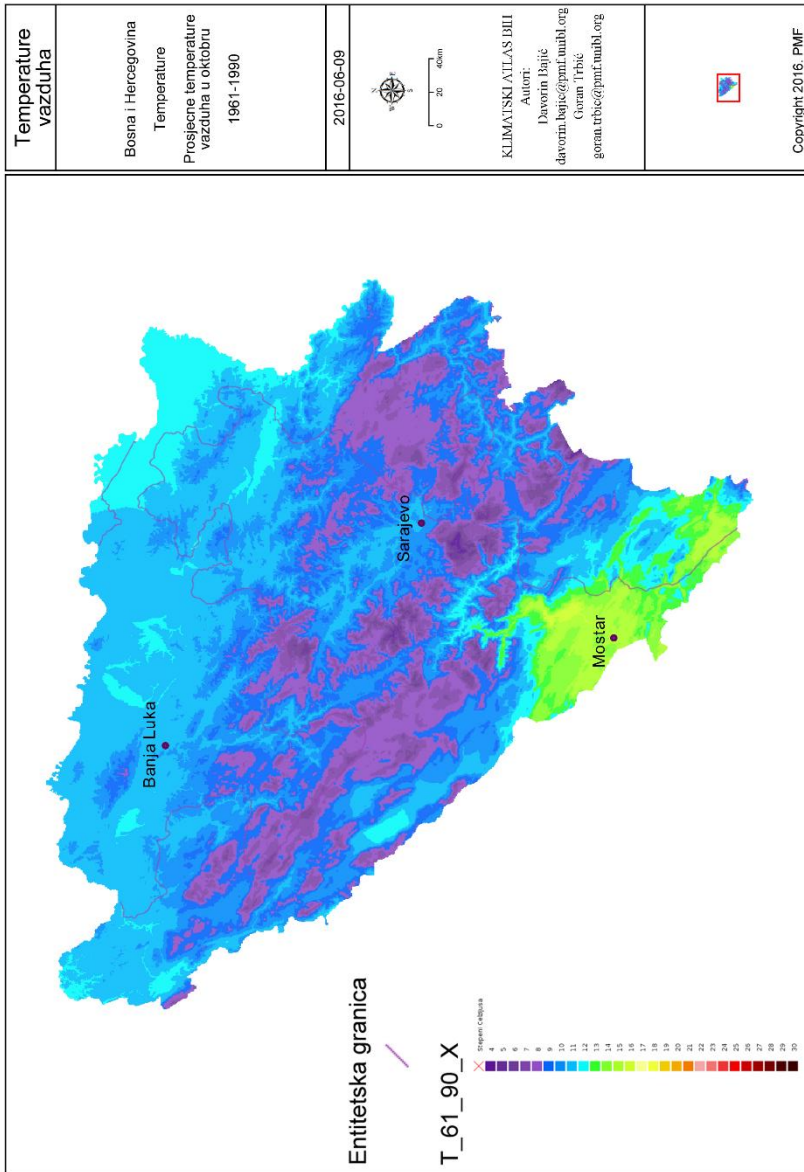
Сл. 15.14. Просјечне температуре ваздуха у августу 1961–1990.
 Fig. 15.14. Average air temperature in August 1961–1990.

38



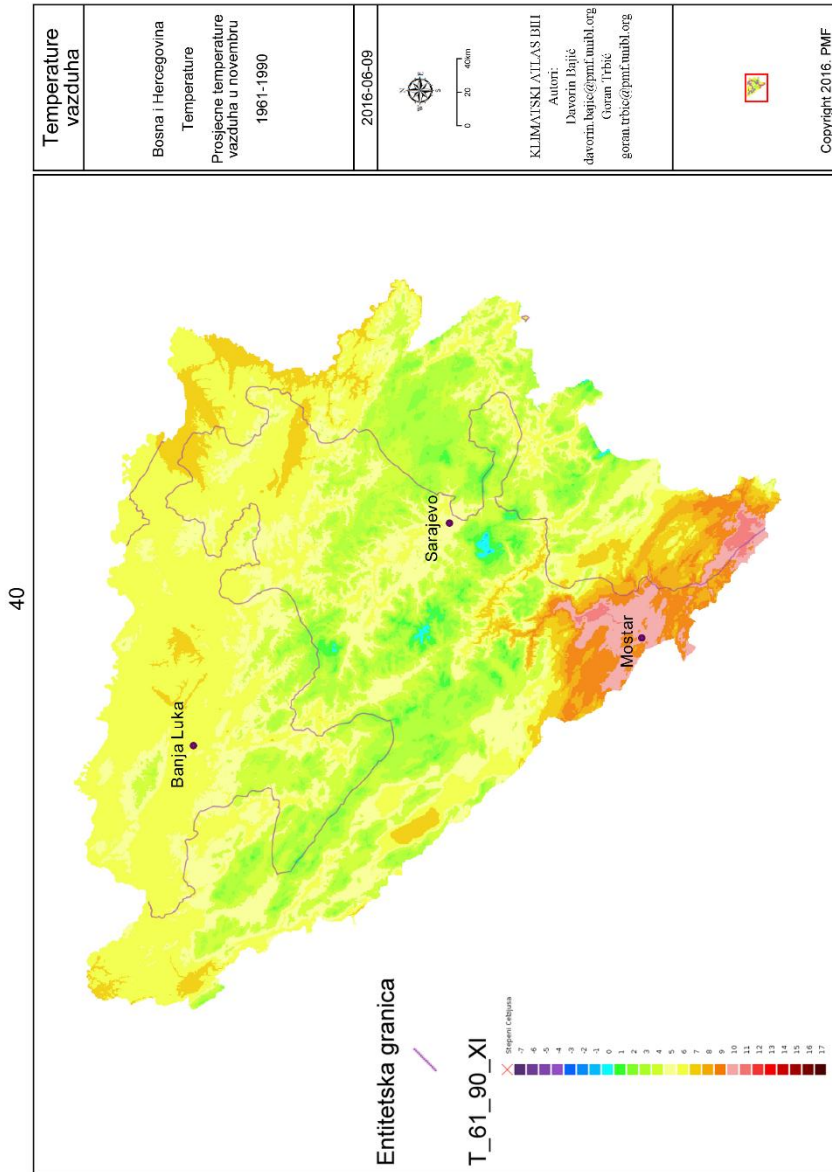
Сл. 15.15. Просјечне темперетуре ваздуха у септембру 1961–1990.
Fig. 15.15. Average air temperature in September 1961–1990.

39



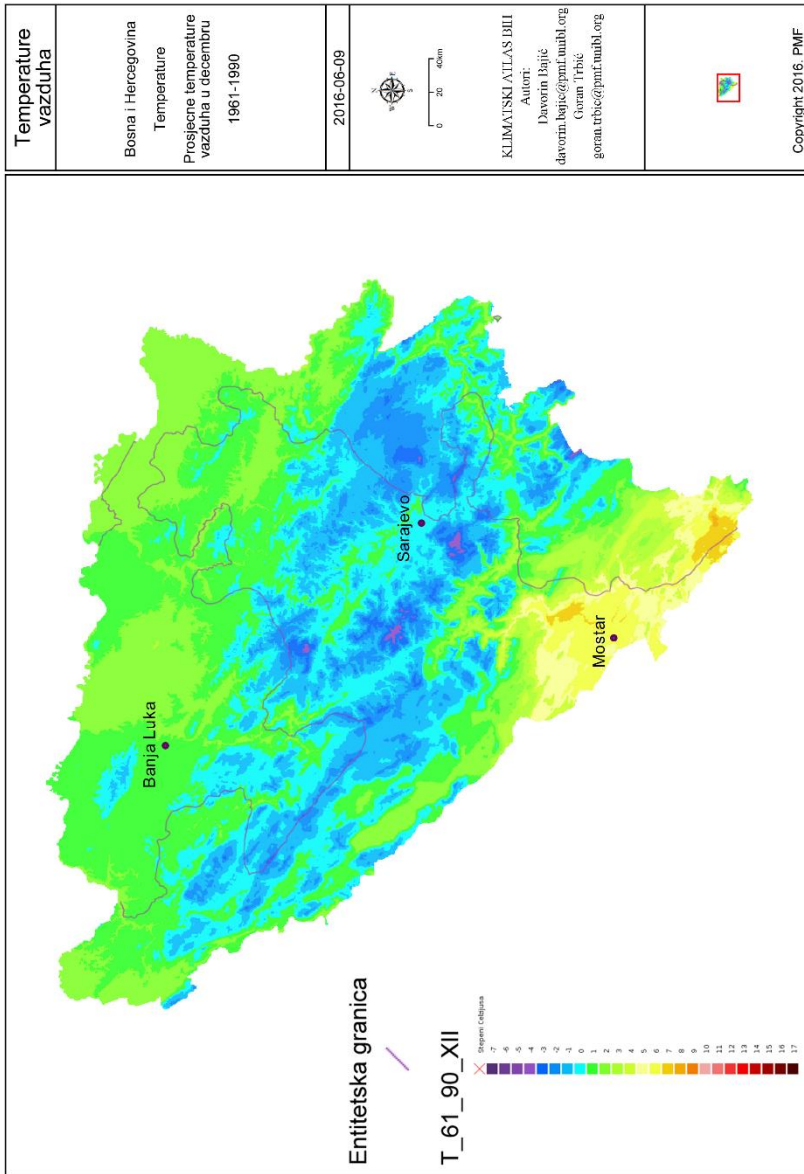
Сл. 15.16. Просјечне температуре ваздуха у октобру 1961–1990.

Fig. 15.16. Average air temperature in October 1961–1990.



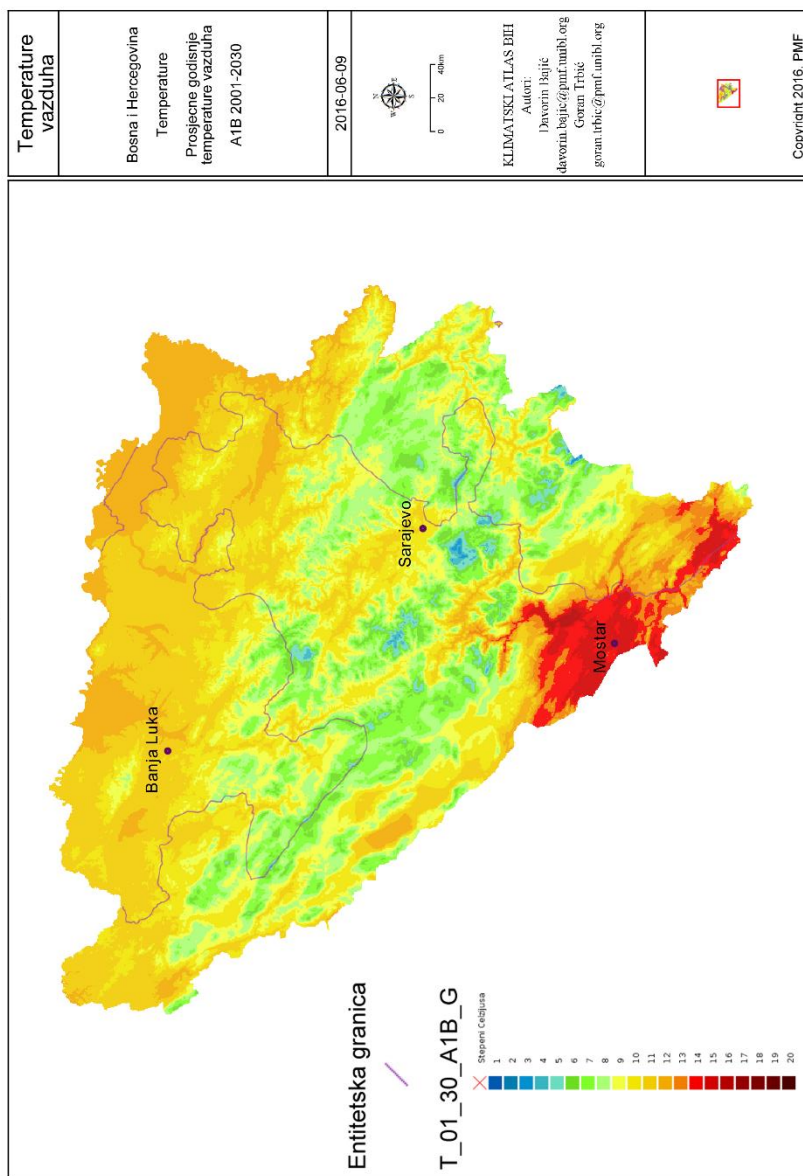
Сл. 15.17. Просјечне темперетуре ваздуха у новембру 1961–1990.
 Fig. 15.17. Average air temperature in November 1961–1990.

41

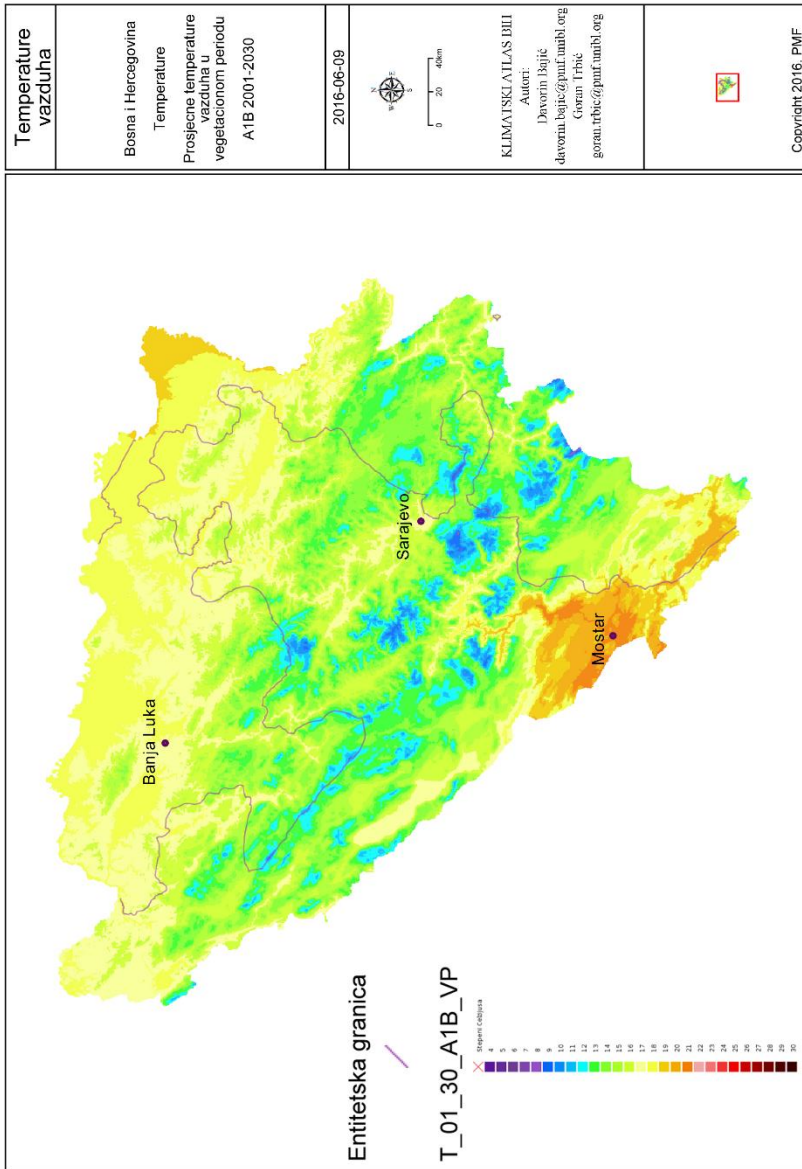


Сл. 15.18. Просјечне температуре ваздуха у децембру 1961–1990.
Fig. 15.18. Average air temperature in December 1961–1990.

42

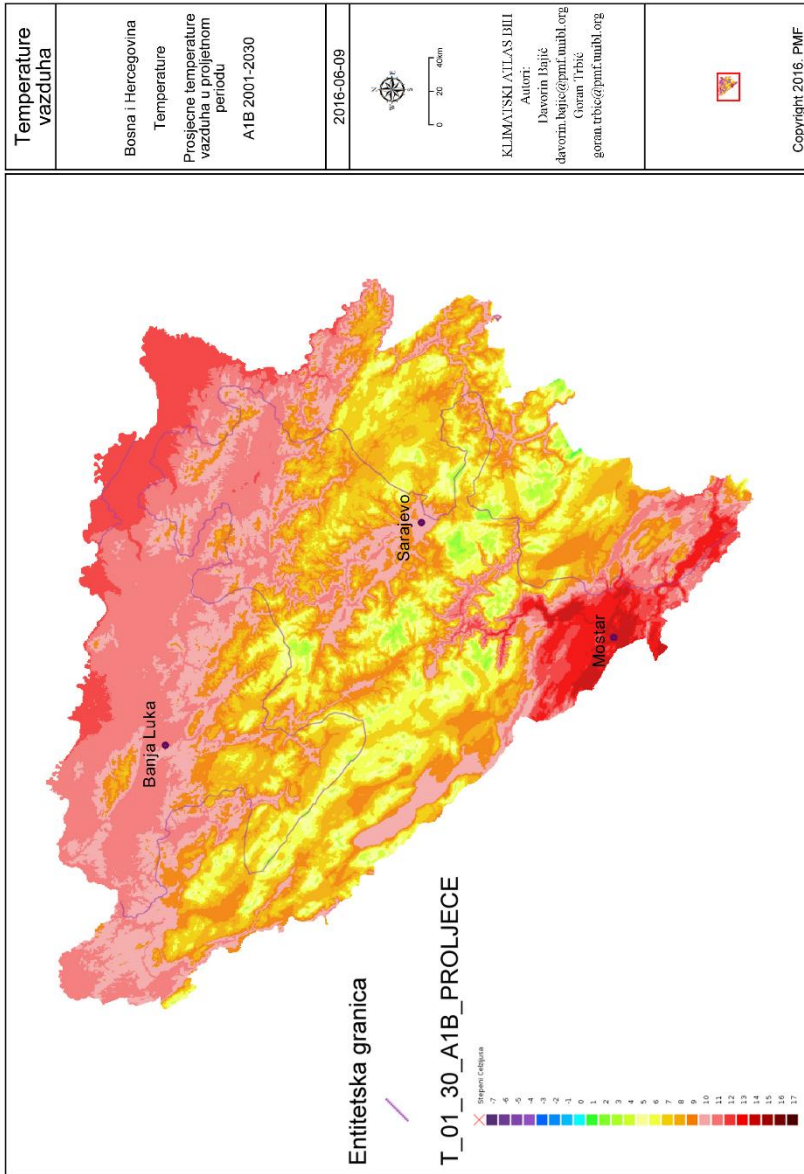


Сл. 15.19. Просјечне годишње температуре ваздуха, сценарио А1В 2001–2030.
Fig. 15.19. Average annual air temperature, scenario A1B 2001–2030.



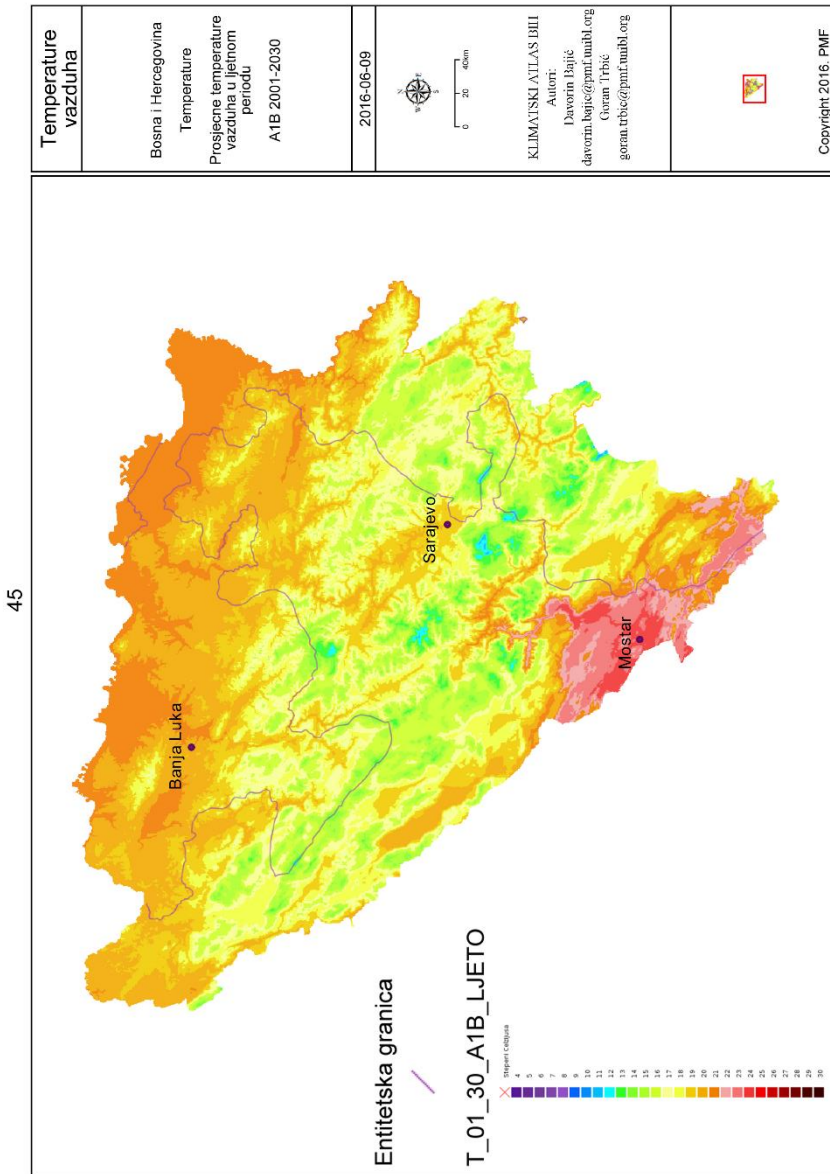
Сл. 15.20. Просјечне температуре ваздуха у вегетационом периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.20. Average air temperature during the growing season, scenario A1B 2001–2030.



Сл. 15.21. Просјечне темперетуре ваздуха у прољетном периоду, сценарио А1В 2001–2030.

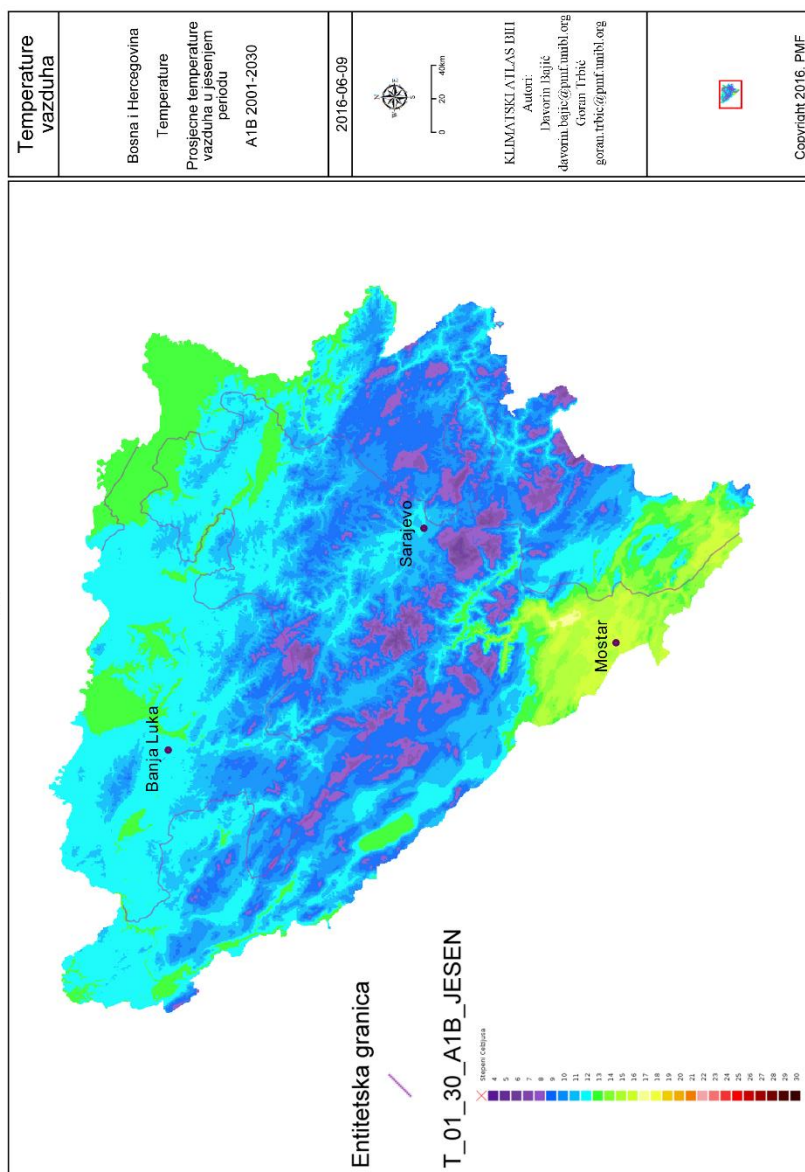
Fig. 15.21. Average air temperature in the spring, scenario A1B 2001–2030.



Сл. 15.22. Просјечне темперетуре ваздуха у љетном периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.22. Average air temperature in the summer, scenario A1B 2001–2030.

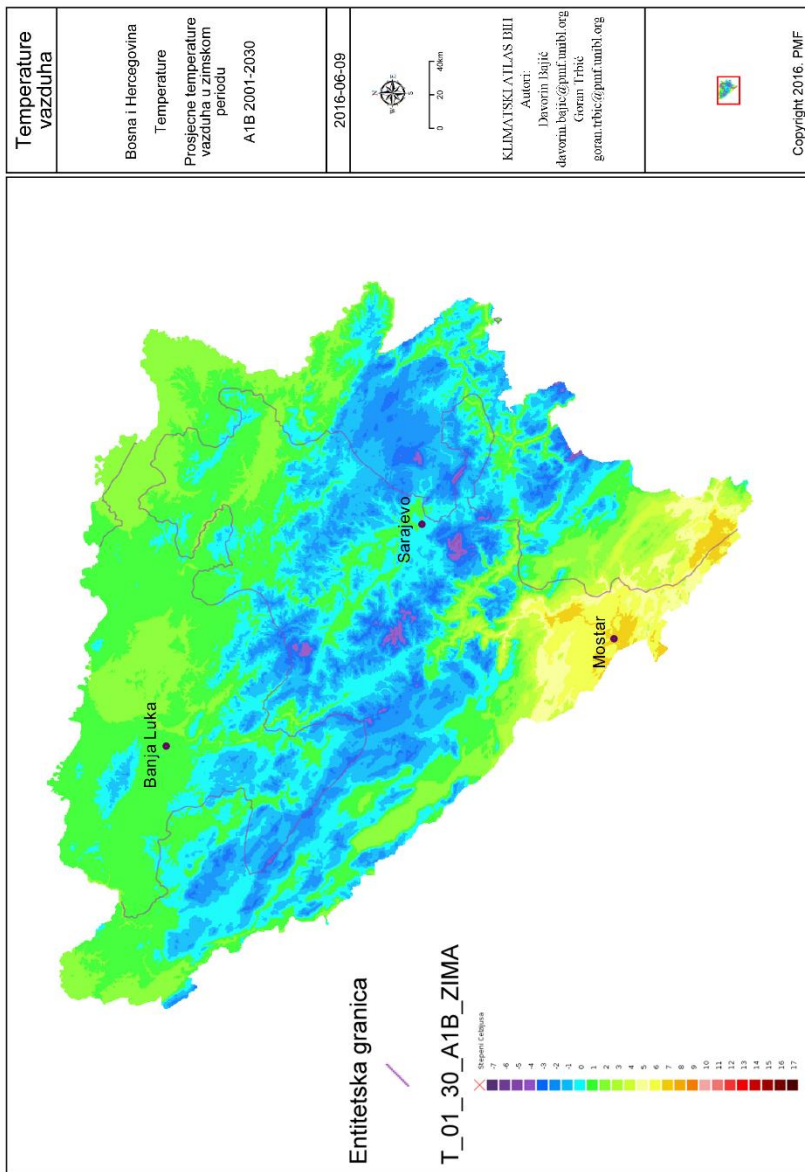
46



Сл. 15.23. Просјечне темперетуре ваздуха у јесењем периоду, сценарио А1В 2001–2030.

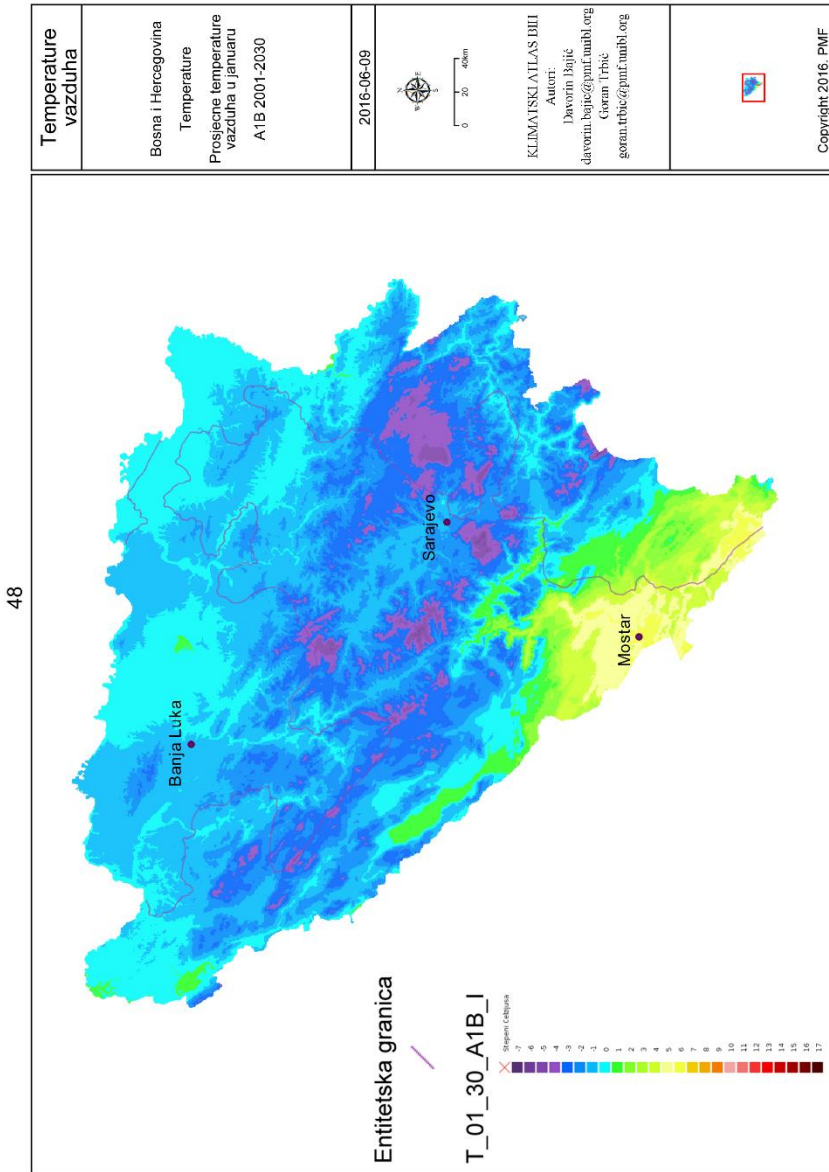
Fig. 15.23. Average air temperature in the autumn, scenario A1B 2001–2030.

47



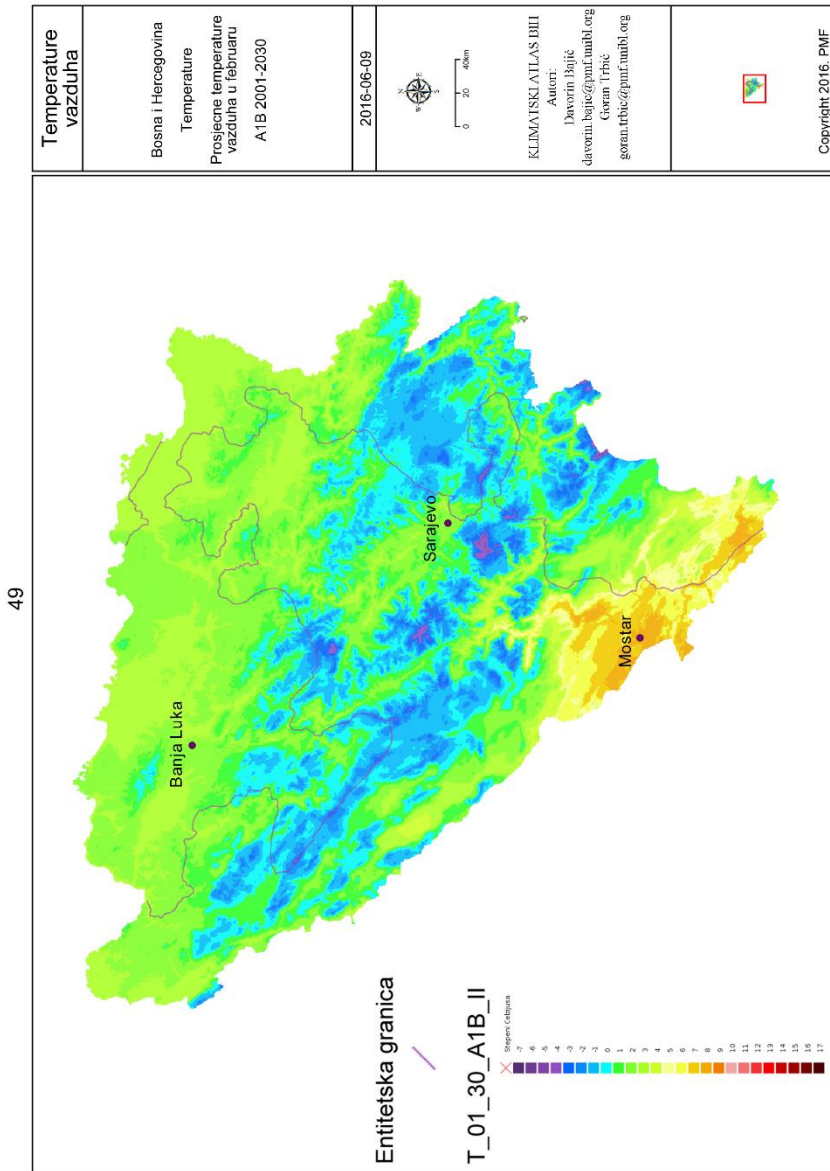
Сл. 15.24. Просјечне температуре ваздуха у зимском периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.24. Average air temperature in the winter, scenario A1B 2001–2030.



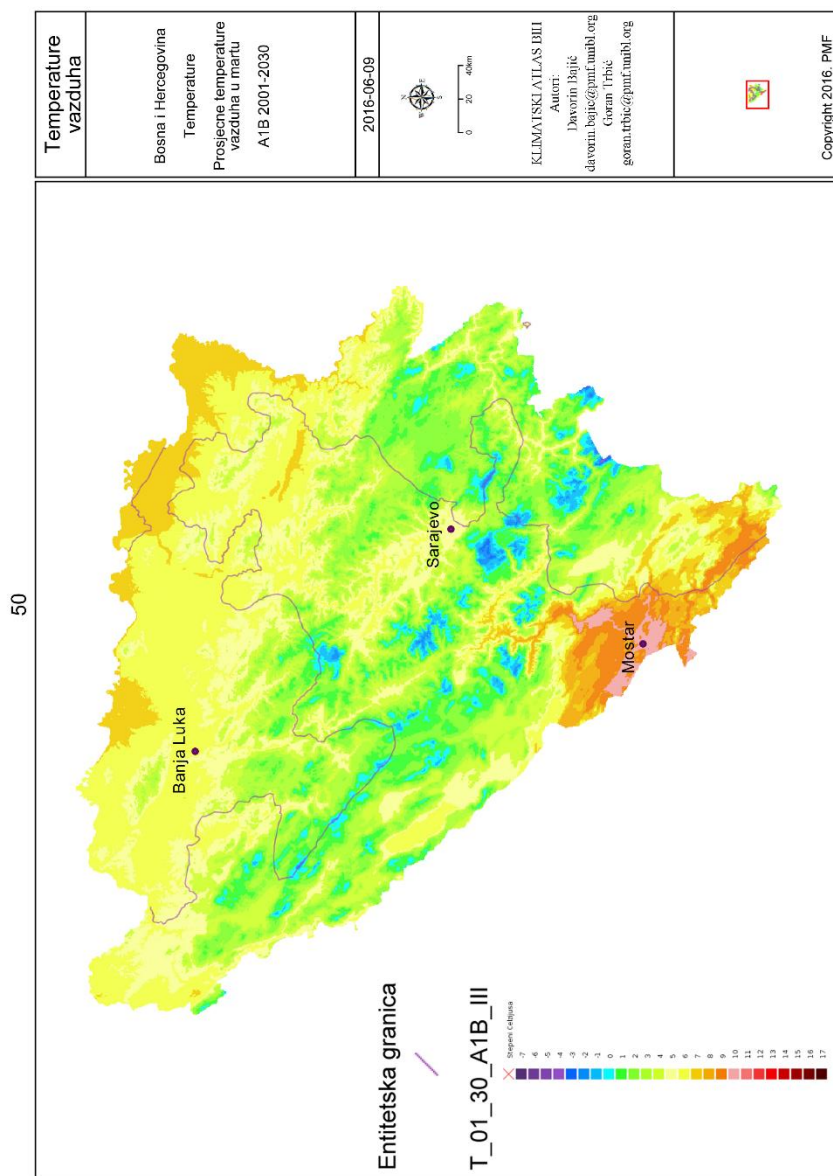
Сл. 15.25. Просјечне темпертуре ваздуха у јануару, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.25. Average air temperature in January, scenario A1B 2001–2030.



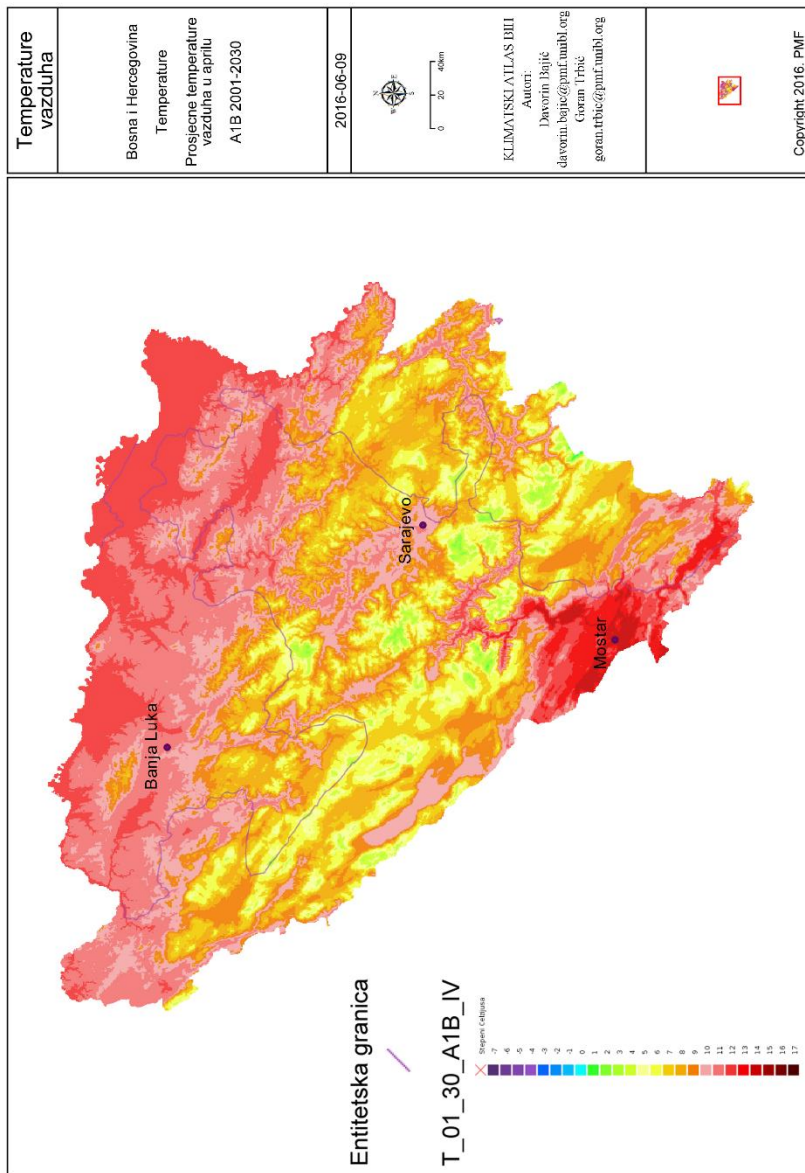
Сл. 15.26. Просјечне температуре ваздуха у фебруару, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.26. Average air temperature in February, scenario A1B 2001–2030.



Сл. 15.27. Просјечне температуре ваздуха у марту, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.27. Average air temperature in March, scenario A1B 2001–2030.

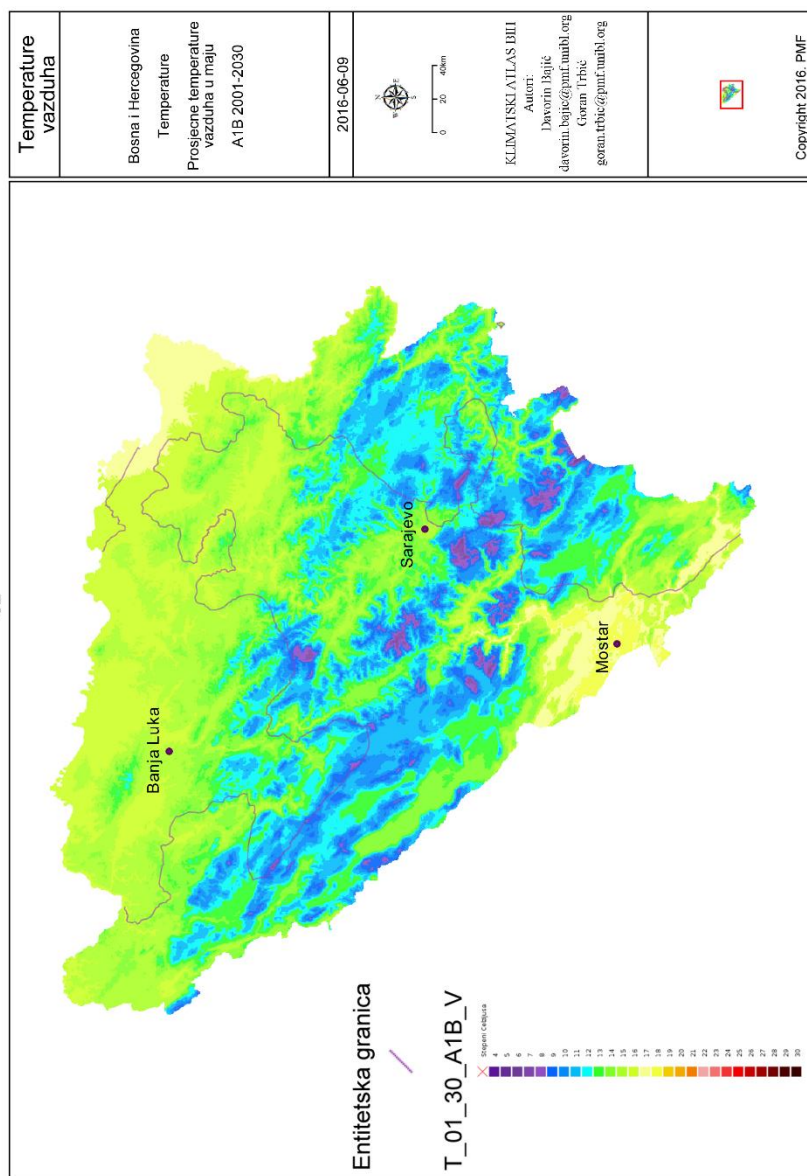
51



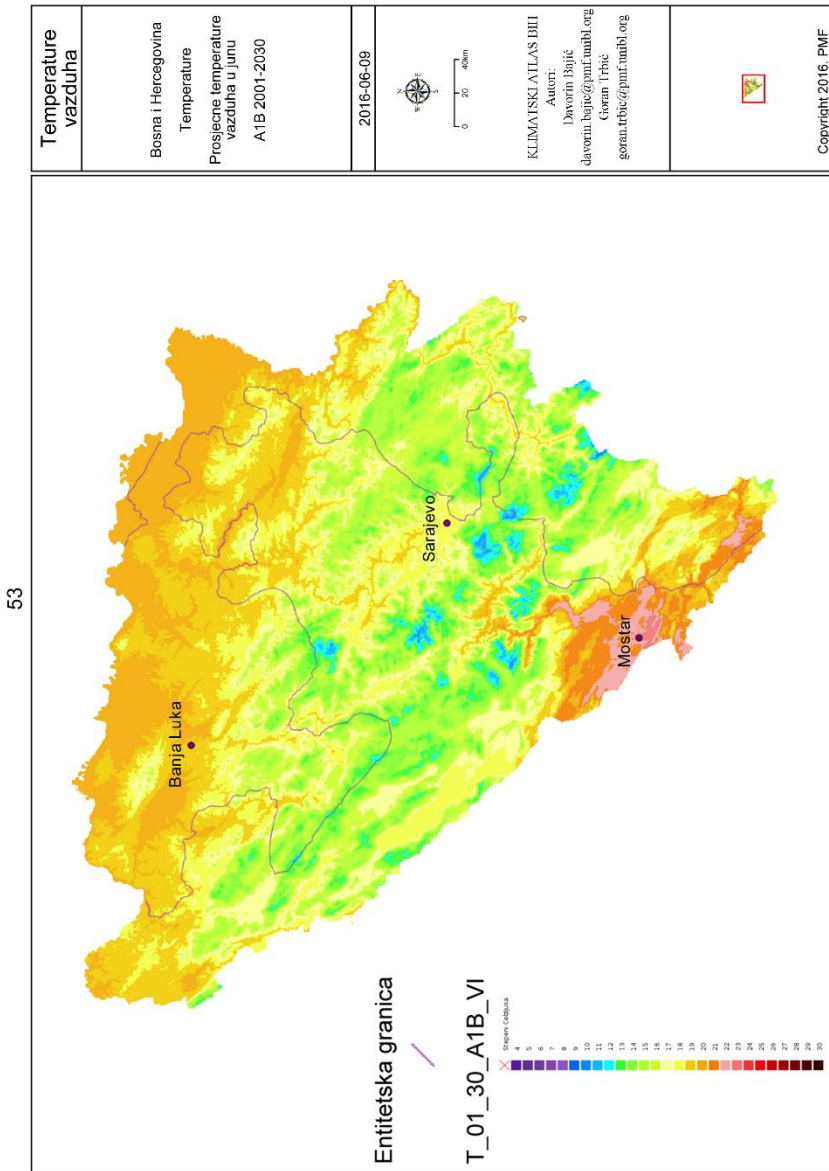
Сл. 15.28. Просјечне температуре ваздуха у априлу, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.28. Average air temperature in April, scenario A1B 2001–2030.

52

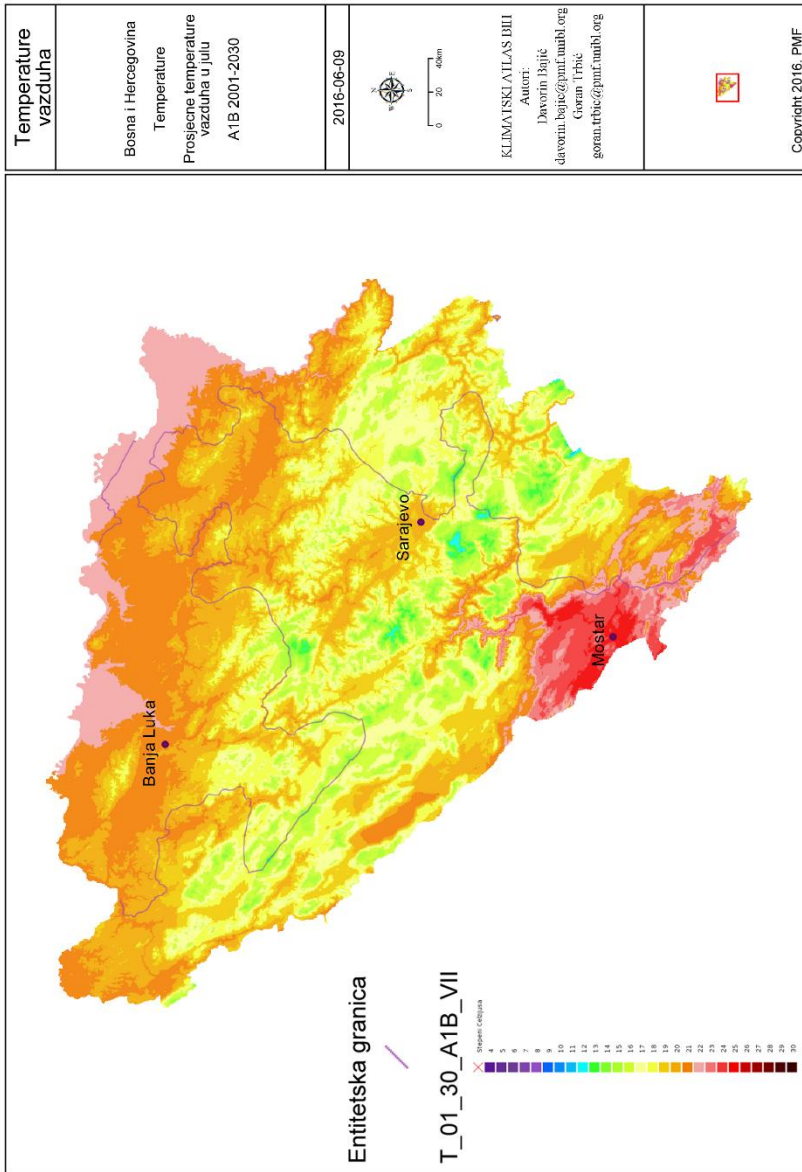


Сл. 15.29. Просјечне температуре ваздуха у мају, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.29. Average air temperature in May, scenario A1B 2001–2030.

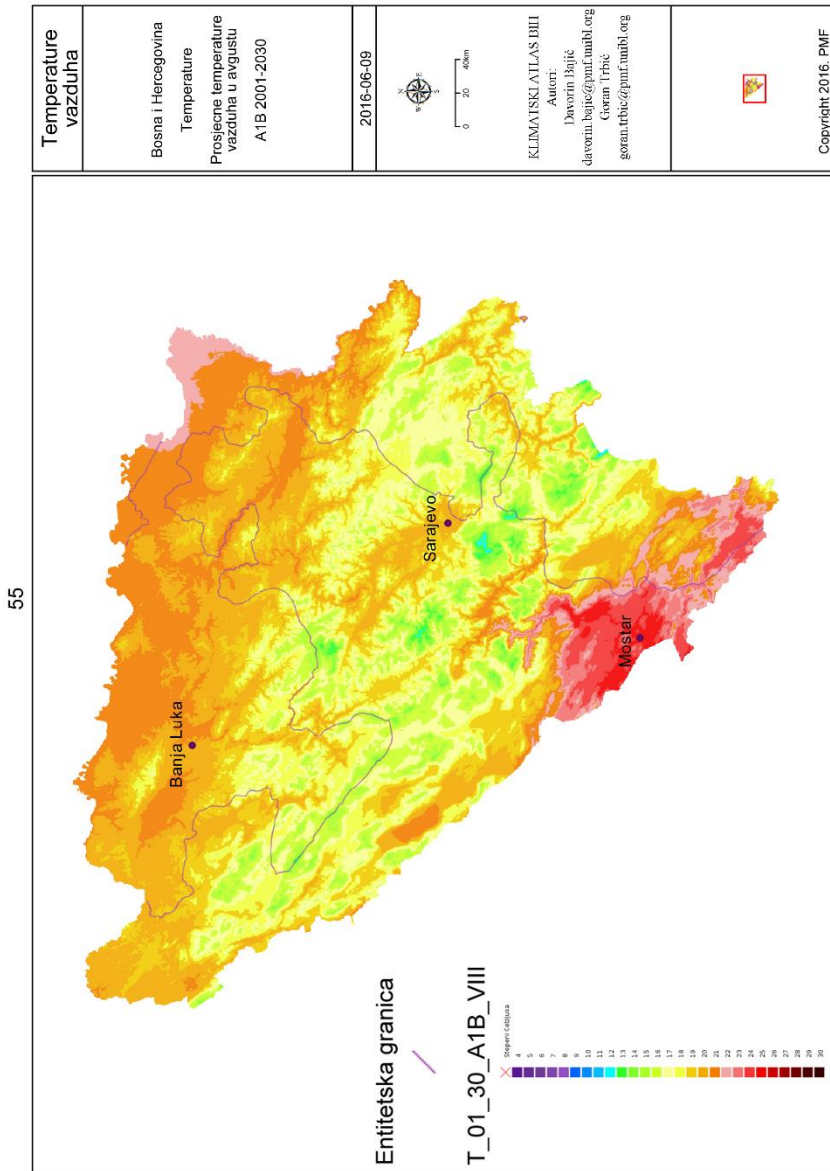


Сл. 15.30. Просјечне температуре ваздуха у јуну, сценарио А1В 2001–2030.
Fig. 15.30. Average air temperature in June, scenario A1B 2001–2030.

54



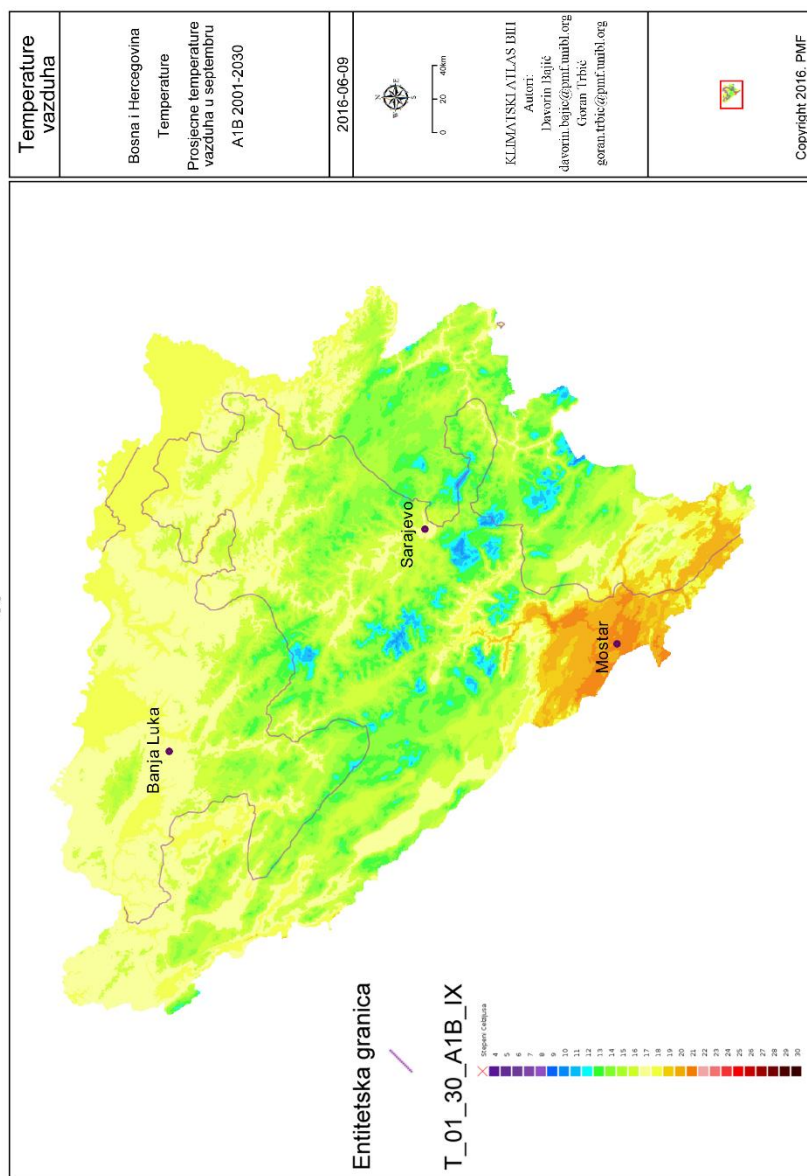
Сл. 15.31. Просјечне температуре ваздуха у јулу, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.31. Average air temperature in July, scenario A1B 2001–2030.



Сл. 15.32. Просјечне температуре ваздуха у августу, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.32. Average air temperature in August, scenario A1B 2001–2030.

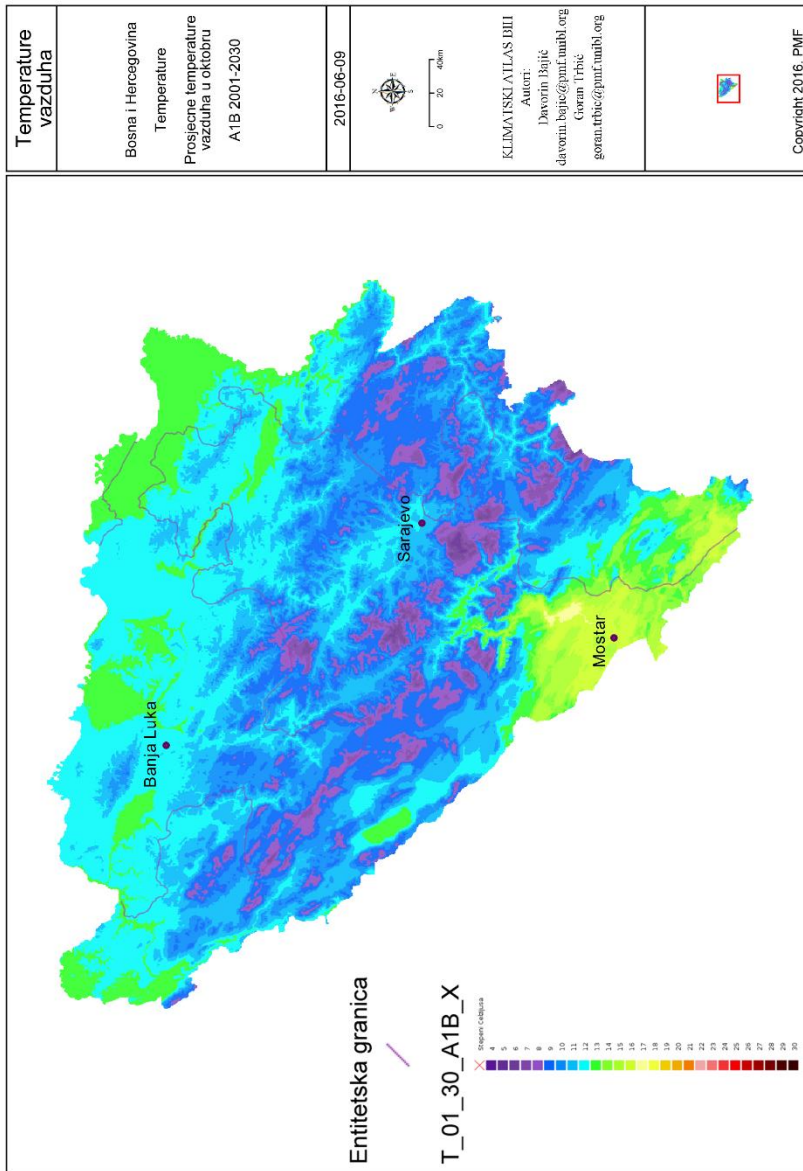
56



Сл. 15.33. Просјечне темперетуре ваздуха у септембру, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.33. Average air temperature in September, scenario A1B 2001–2030.

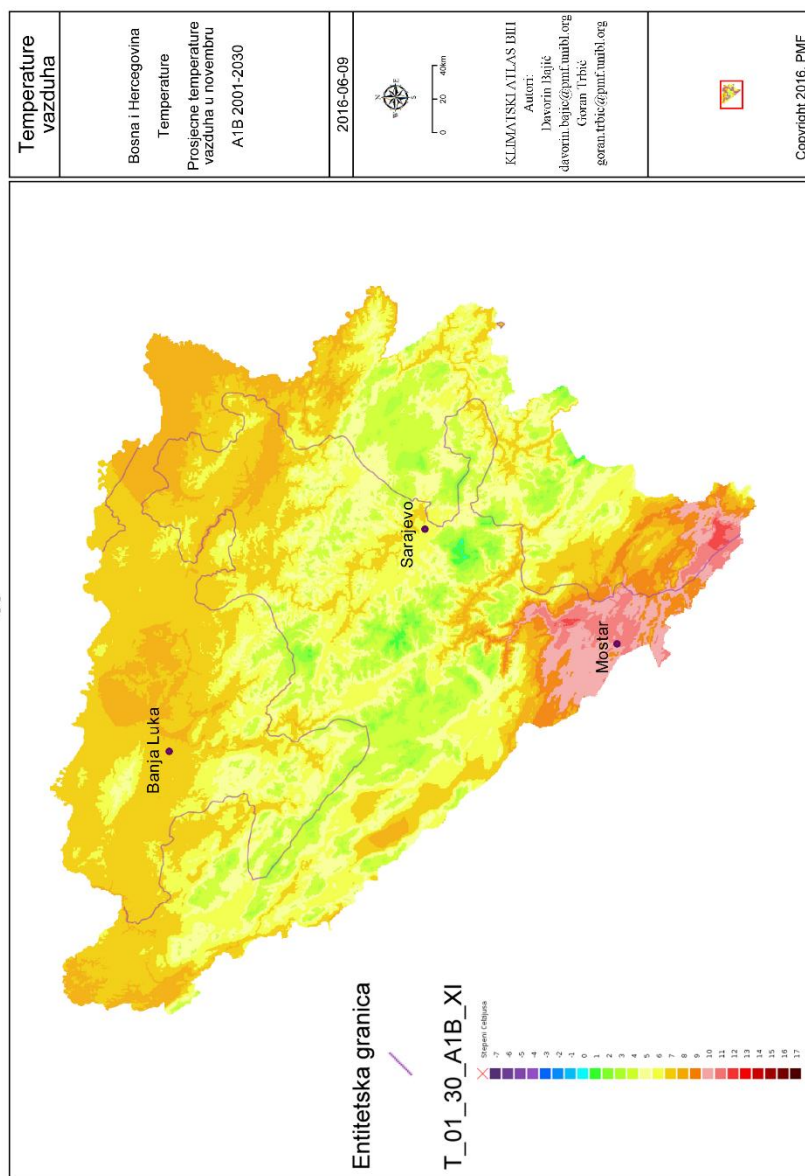
57



Сл. 15.34. Просјечне температуре ваздуха у октобру, сценарио А1В 2001–2030.

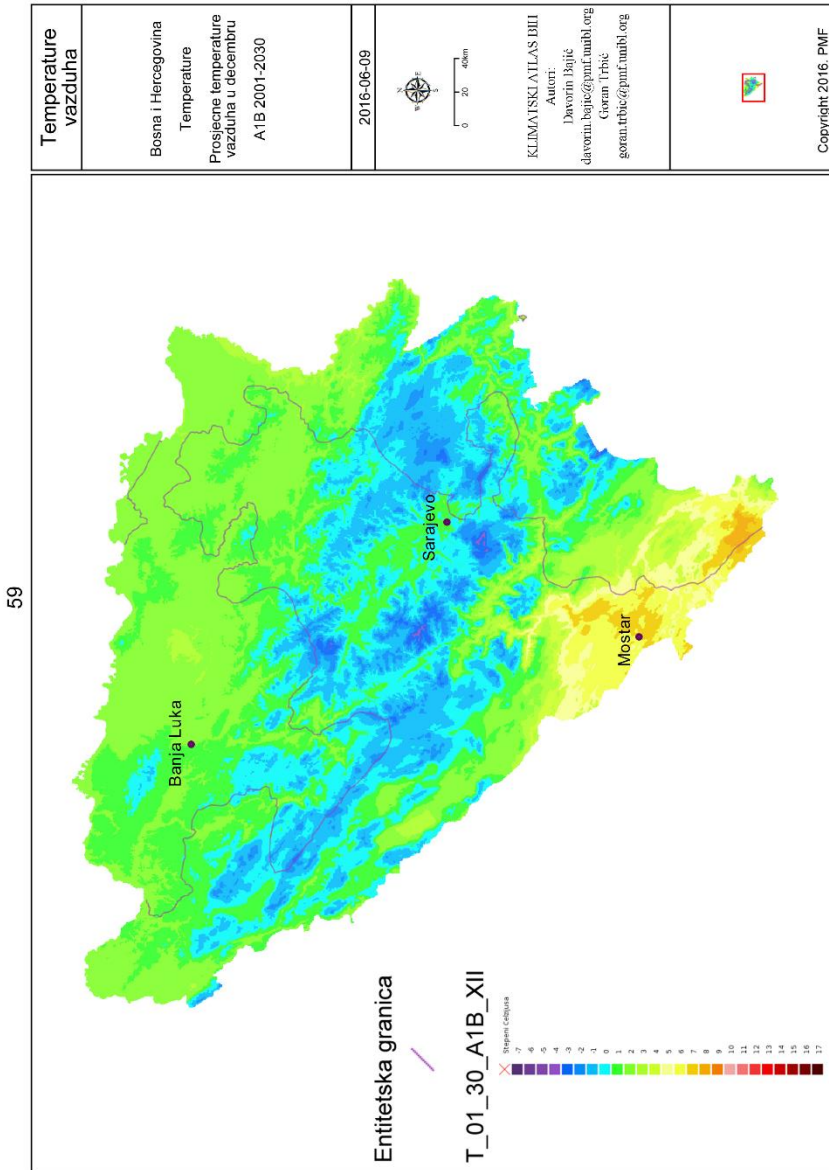
Fig. 15.34. Average air temperature in October, scenario A1B 2001–2030.

58



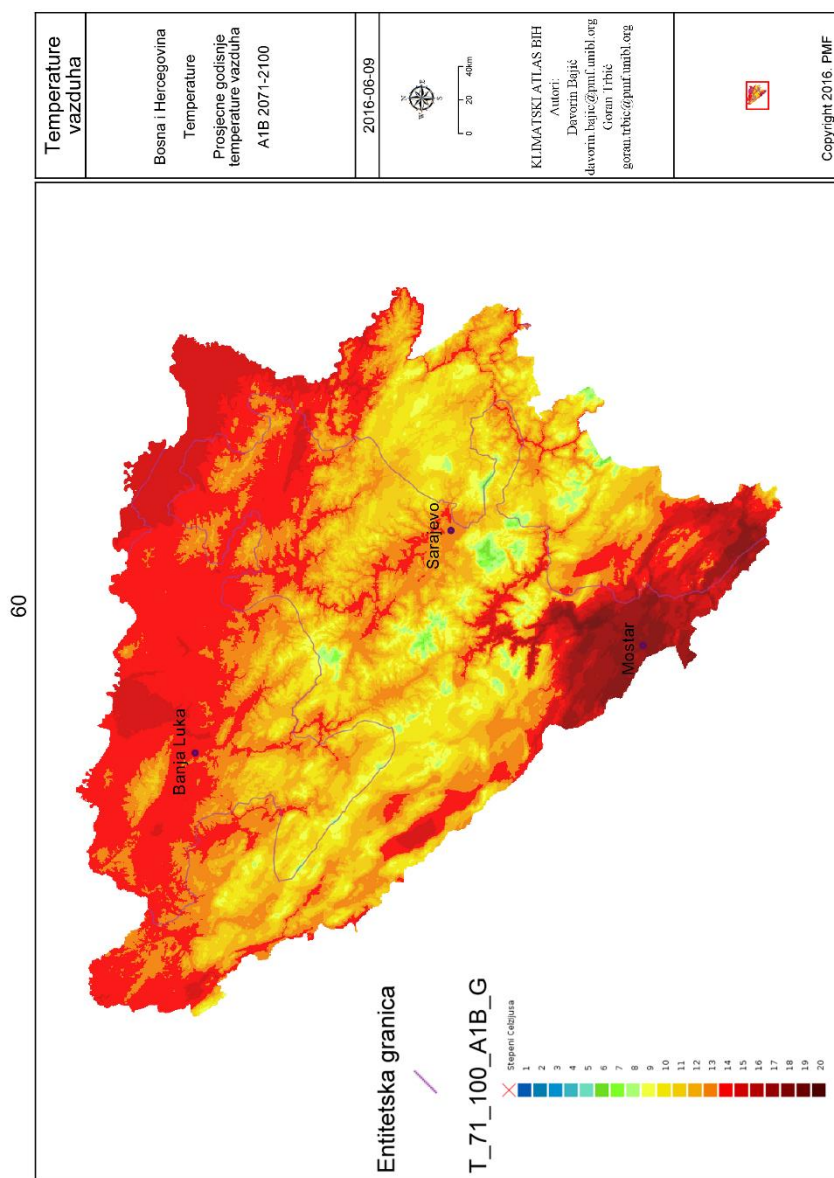
Сл. 15.35. Просјечне температуре ваздуха у новембру, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.35. Average air temperature in November, scenario A1B 2001–2030.



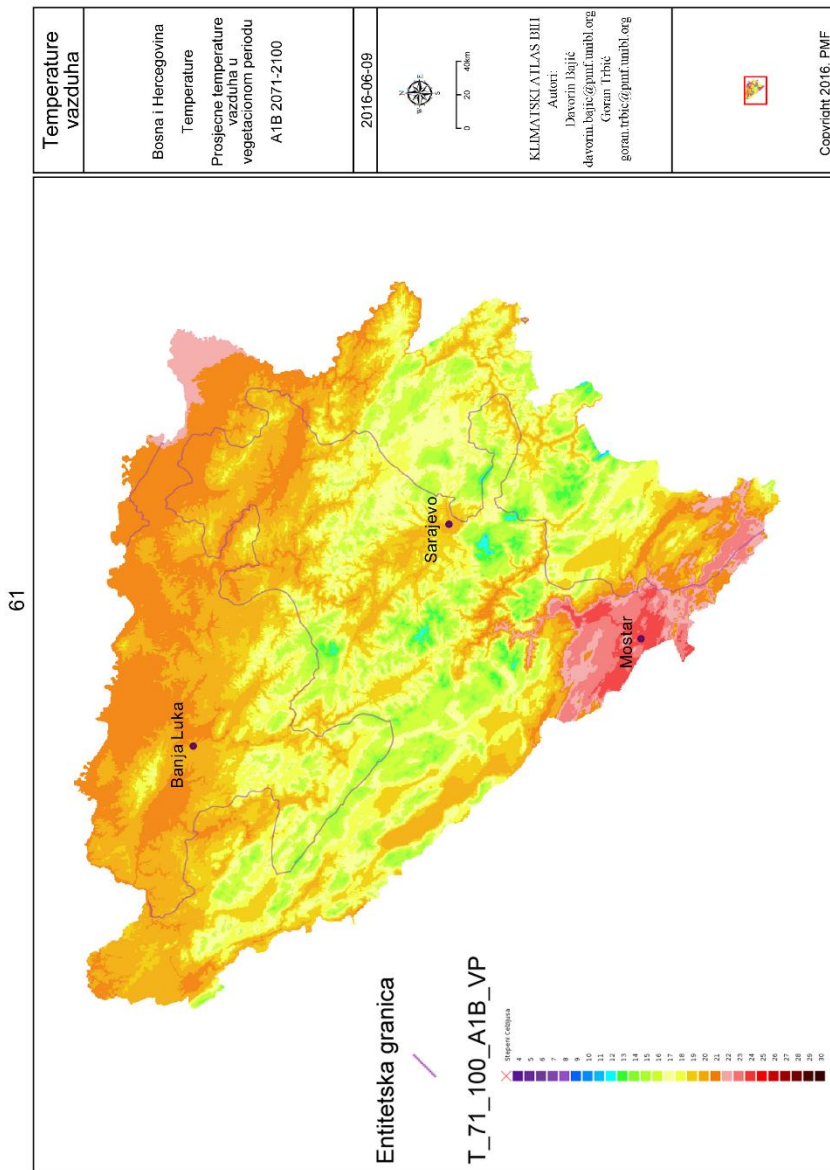
Сл. 15.36. Просјечне температуре ваздуха у децембру, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.36. Average air temperature in December, scenario A1B 2001–2030.



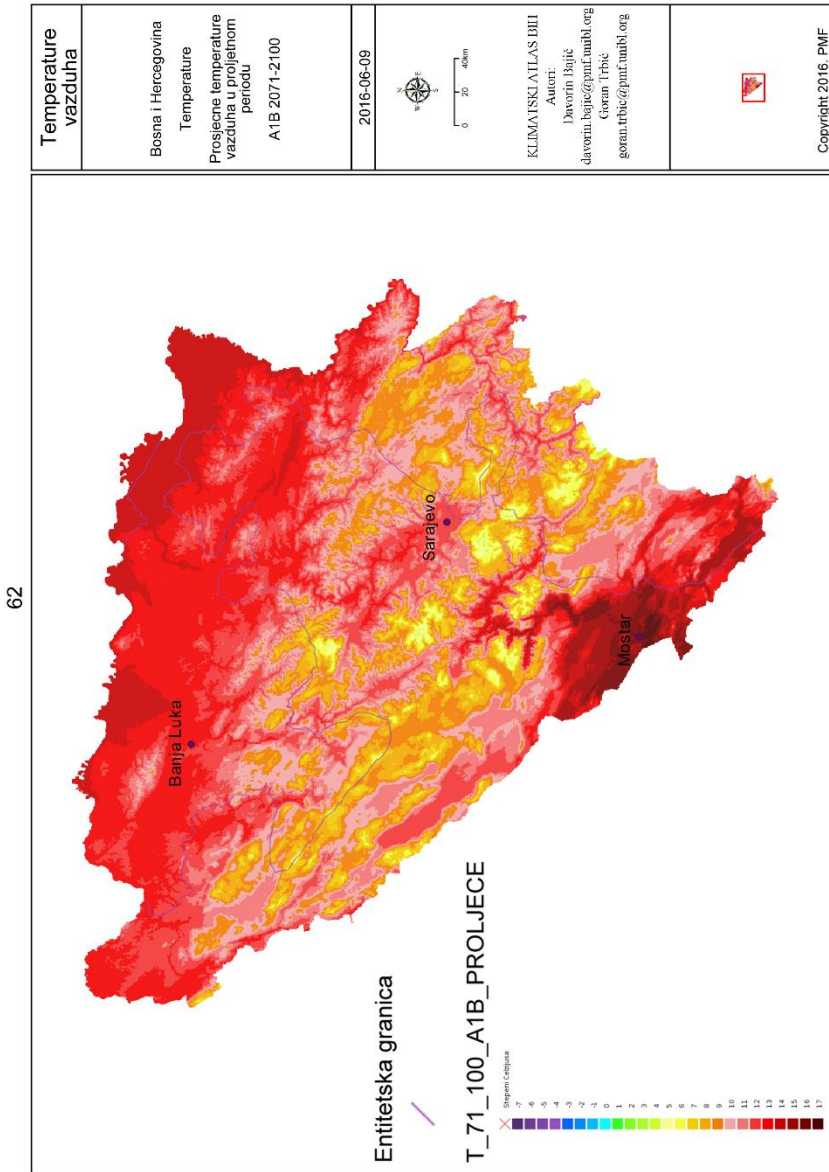
Сл. 15.37. Просјечне годишње температуре ваздуха, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.37. Average annual air temperature, scenario A1B 2071–2100.



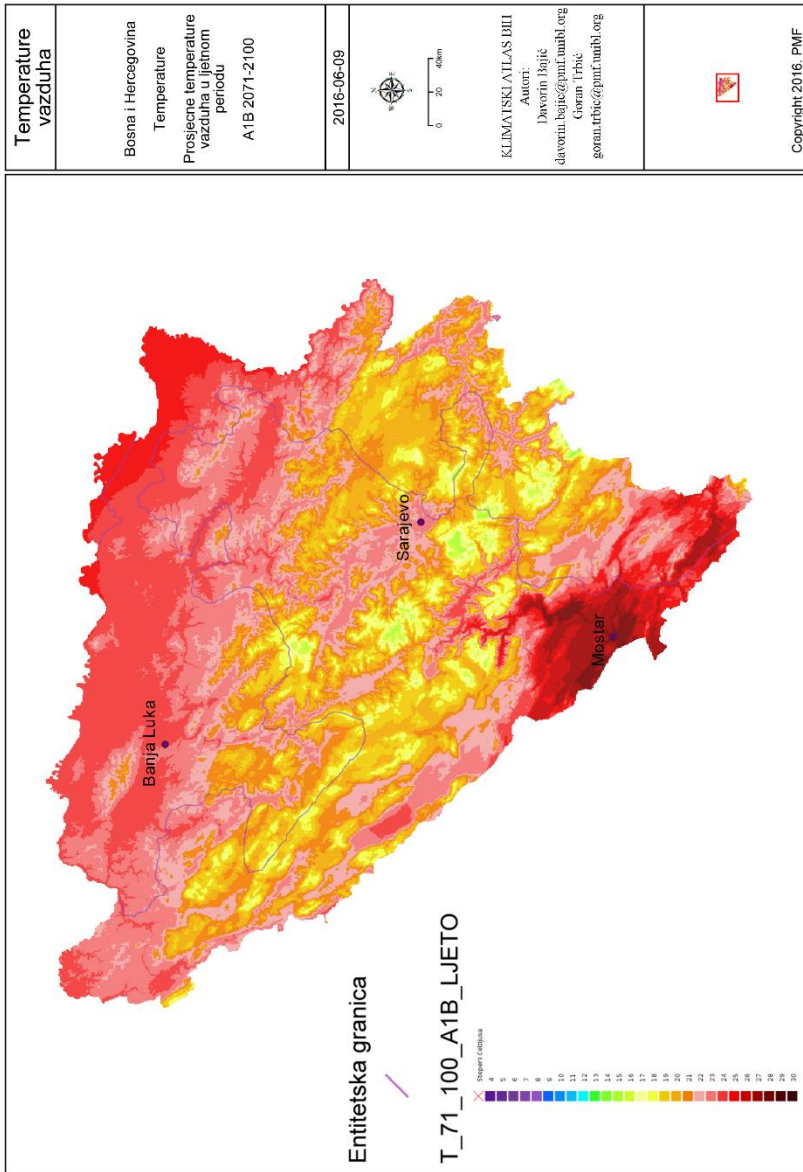
Сл. 15.38. Просјечне температуре ваздуха у вегетационом периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.38. Average air temperature during the growing season, scenario A1B 2071–2100.



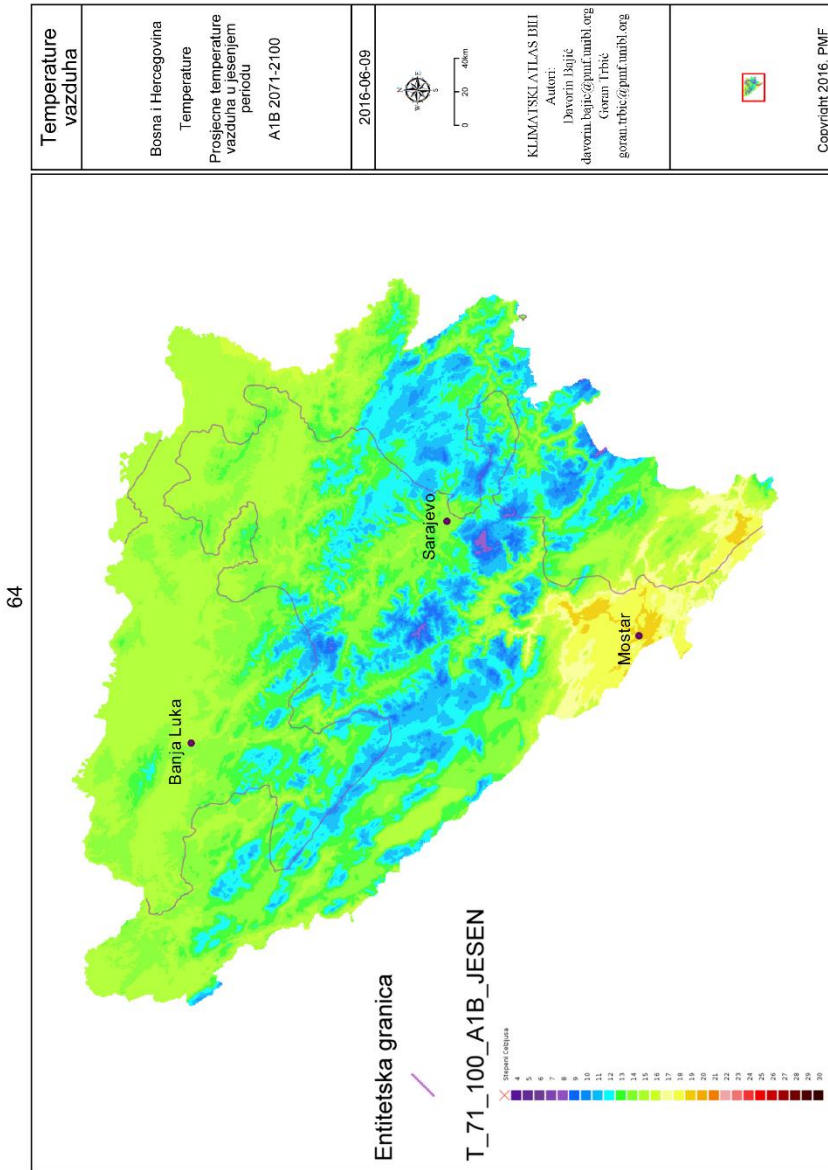
Сл. 15.39. Просјечне темперетуре ваздуха у прољетном периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.39. Average air temperature in the spring, scenario A1B 2071–2100.



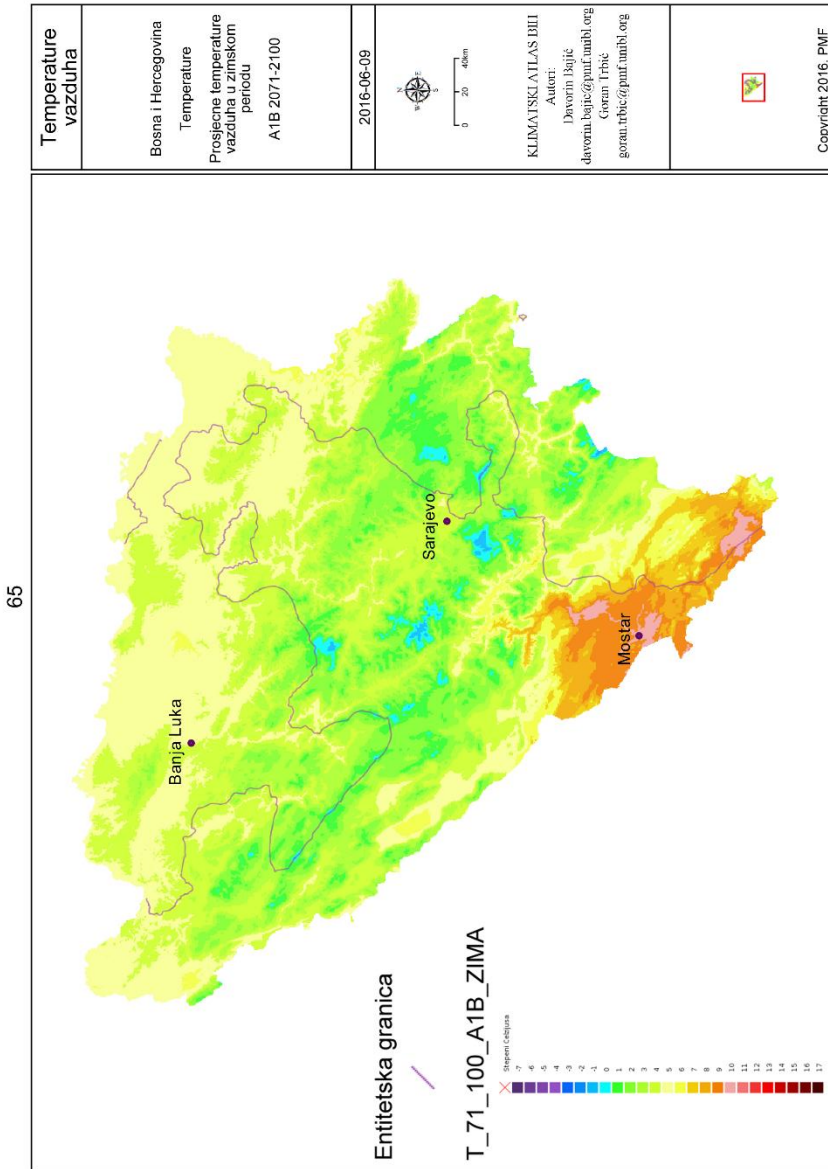
Сл. 15.40. Просјечне температуре ваздуха у љетном периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.40. Average air temperature in the summer, scenario A1B 2071–2100.



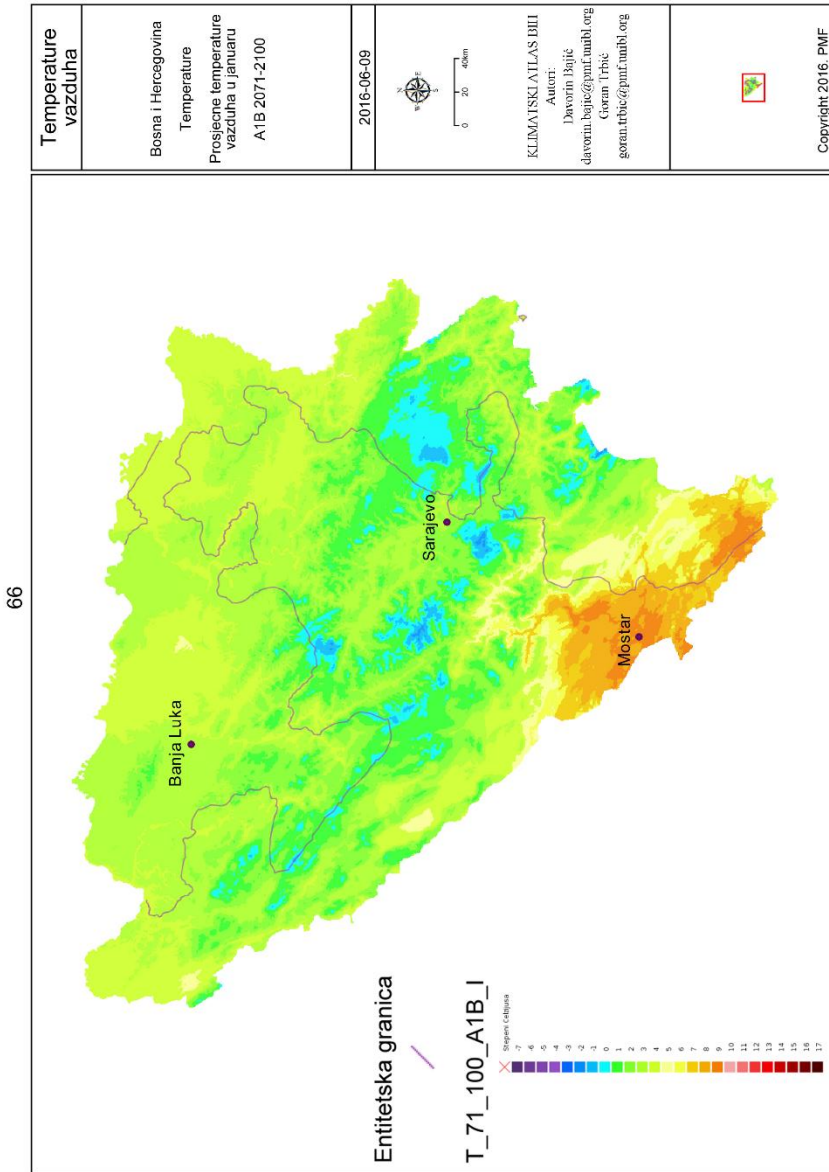
Сл. 15.41. Просјечне температуре ваздуха у јесењем периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.41. Average air temperature in the autumn, scenario A1B 2071–2100.



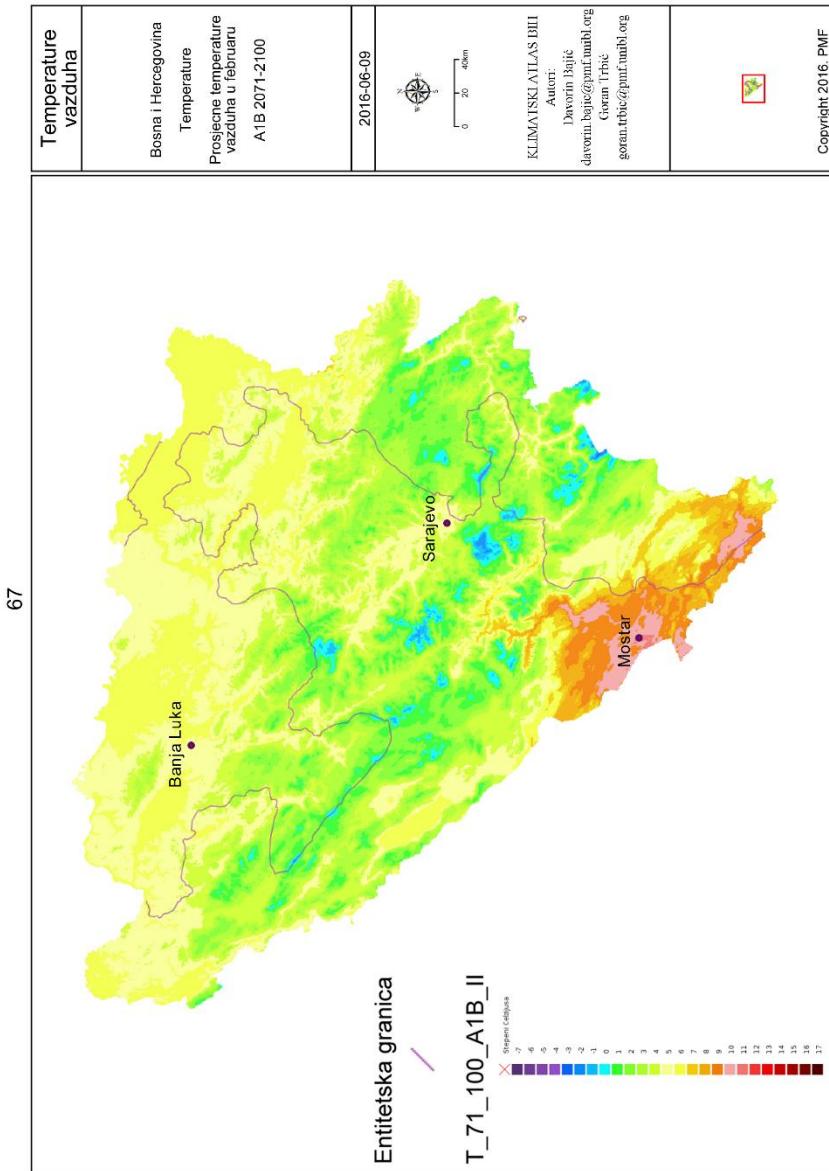
Сл. 15.42. Просјечне температуре ваздуха у зимском периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.42. Average air temperature in the winter, scenario A1B 2071–2100.



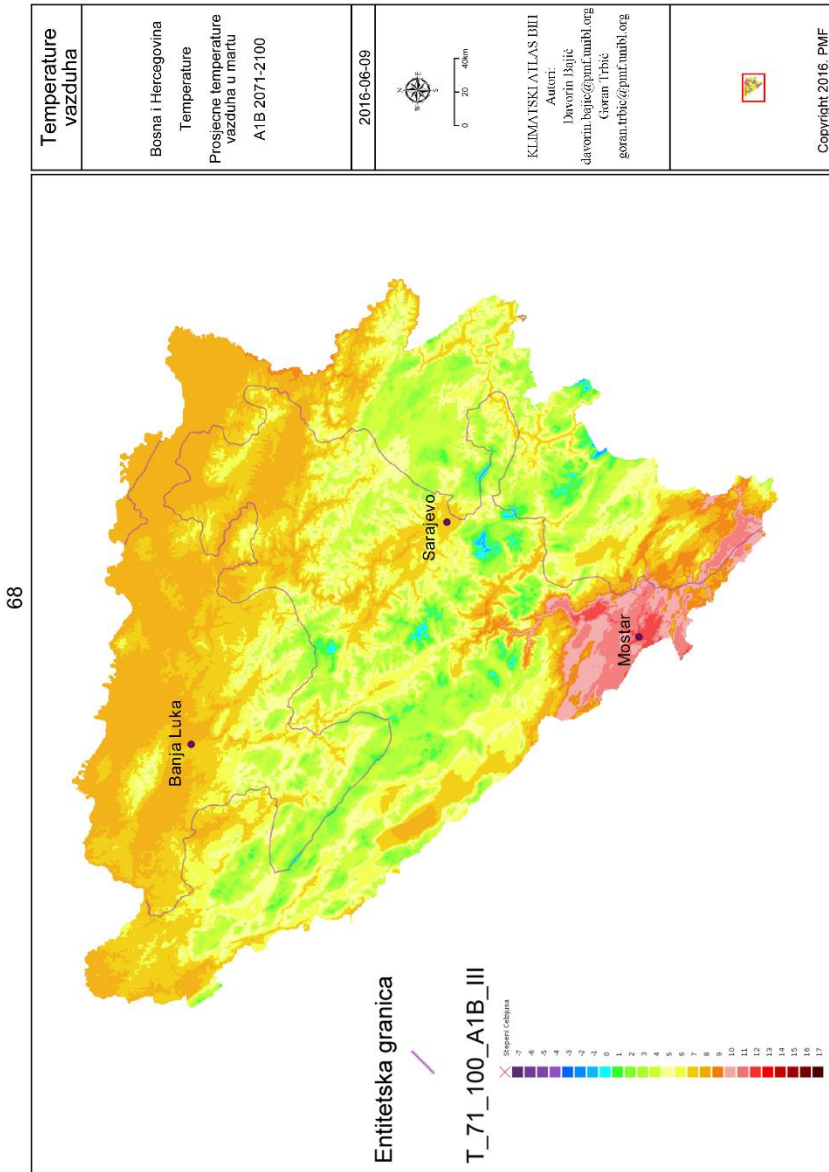
Сл. 15.43. Просјечне темперетуре ваздуха у јануару, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.43. Average air temperature in January, scenario A1B 2071–2100.

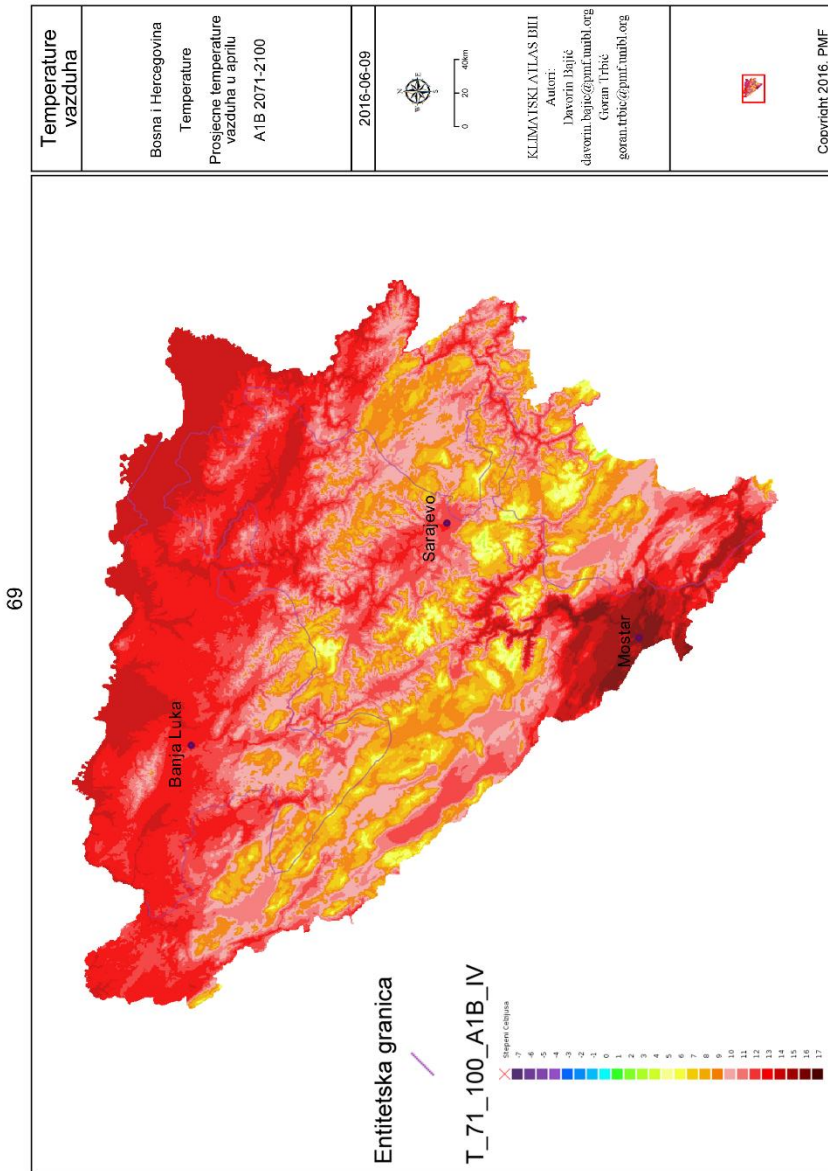


Сл. 15.44. Просјечне температуре ваздуха у фебруару, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.44. Average air temperature in February, scenario A1B 2071–2100.

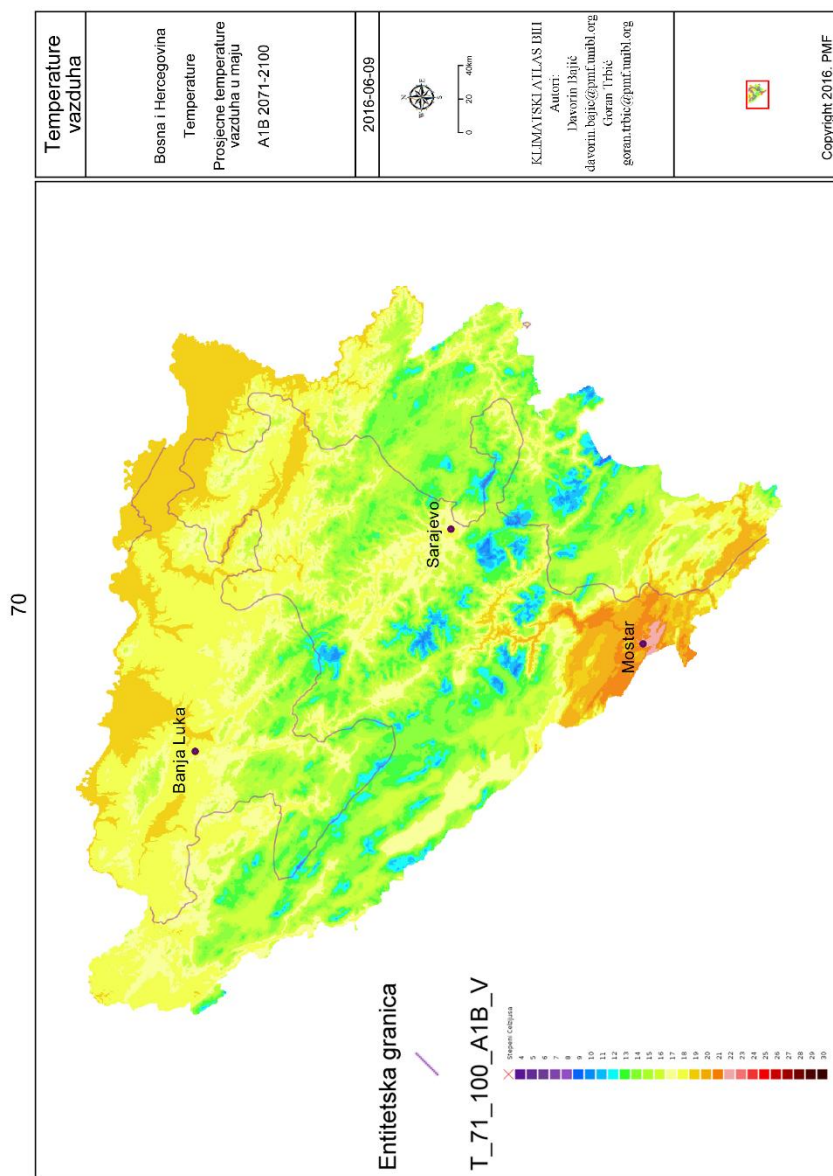


Сл. 15.45. Просјечне температуре ваздуха у марту, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.45. Average air temperature in March, scenario A1B 2071–2100.



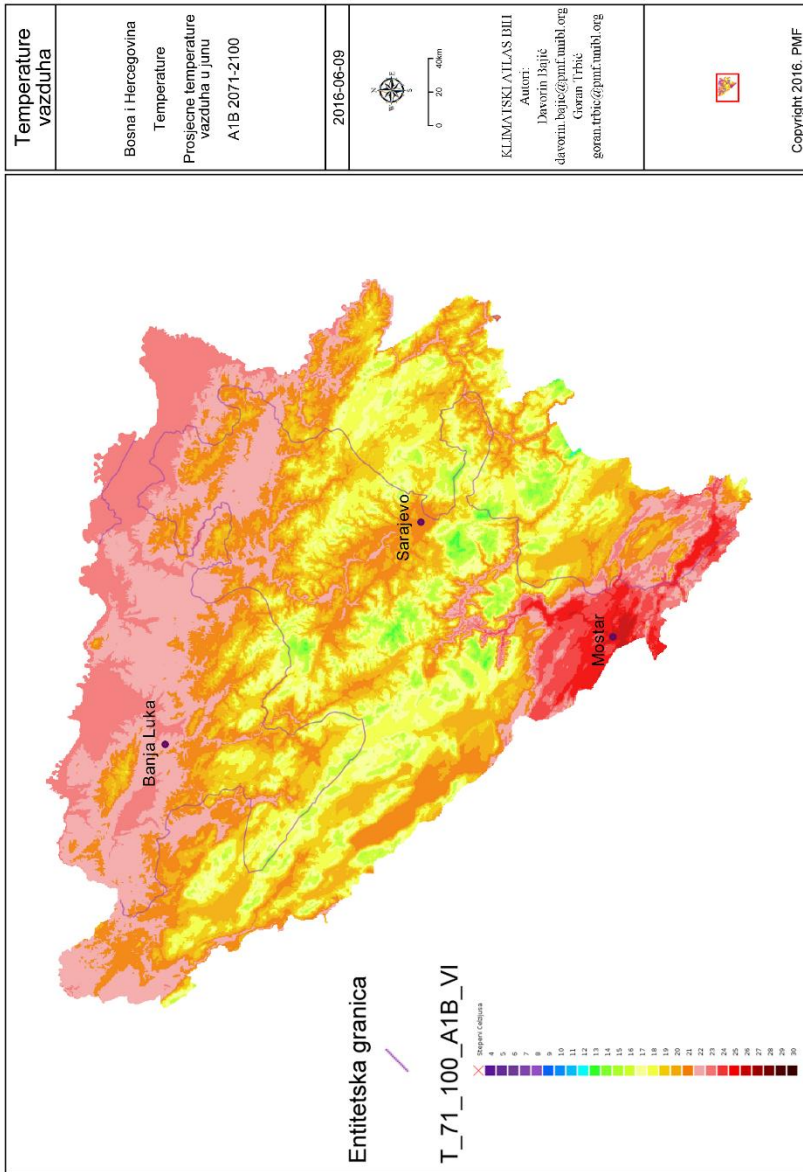
Сл. 15.46. Просјечне температуре ваздуха у априлу, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.46. Average air temperature in April, scenario A1B 2071–2100.

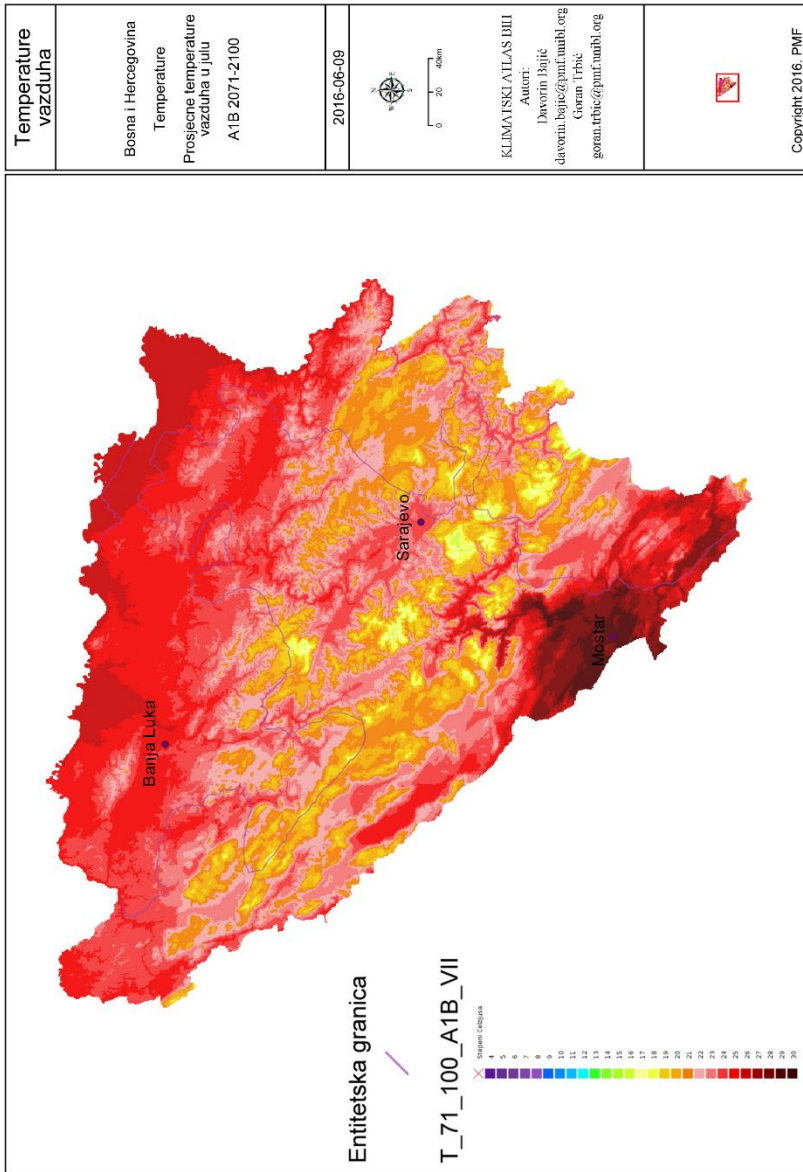


Сл. 15.47. Просјечне температуре ваздуха у мају, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.47. Average air temperature in May, scenario A1B 2071–2100.

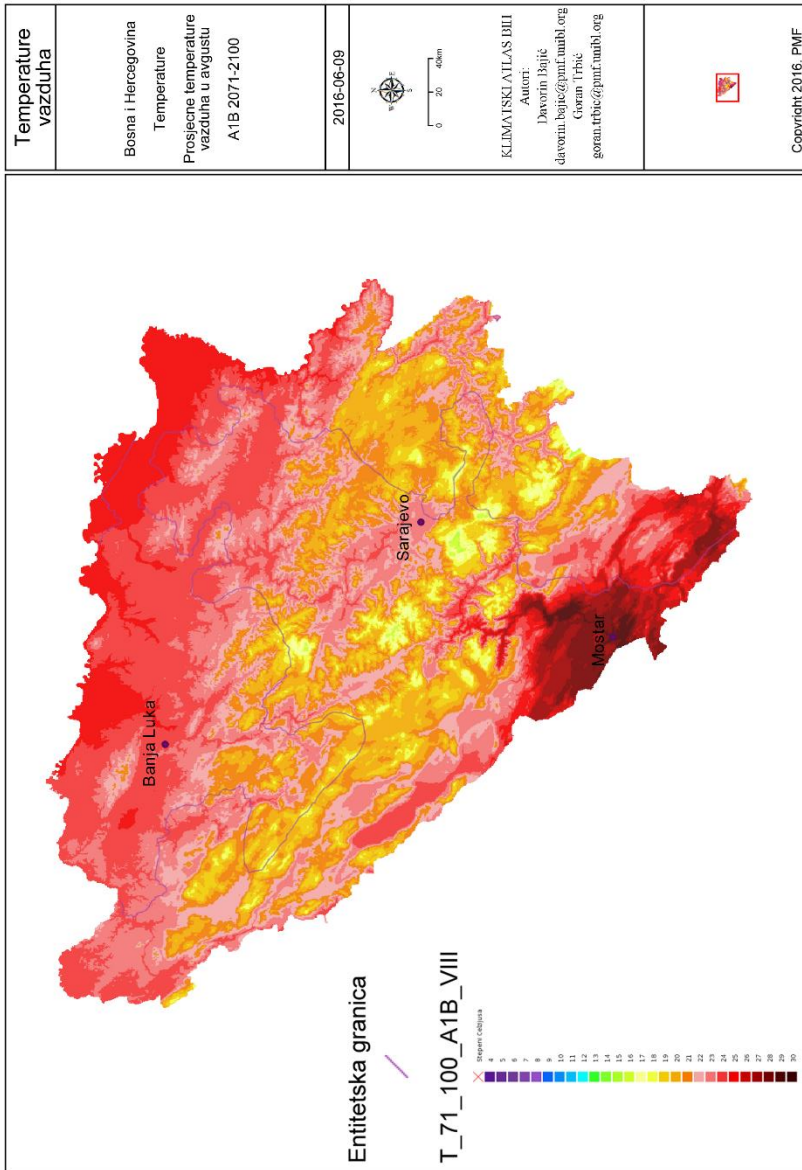
71



Сл. 15.48. Просјечне температуре ваздуха у јуну, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.48. Average air temperature in June, scenario A1B 2071–2100.



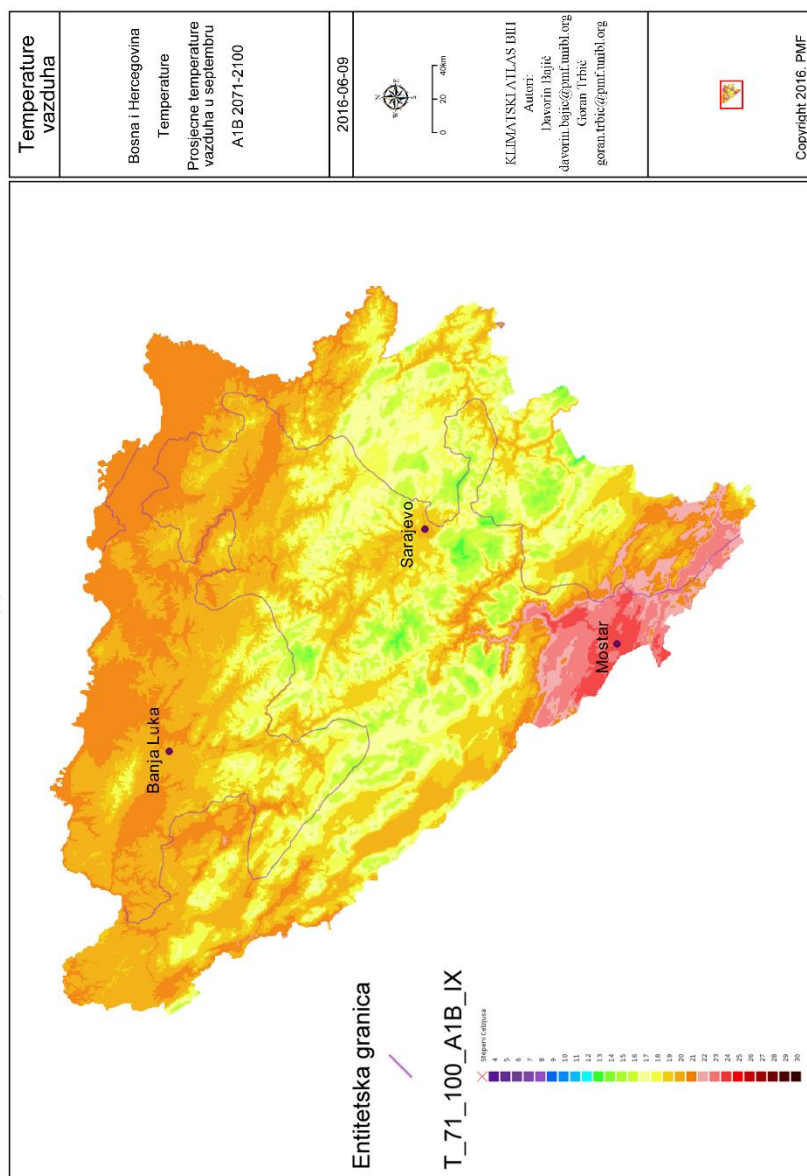
Сл. 15.49. Просјечне температуре ваздуха у јулу, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.49. Average air temperature in July, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.50. Просјечне темперетуре ваздуха у августу, сценарио А1В 2071–2100.

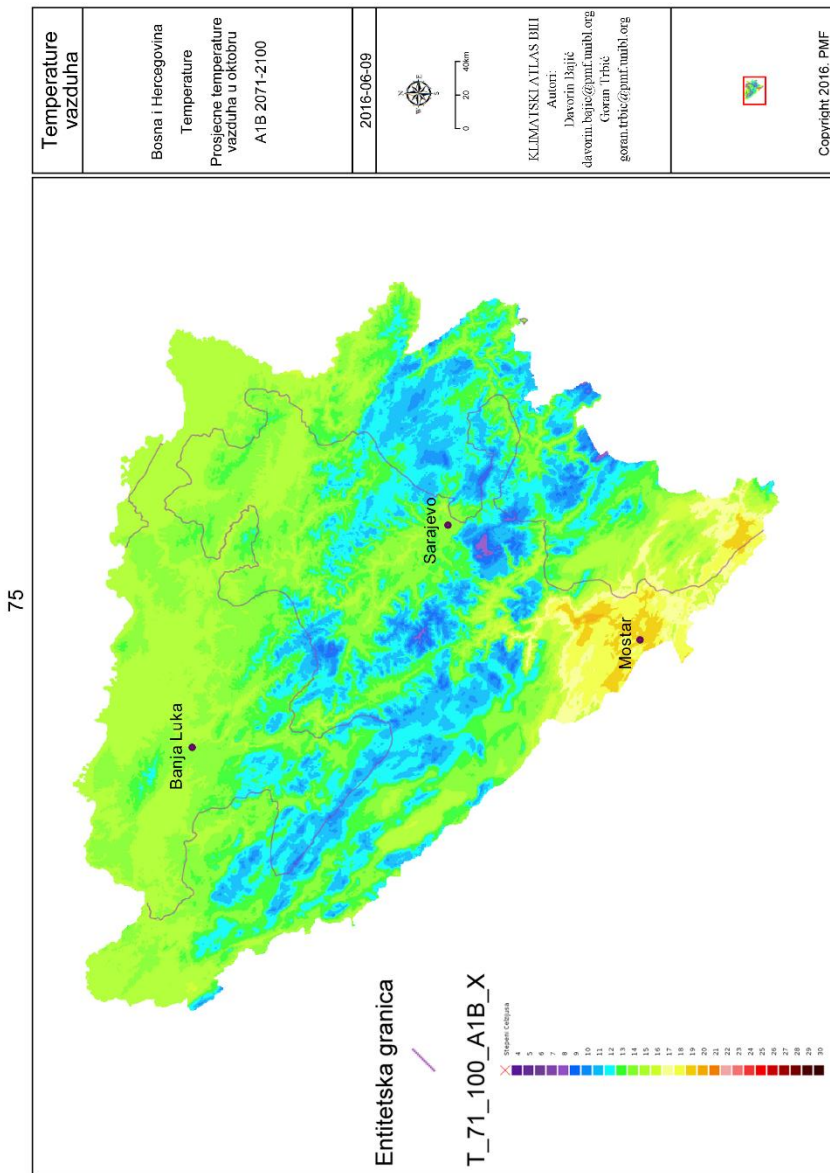
Fig. 15.50. Average air temperature in August, scenario A1B 2071–2100.

74



Сл. 15.51. Просјечне температуре ваздуха у септембру, сценарио А1В 2071–2100.

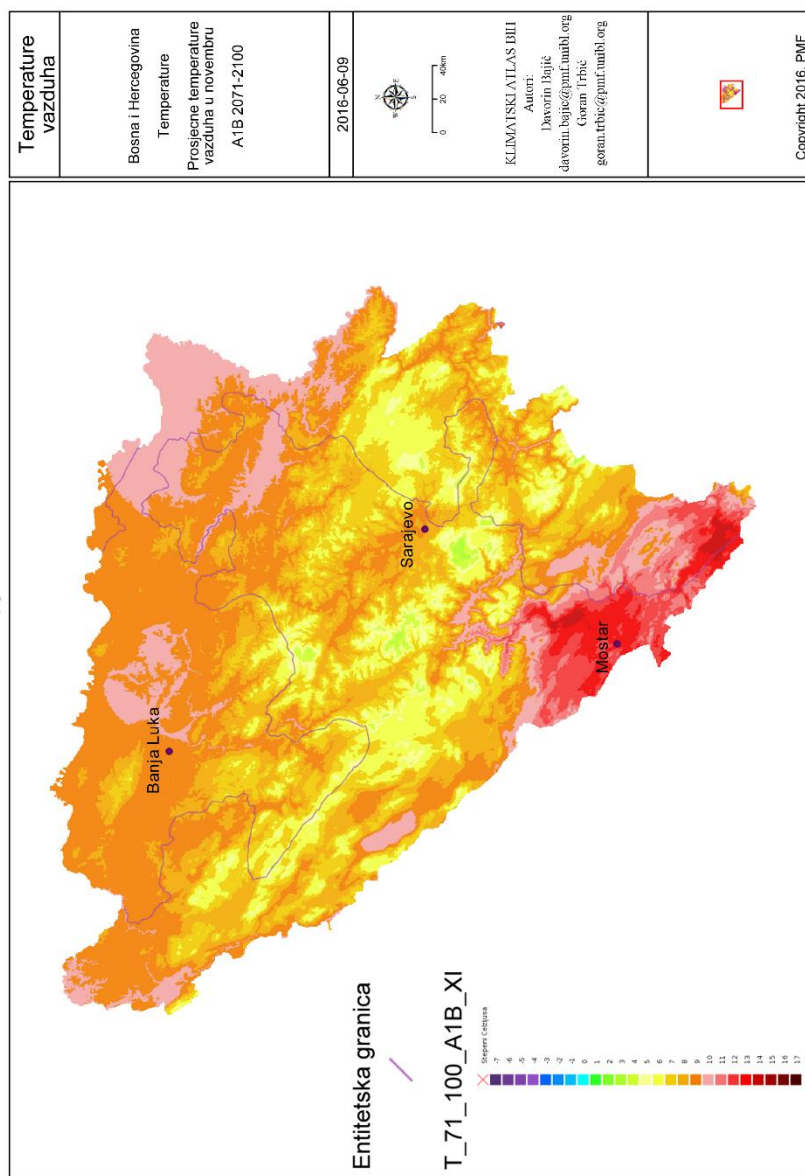
Fig. 15.51. Average air temperature in September, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.52. Просјечне темперетуре ваздуха у октобру, сценарио А1В 2071–2100.

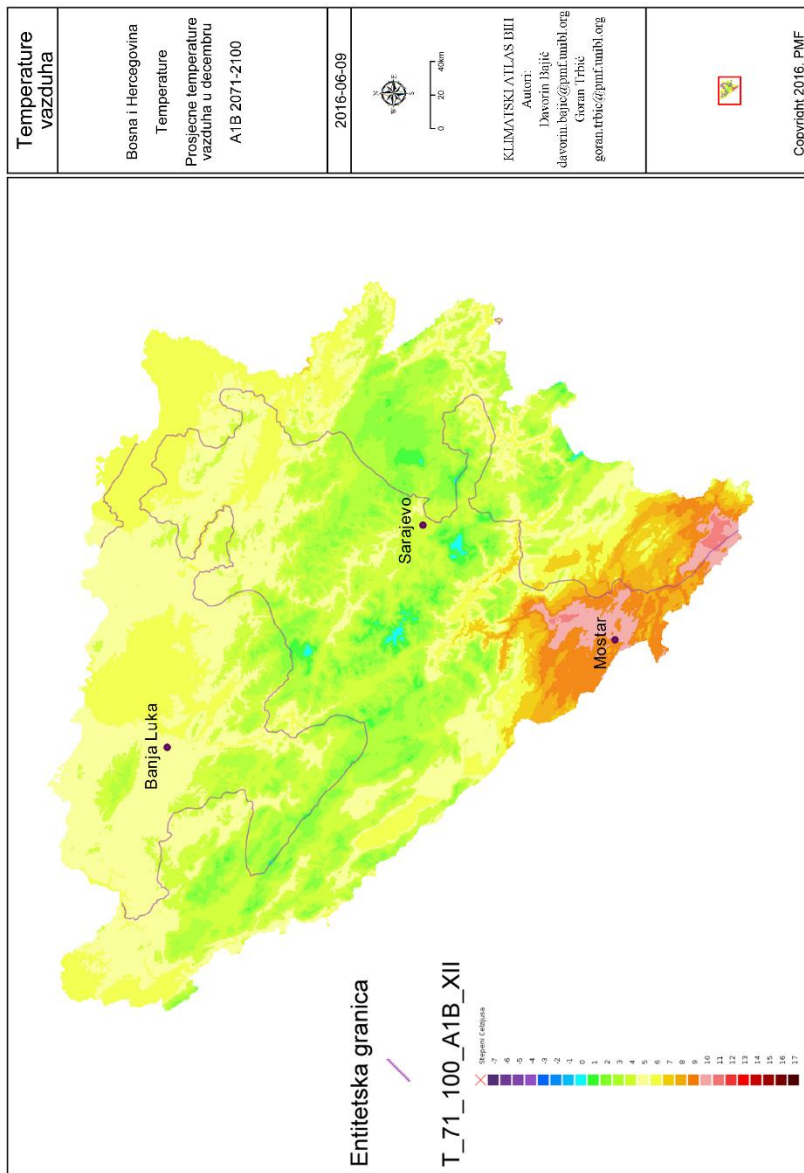
Fig. 15.52. Average air temperature in October, scenario A1B 2071–2100.

76



Сл. 15.53. Просјечне темперетуре ваздуха у новембру, сценарио А1В 2071–2100.

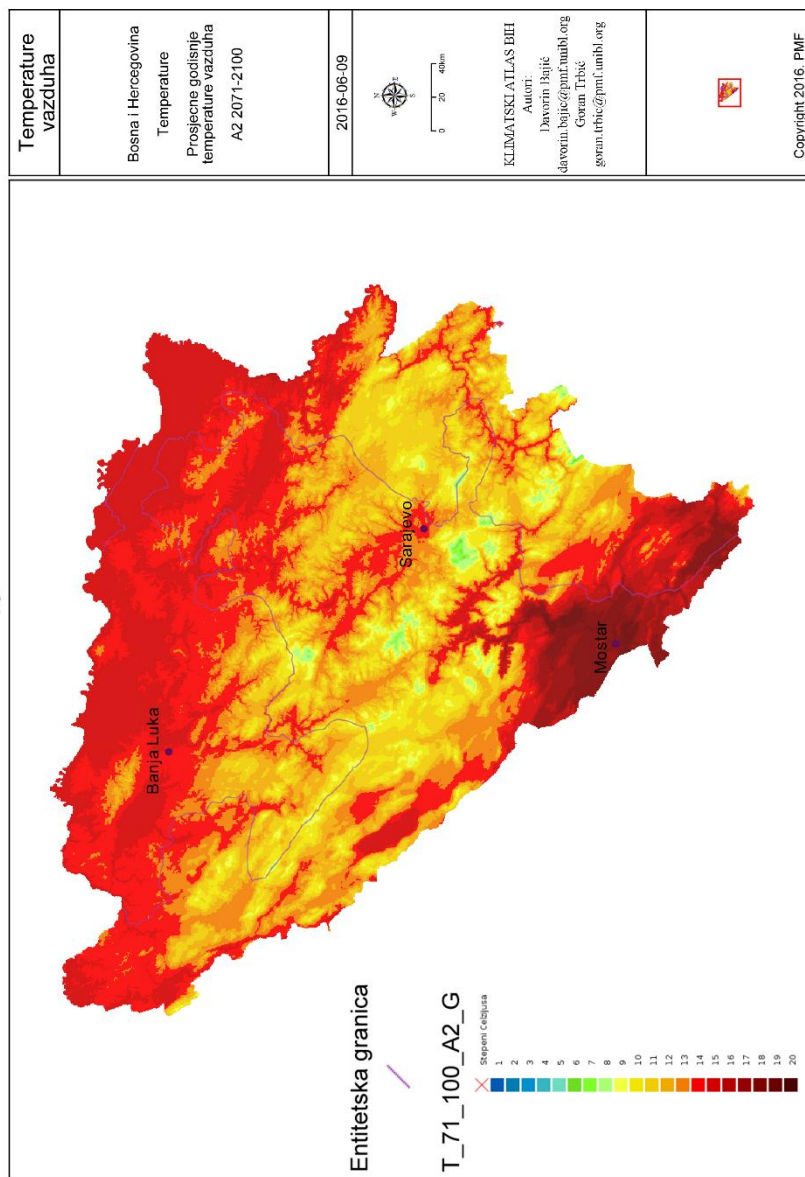
Fig. 15.53. Average air temperature in November, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.54. Просјечне темперетуре ваздуха у децембру, сценарио А1В 2071–2100.

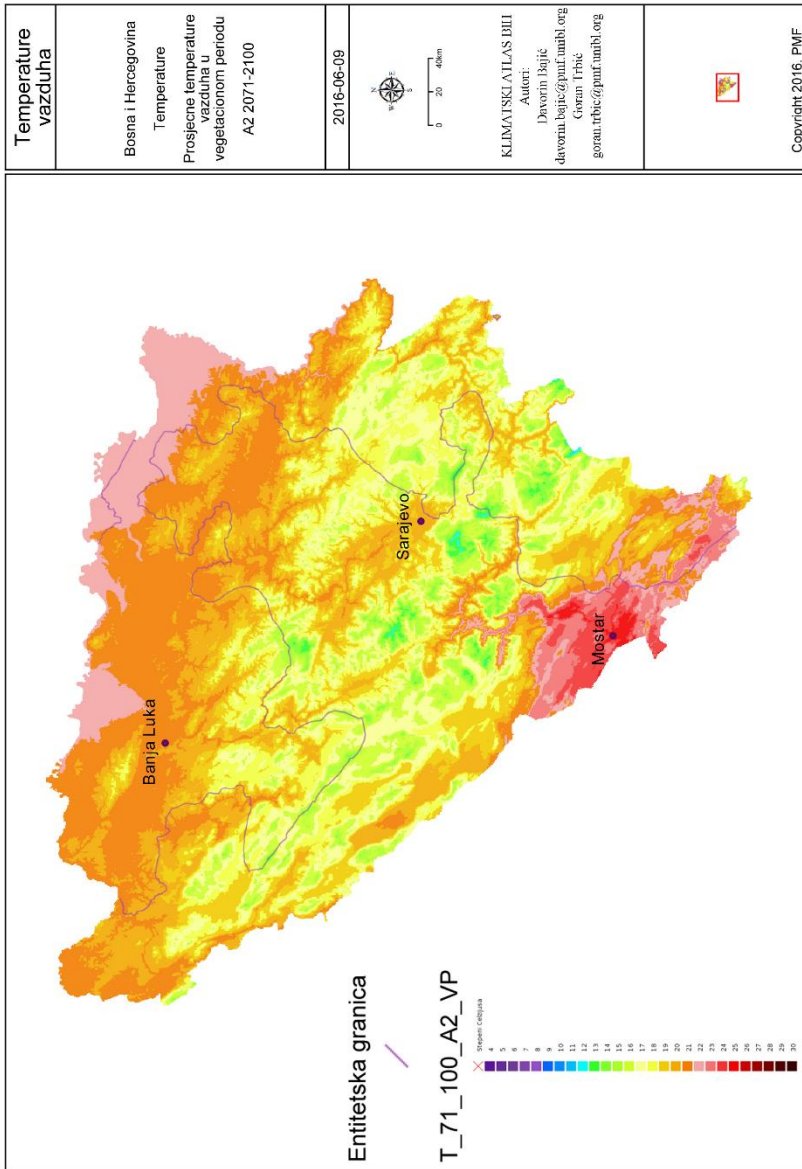
Fig. 15.54. Average air temperature in December, scenario A1B 2071–2100.

78



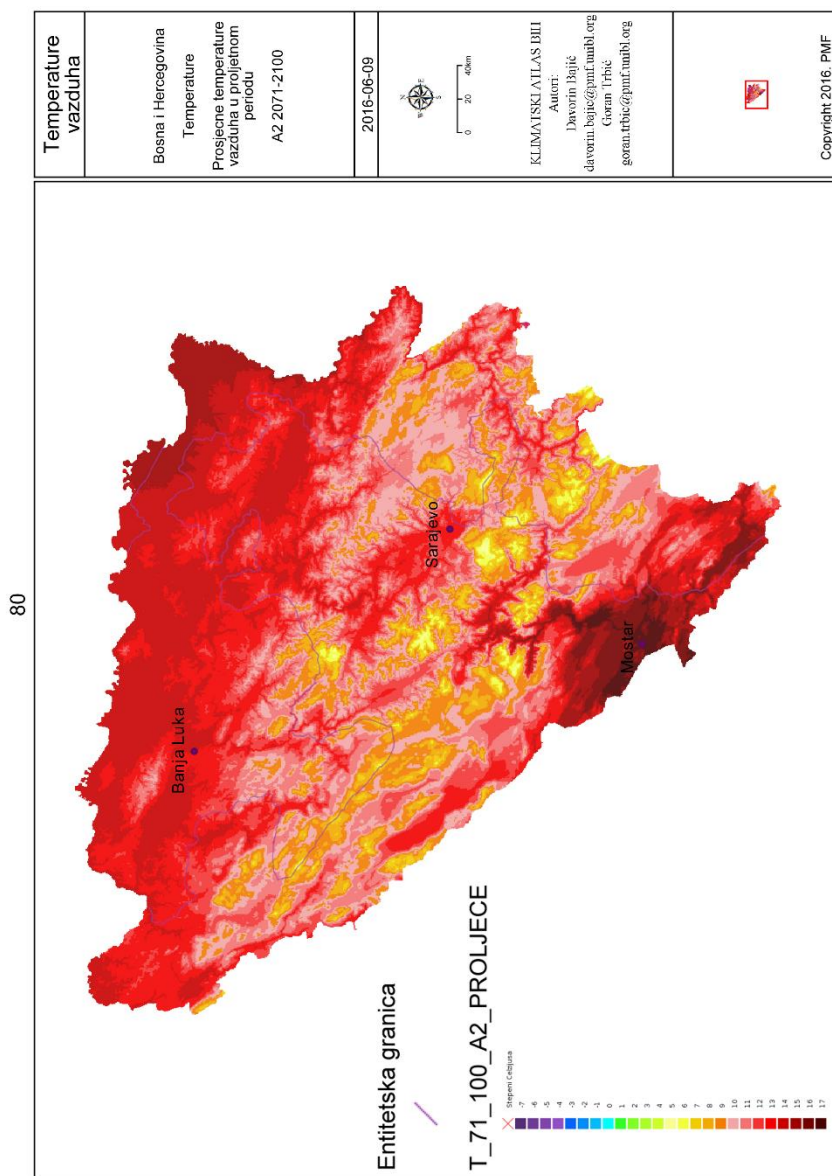
Сл. 15.55. Просјечне годишње температуре ваздуха, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.55. Average annual air temperature, scenario A1B 2071–2100.



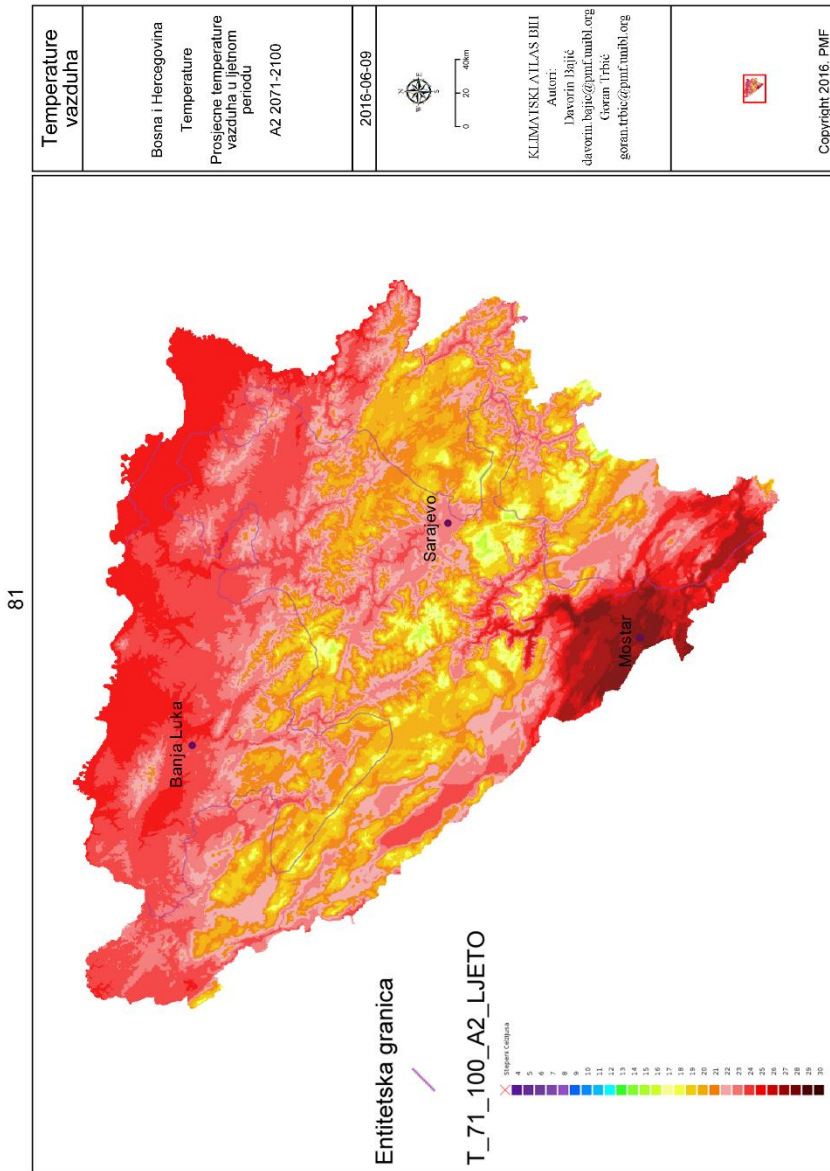
Сл. 15.56. Просјечне температуре ваздуха у вегетационом периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.56. Average air temperature during the growing season, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.57. Просјечне температуре ваздуха у прољетном периоду, сценарио А1В 2071–2100.

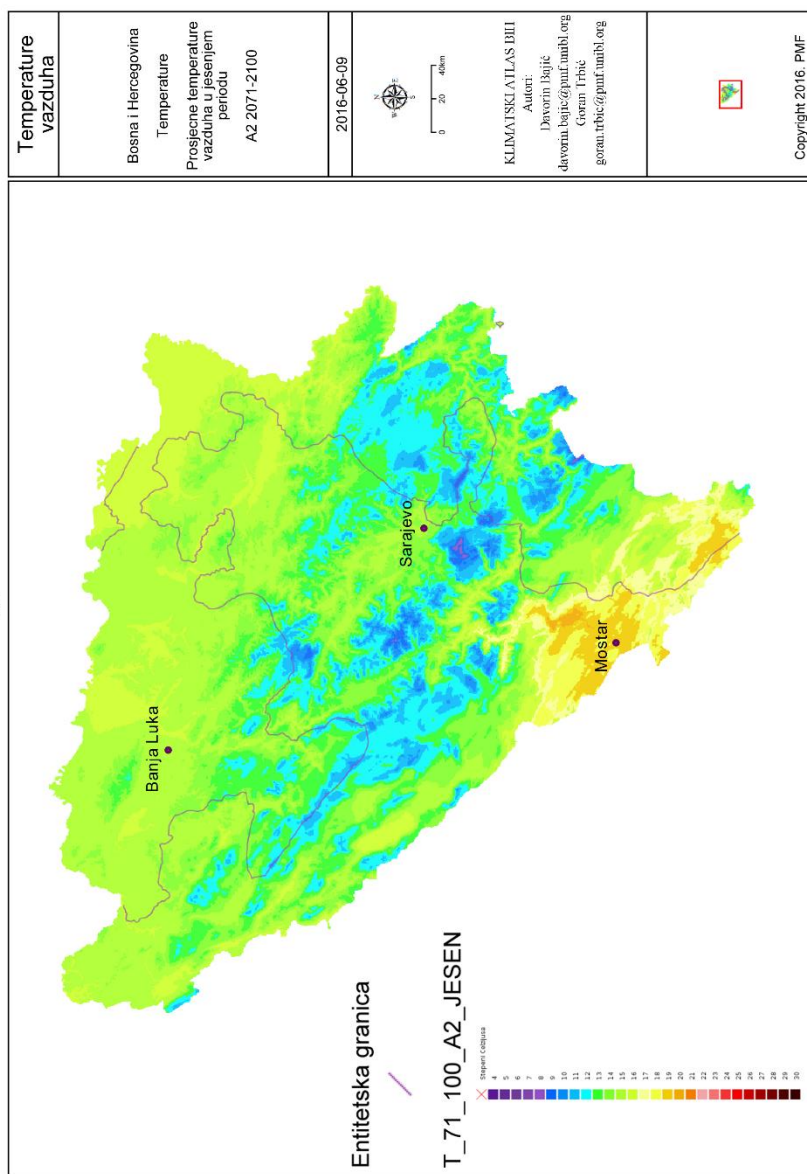
Fig. 15.57. Average air temperature in the spring, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.58. Просјечне температуре ваздуха у љетном периоду, сценарио А1В 2071–2100.

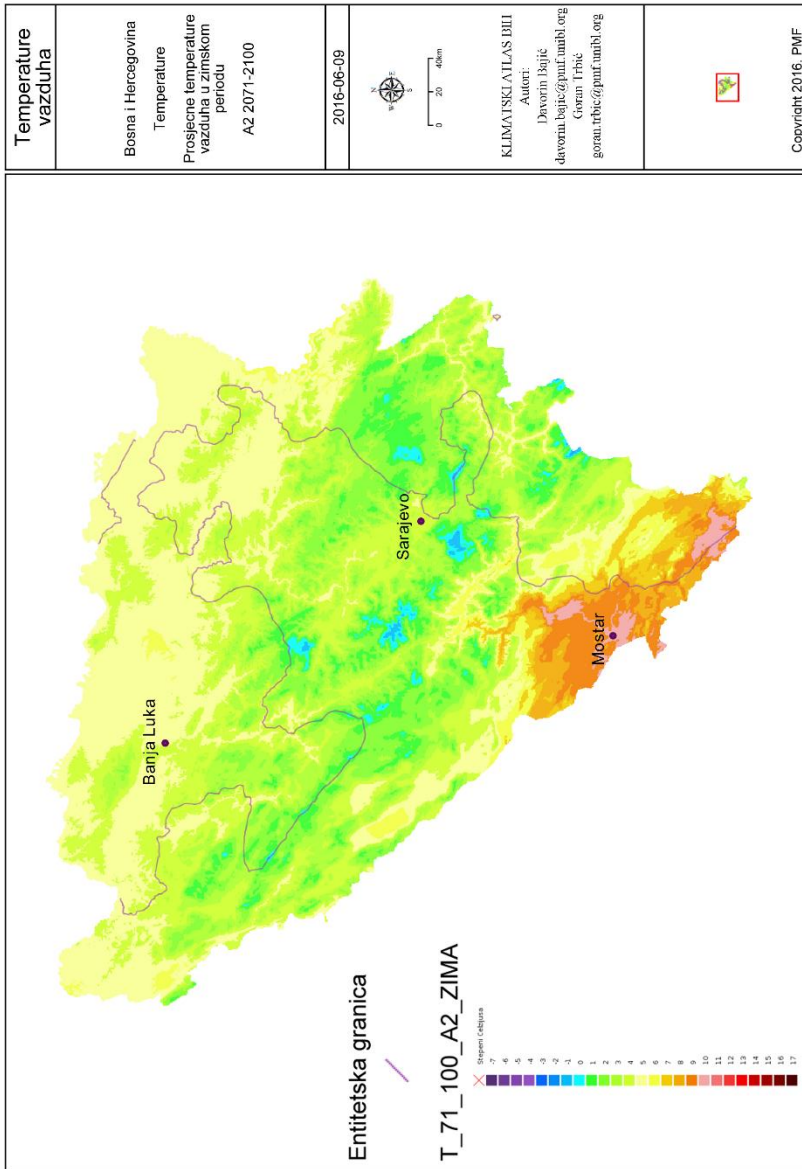
Fig. 15.58. Average air temperature in the summer, scenario A1B 2071–2100.

82



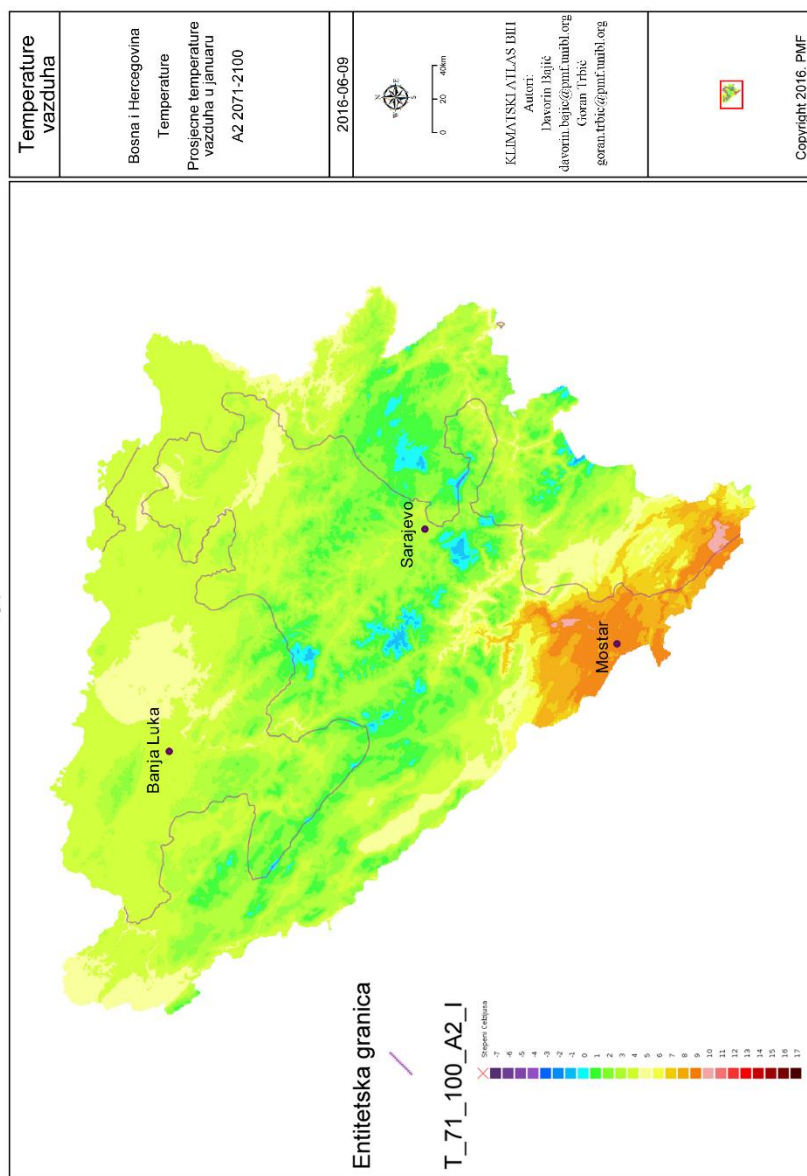
Сл. 15.59. Просјечне температуре ваздуха у јесењем периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.59. Average air temperature in the autumn, scenario A1B 2071–2100.



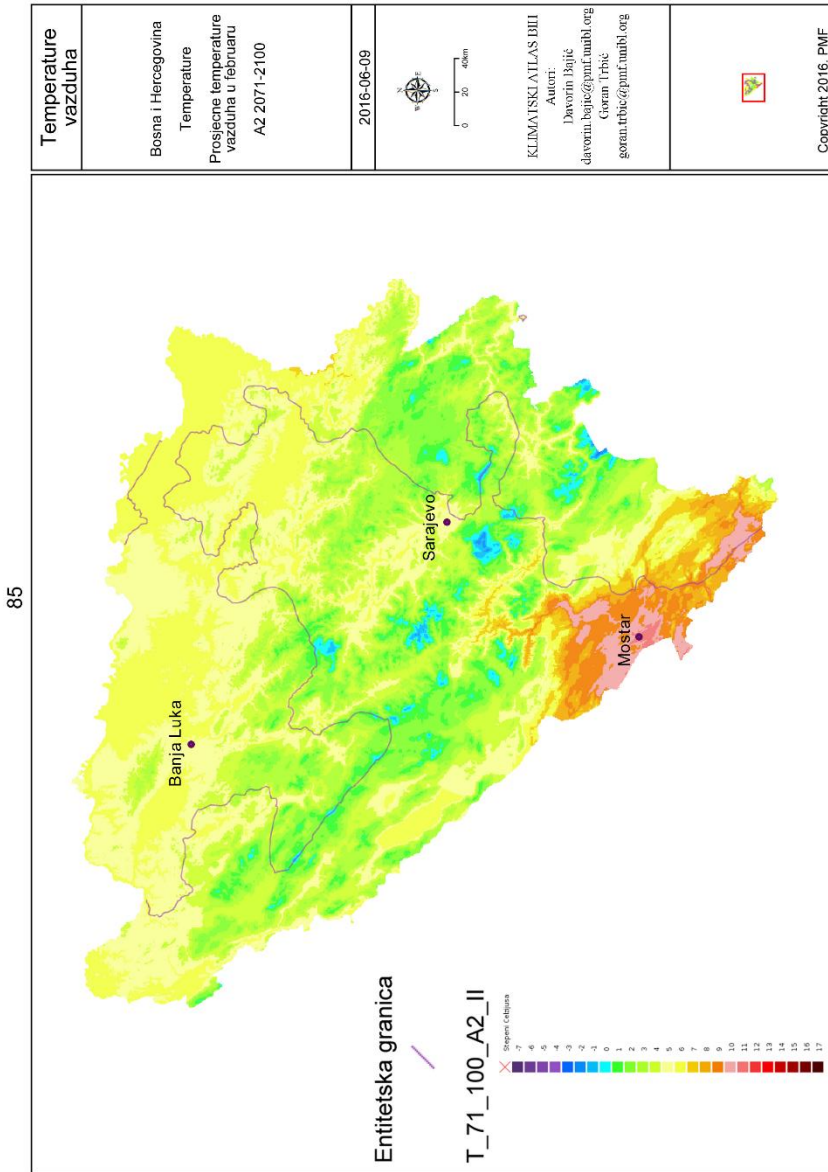
Сл. 15.60. Просјечне температуре ваздуха у зимском периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.60. Average air temperature in the winter, scenario A1B 2071–2100.



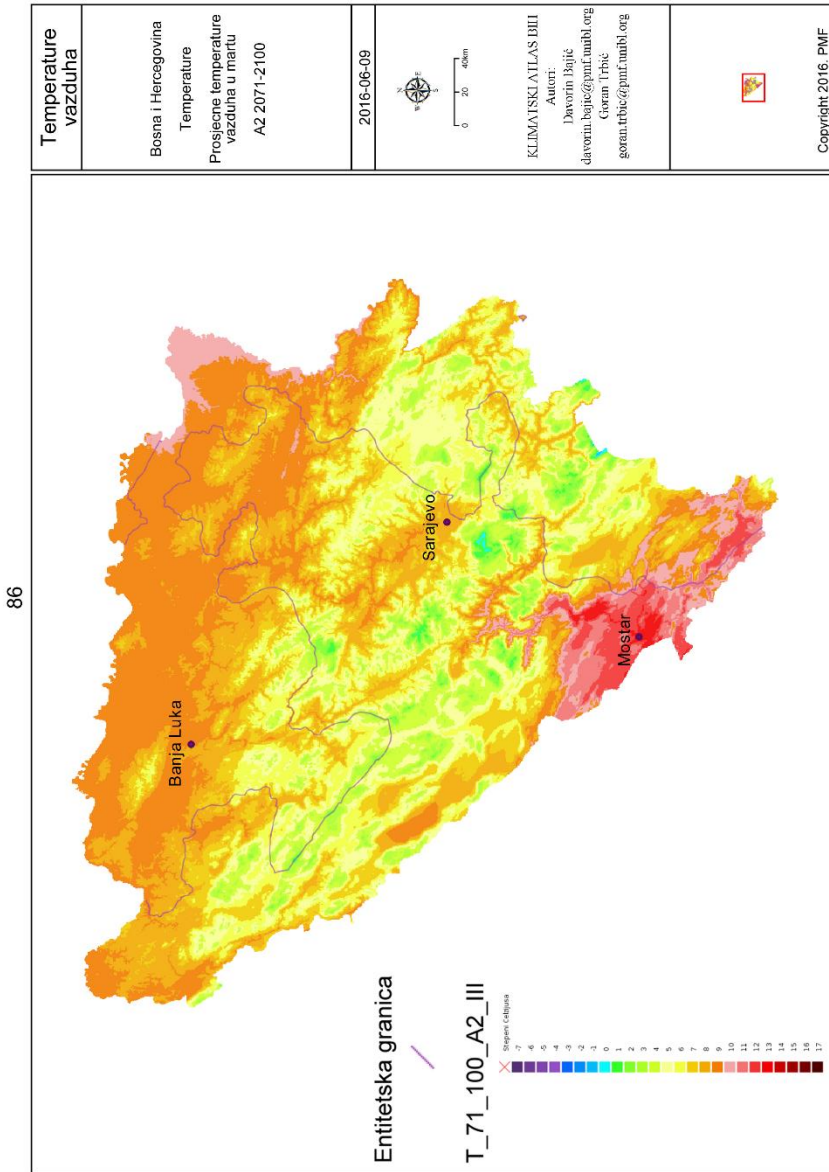
Сл. 15.61. Просјечне темперетуре ваздуха у јануару, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.61. Average air temperature in January, scenario A1B 2071–2100.



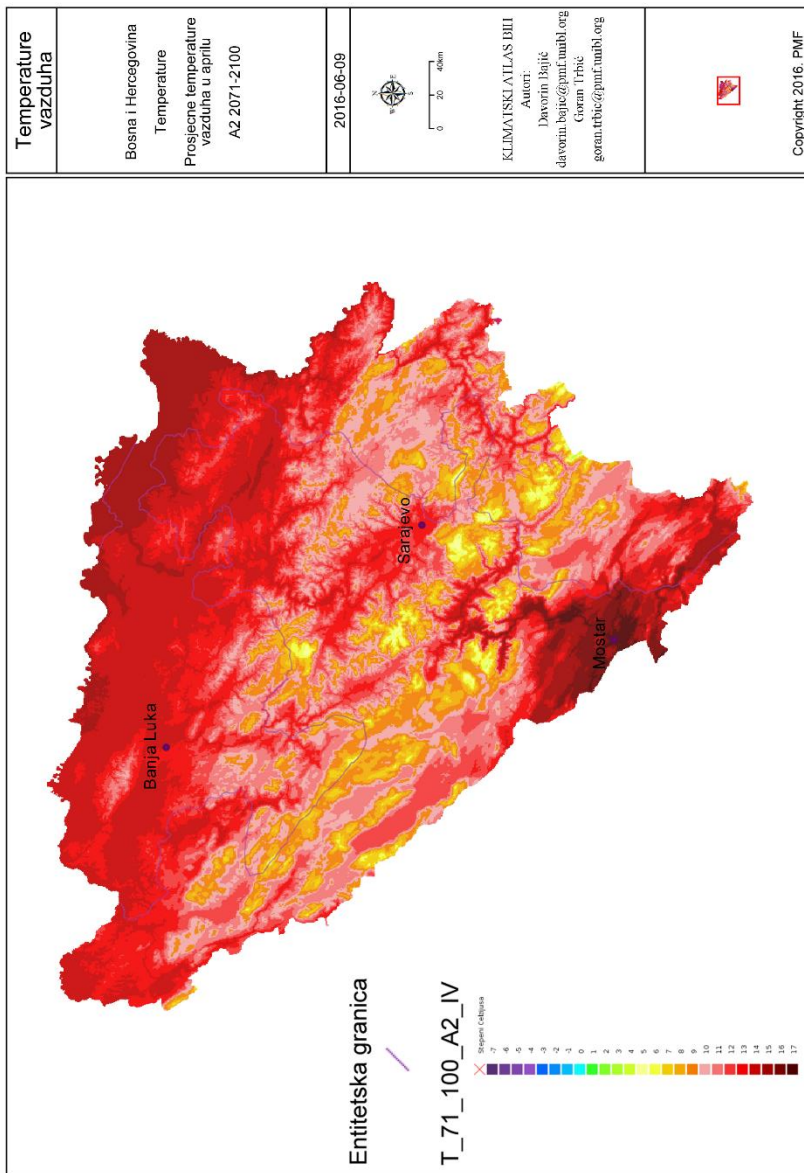
Сл. 15.62. Просјечне темперетуре ваздуха у фебруару, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.62. Average air temperature in February, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.63. Просјечне температуре ваздуха у марту, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.63. Average air temperature in March, scenario A1B 2071–2100.

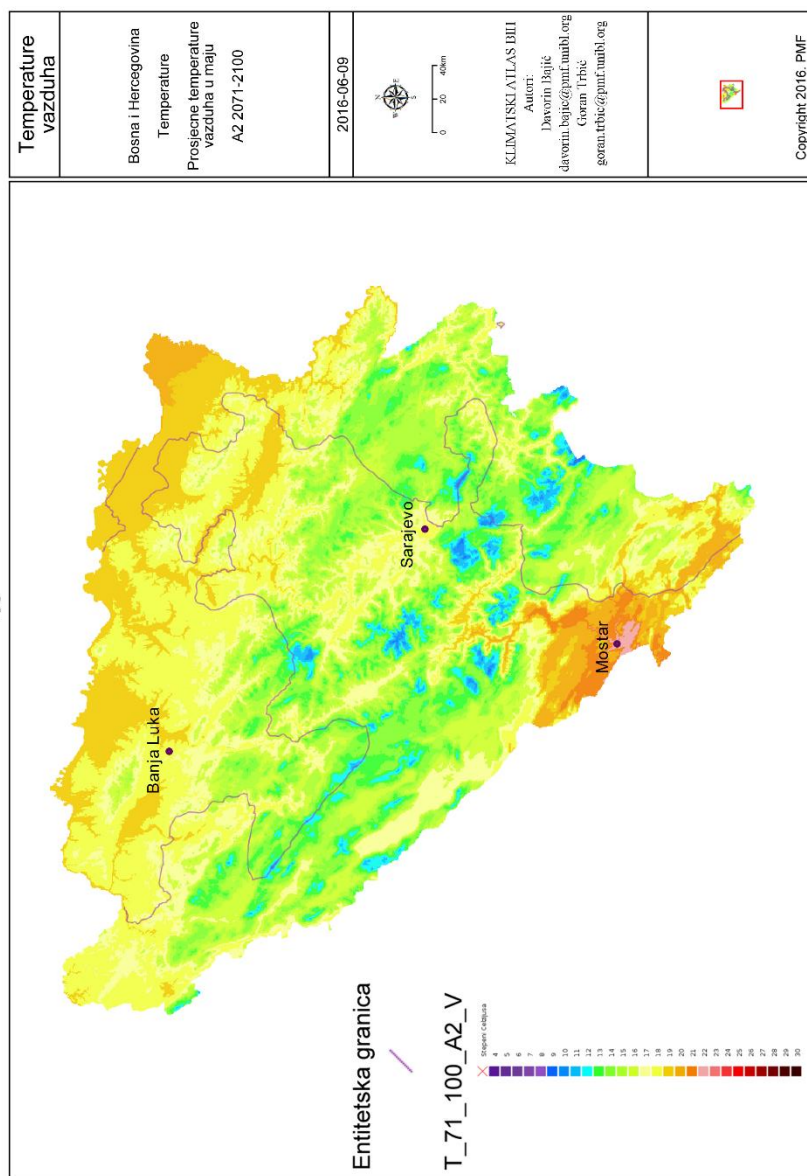
87



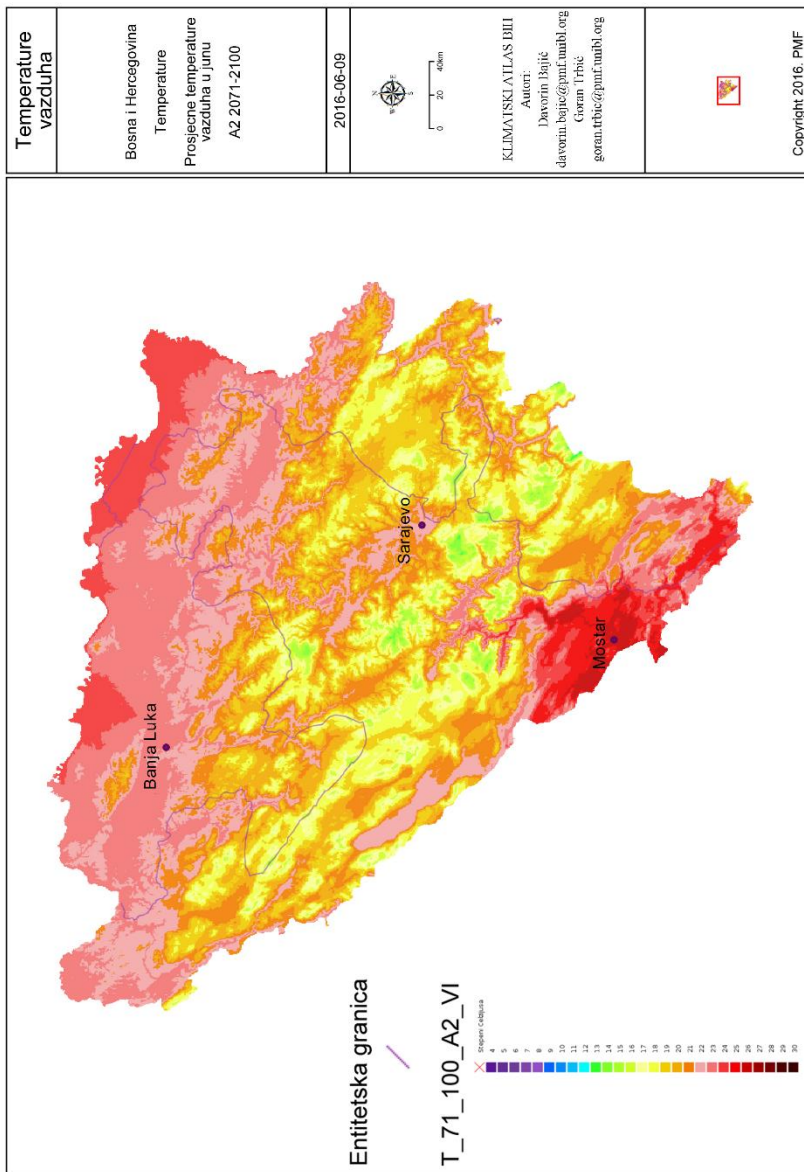
Сл. 15.64. Просјечне температуре ваздуха у априлу, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.64. Average air temperature in April, scenario A1B 2071–2100.

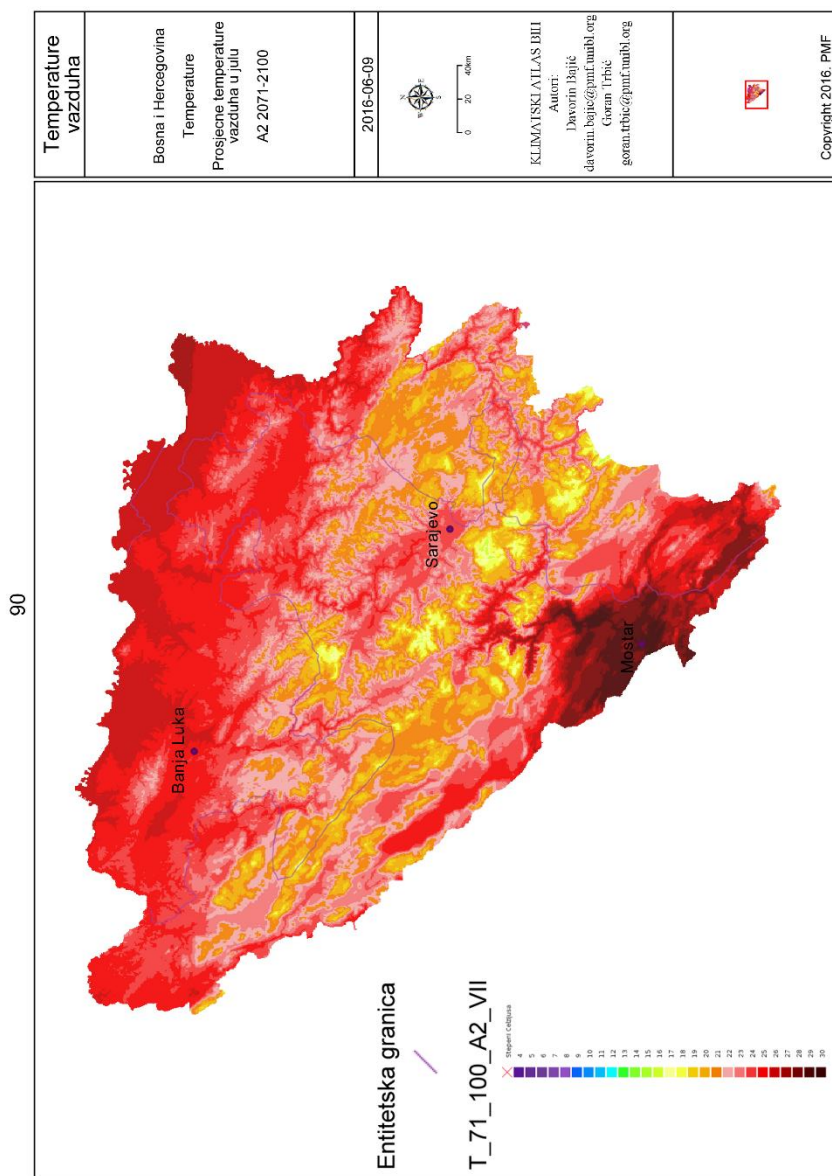
88



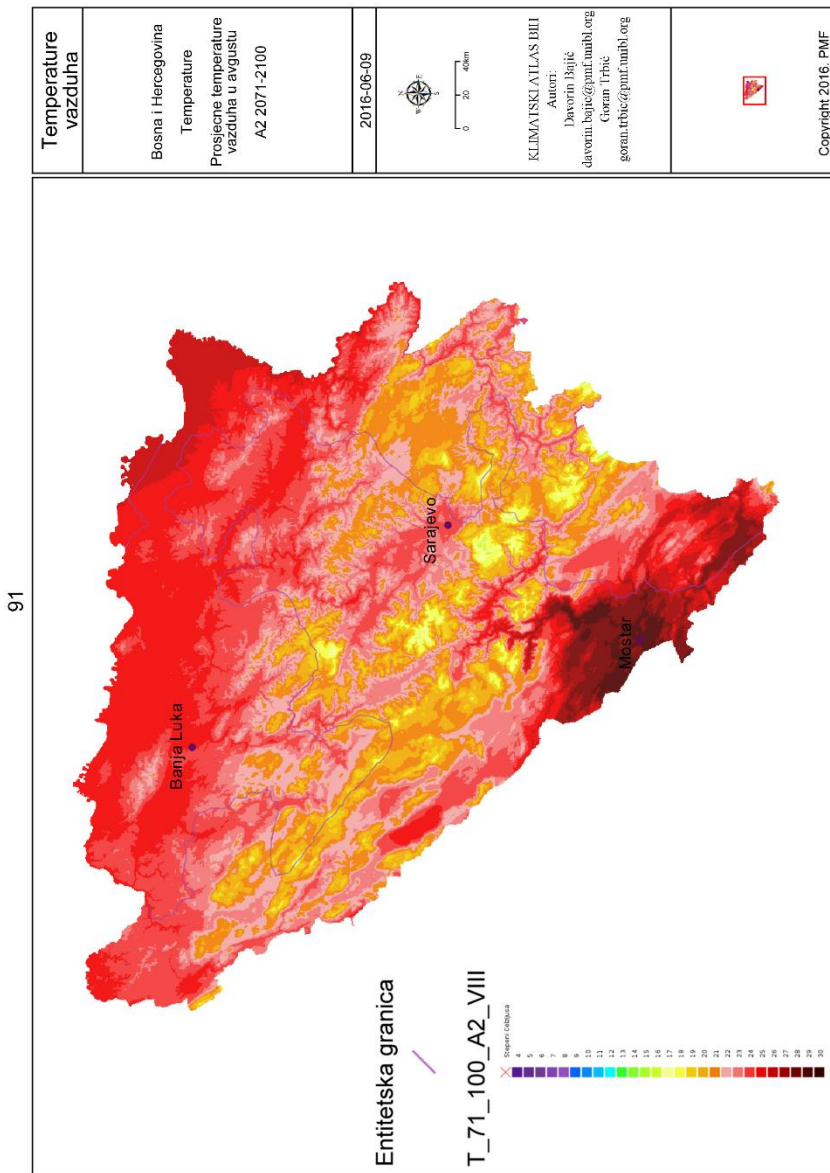
Сл. 15.65. Просјечне температуре ваздуха у мају, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.65. Average air temperature in May, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.66. Просјечне температуре ваздуха у јуну, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.66. Average air temperature in June, scenario A1B 2071–2100.

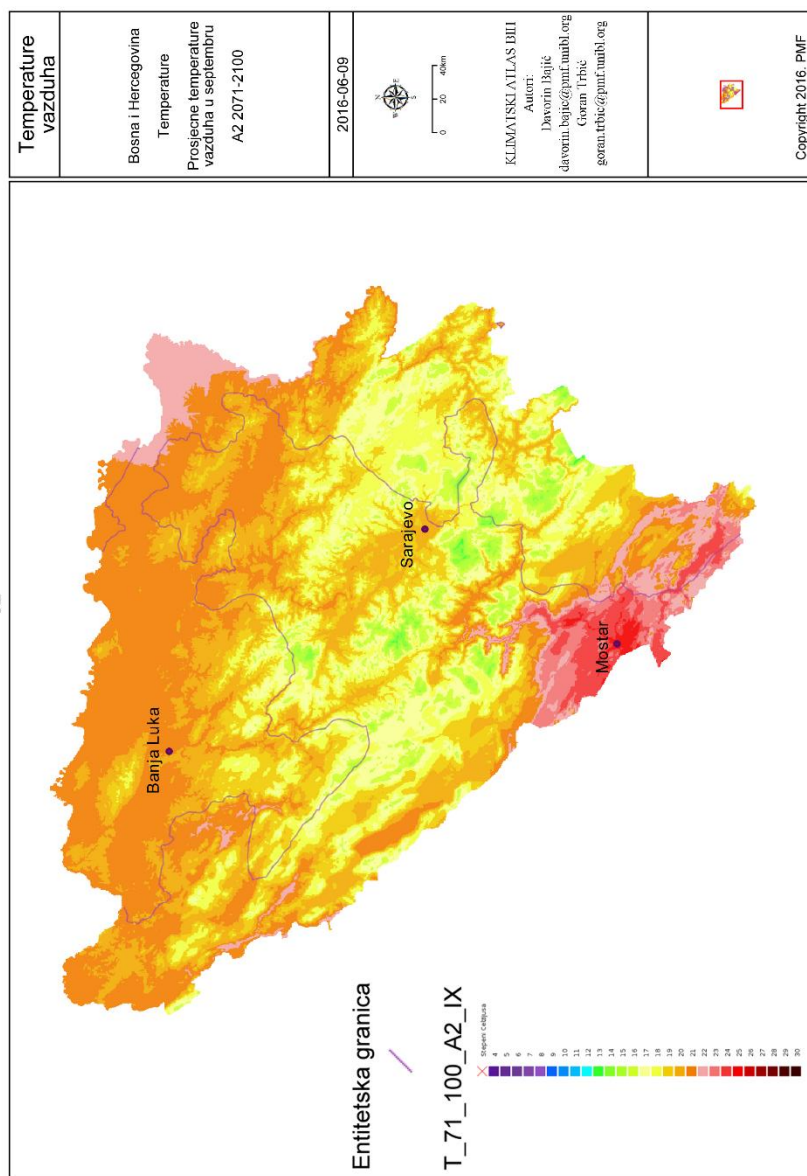


Сл. 15.67. Просјечне температуре ваздуха у јулу, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.67. Average air temperature in July, scenario A1B 2071–2100.



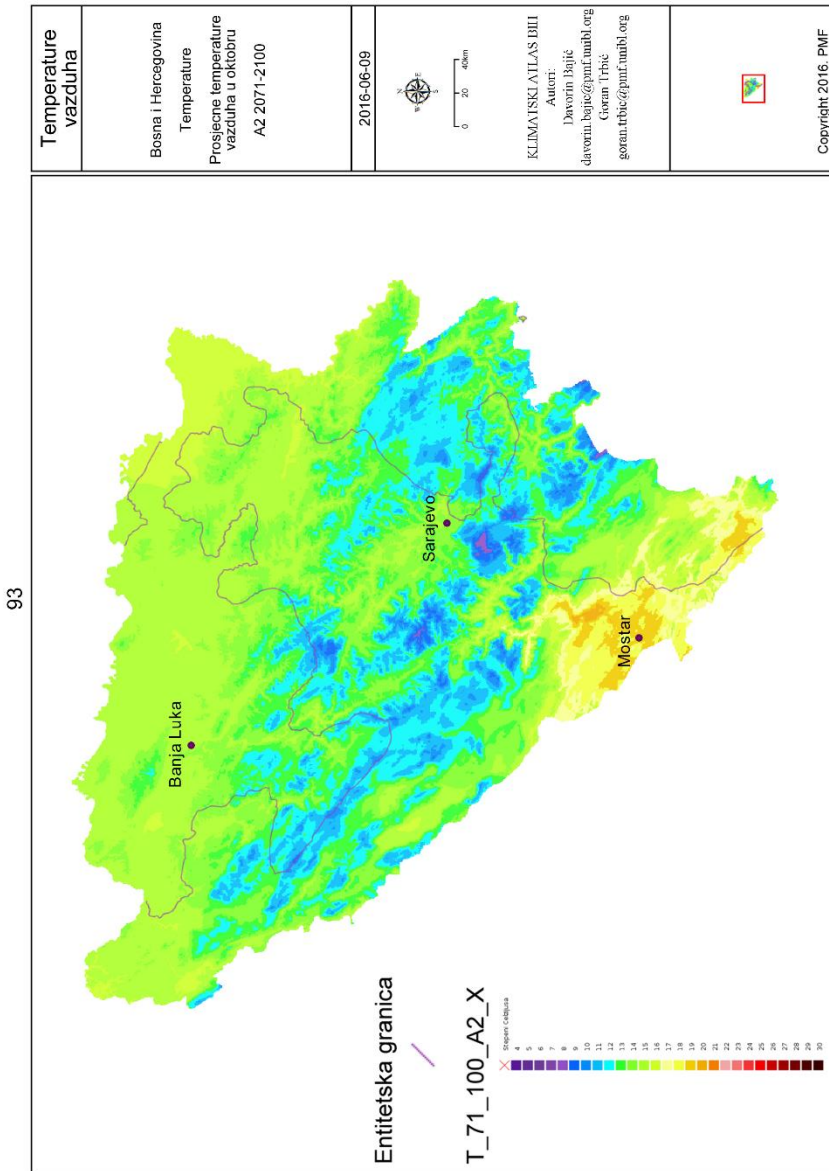
Сл. 15.68. Просјечне температуре ваздуха у августу, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.68. Average air temperature in August, scenario A1B 2071–2100.



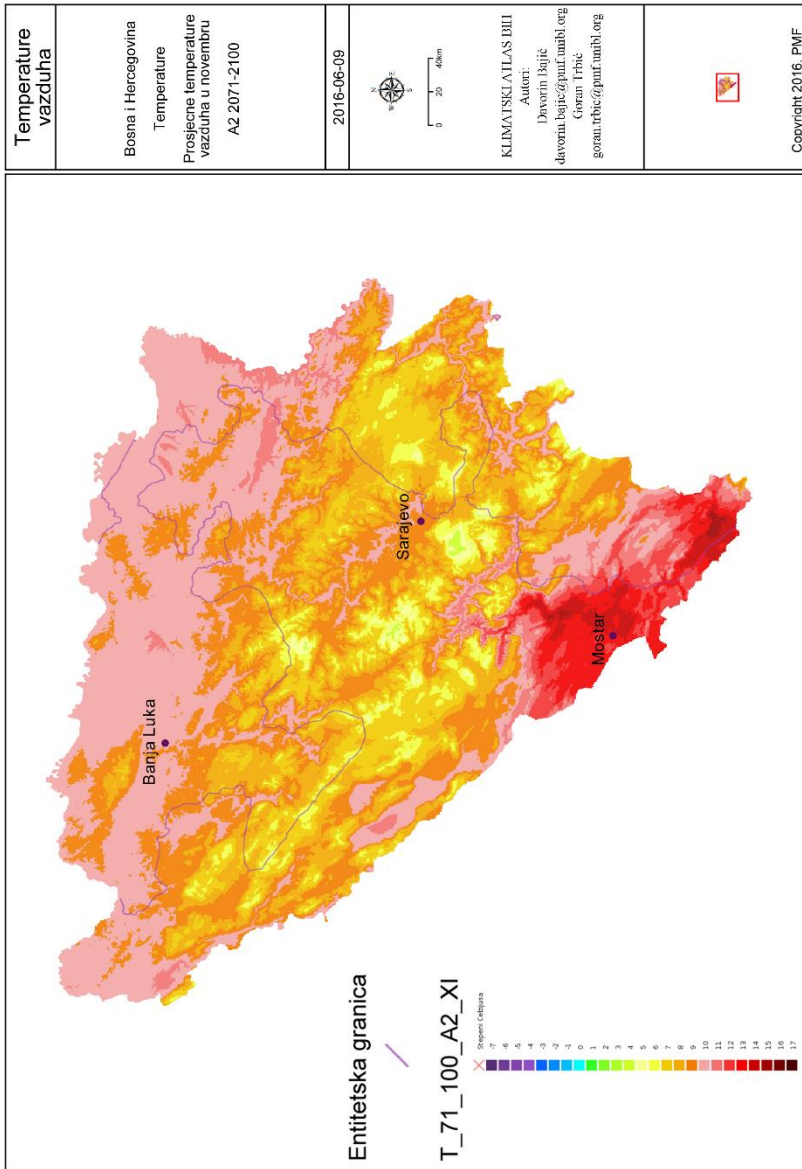
Сл. 15.69. Просјечне температуре ваздуха у септембру, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.69. Average air temperature in September, scenario A1B 2071–2100.



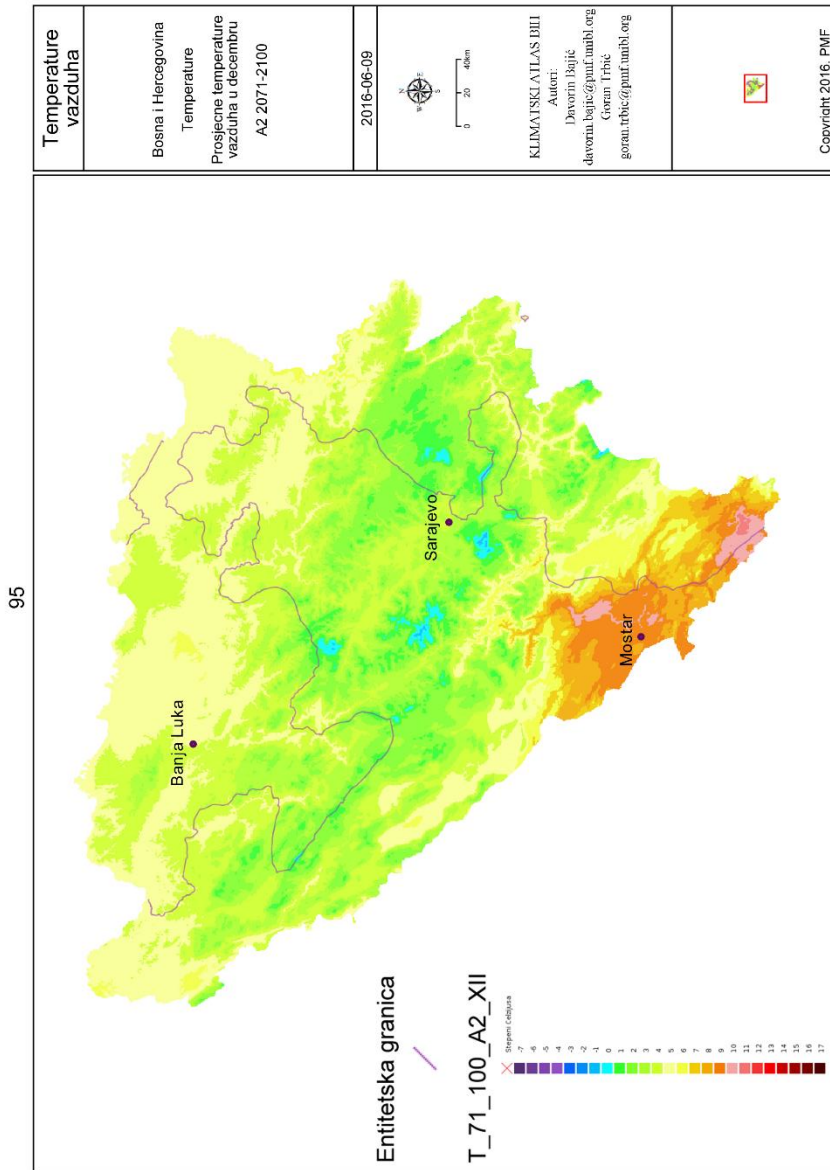
Сл. 15.70. Просјечне температуре ваздуха у октобру, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.70. Average air temperature in October, scenario A1B 2071–2100.



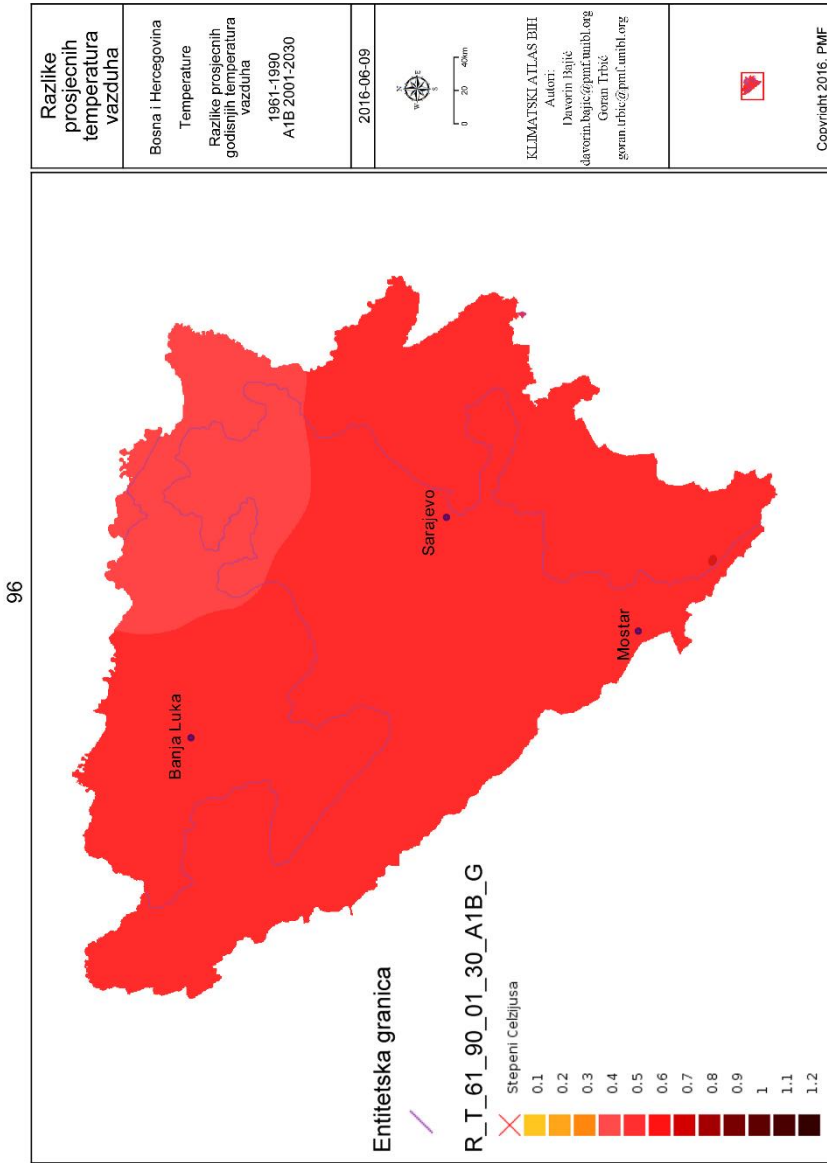
Сл. 15.71. Просјечне температуре ваздуха у новембру, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.71. Average air temperature in November, scenario A1B 2071–2100.



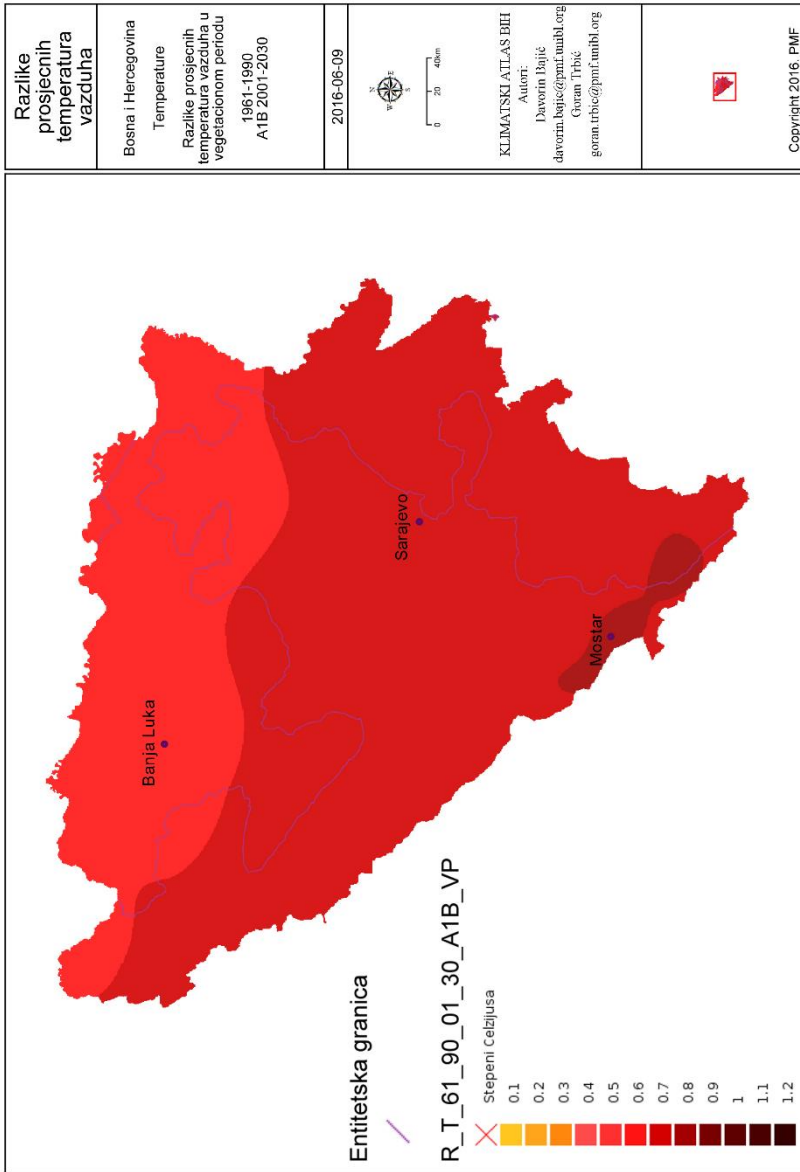
Сл. 15.72. Просјечне температуре ваздуха у децембру, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.72. Average air temperature in December, scenario A1B 2071–2100.



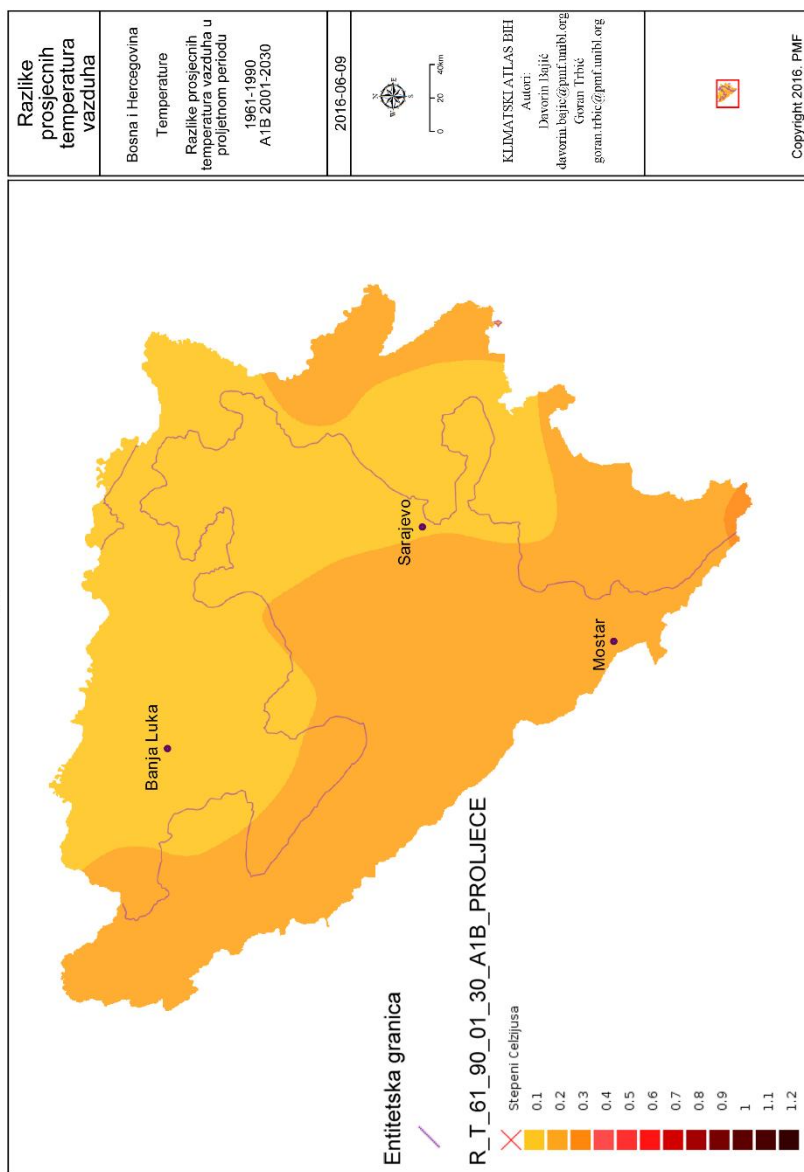
Сл. 15.73. Разлике просјечних годишњих температура ваздуха 1961–1990. A1B 2001–2030.

Fig. 15.73. Differences in average annual air temperature 1961–1990. A1B 2001–2030.



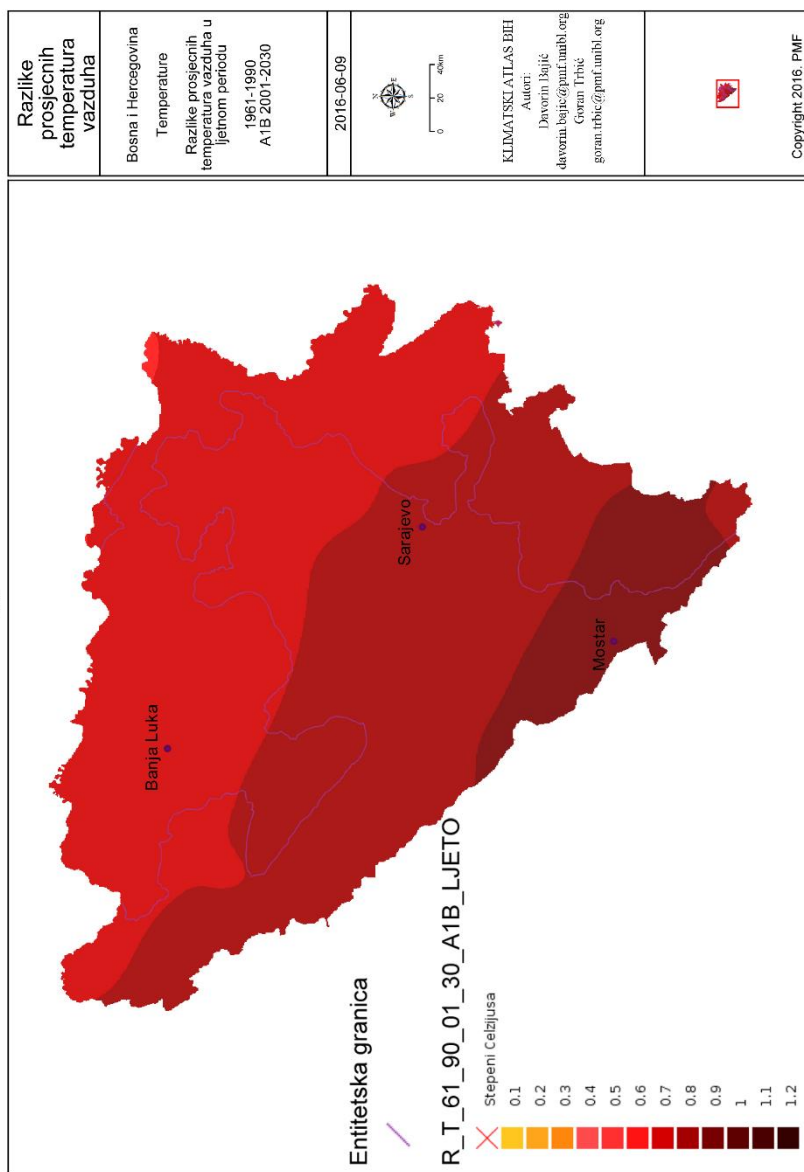
Сл. 15.74. Разлике просјечних температура ваздуха у вегетационом периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.74. Differences in average annual air temperature during the growing season 1961–1990. A1B 2001–2030.



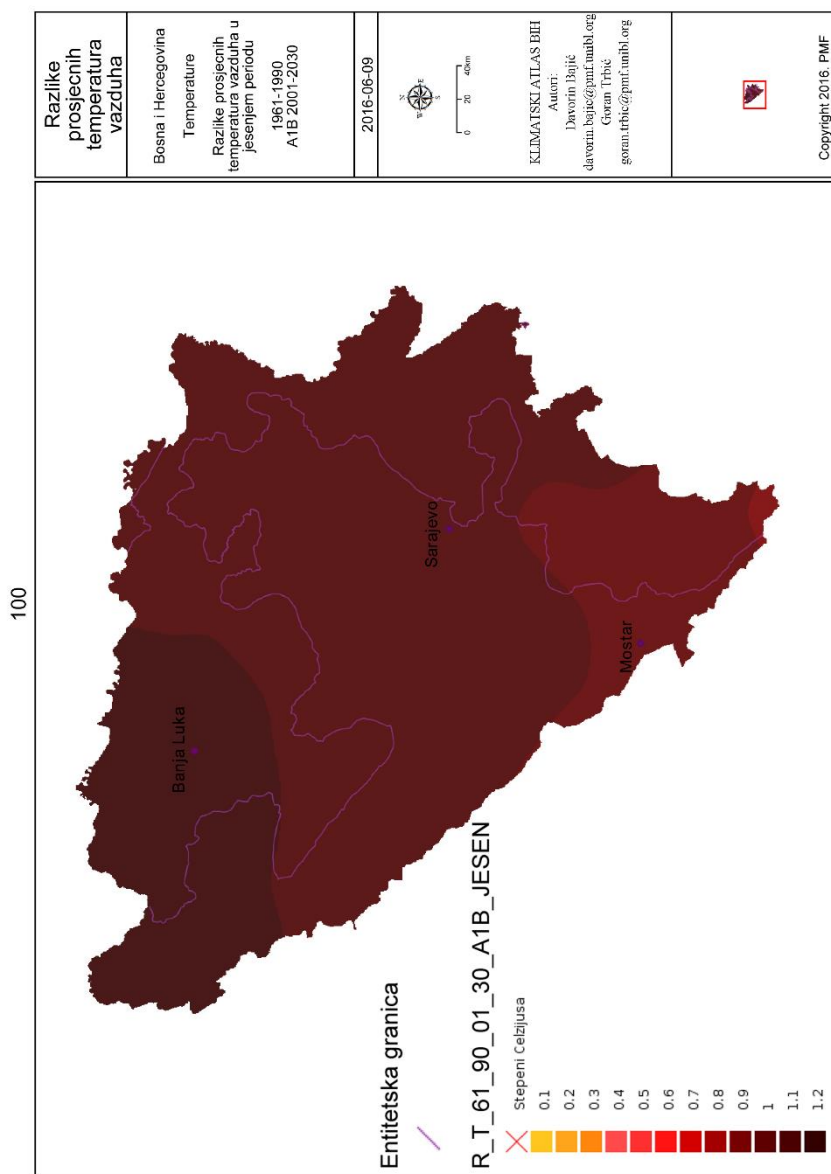
Сл. 15.75. Разлике просјечних температура ваздуха у прољетном периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.75. Differences in average air temperature in the spring 1961–1990. A1B 2001–2030.



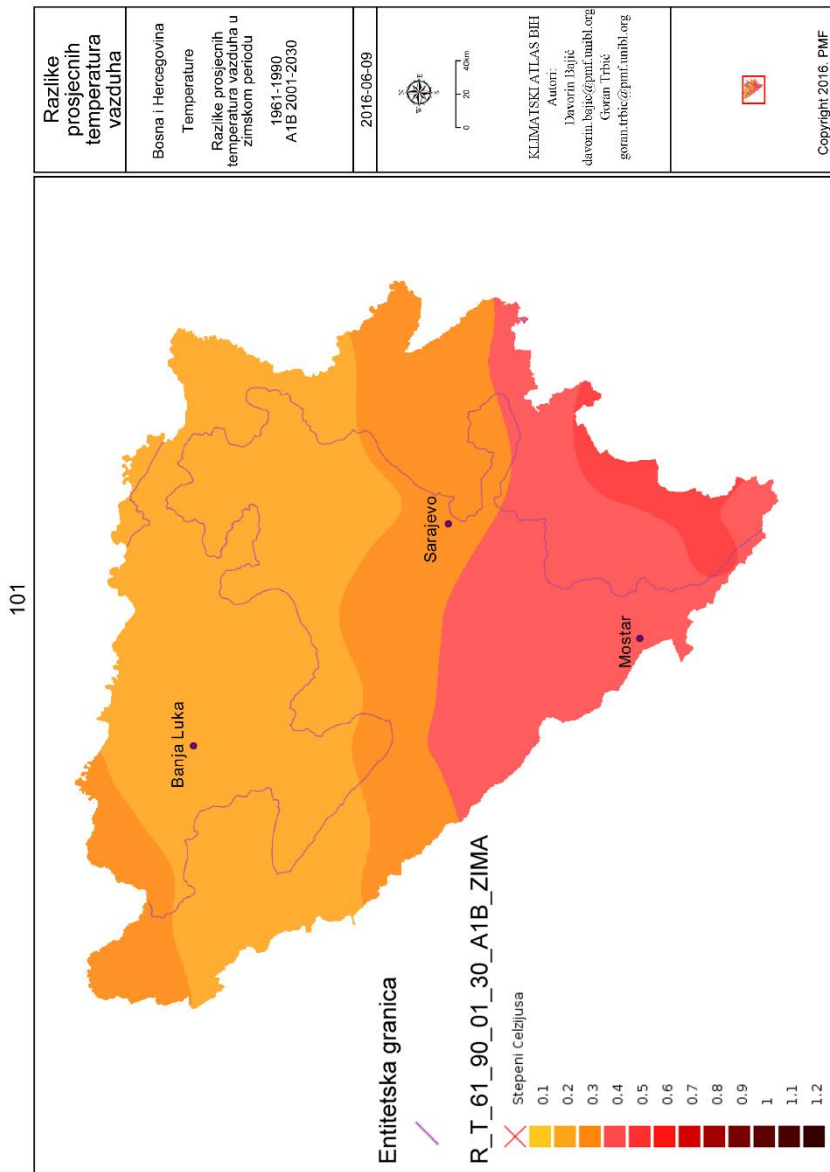
Сл. 15.76. Разлике просјечних температура ваздуха у љетном периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.76. Differences in average air temperature in the summer 1961–1990. A1B 2001–2030.



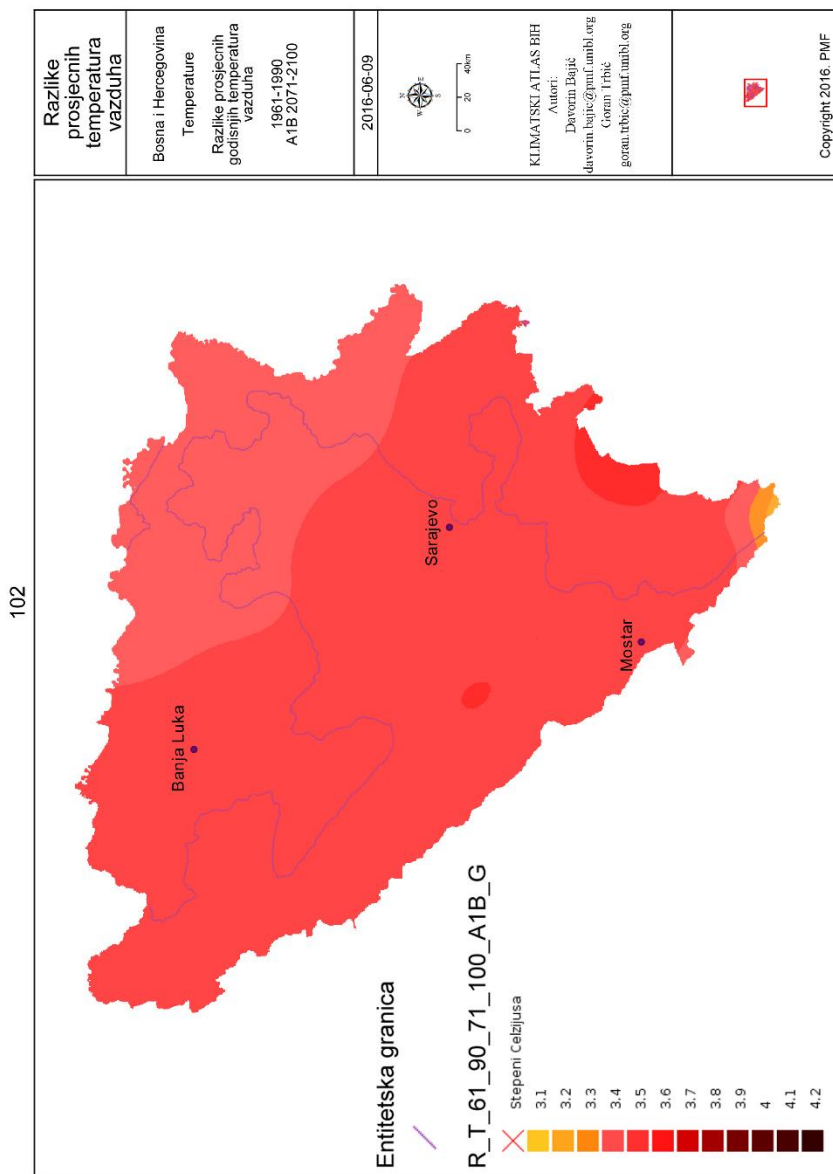
Сл. 15.77. Разлике просјечних температура ваздуха у јесењем периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.77. Differences in average air temperature in the autumn 1961–1990. A1B 2001–2030.



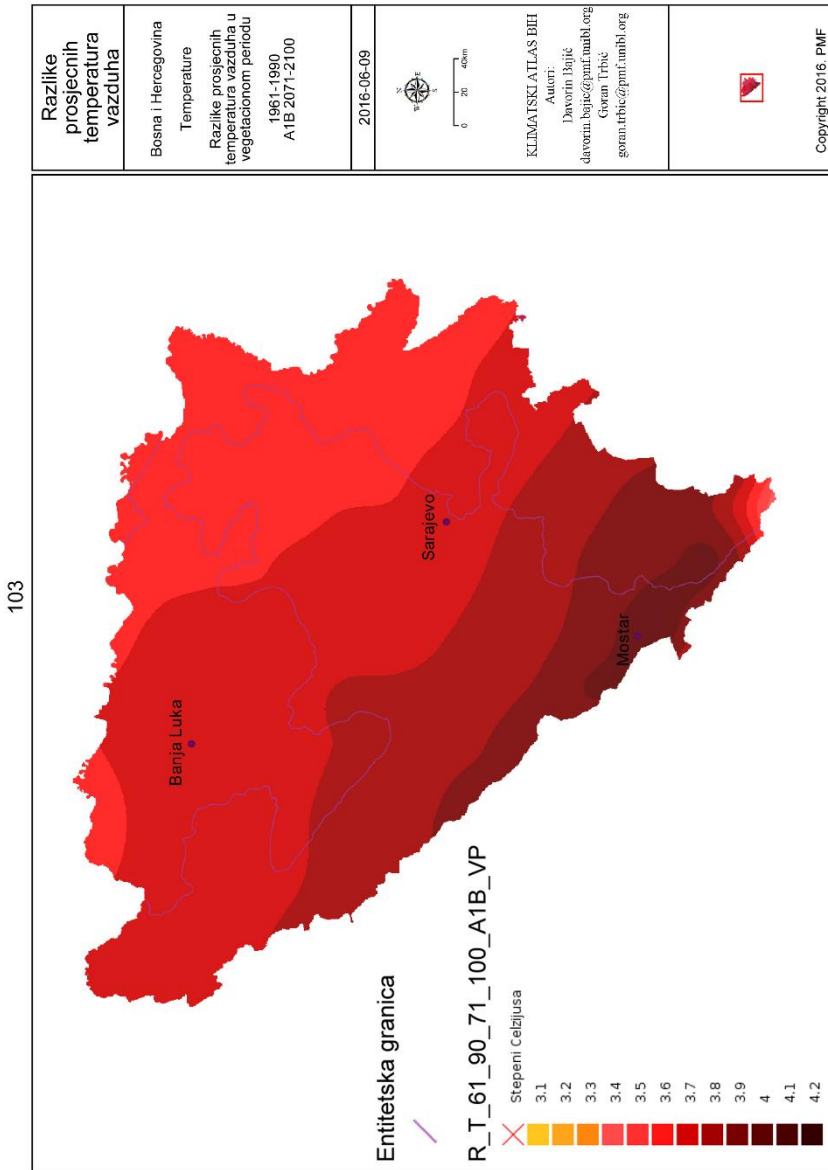
Сл. 15.78. Разлике просјечних температура ваздуха у зимском периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.78. Differences in average air temperature in the winter 1961–1990. A1B 2001–2030.



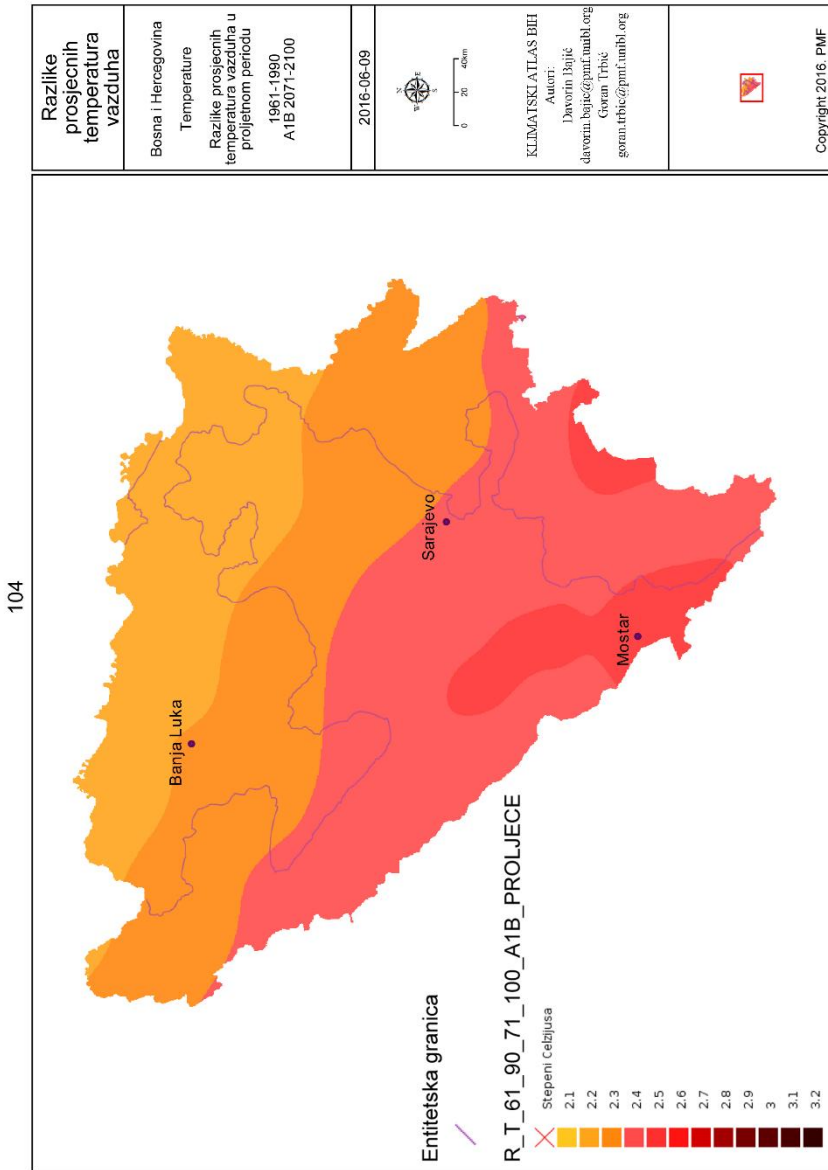
Сл. 15.79. Разлике просјечних годишњих температура ваздуха 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.79. Differences in average annual air temperature 1961–1990. A1B 2071–2100.



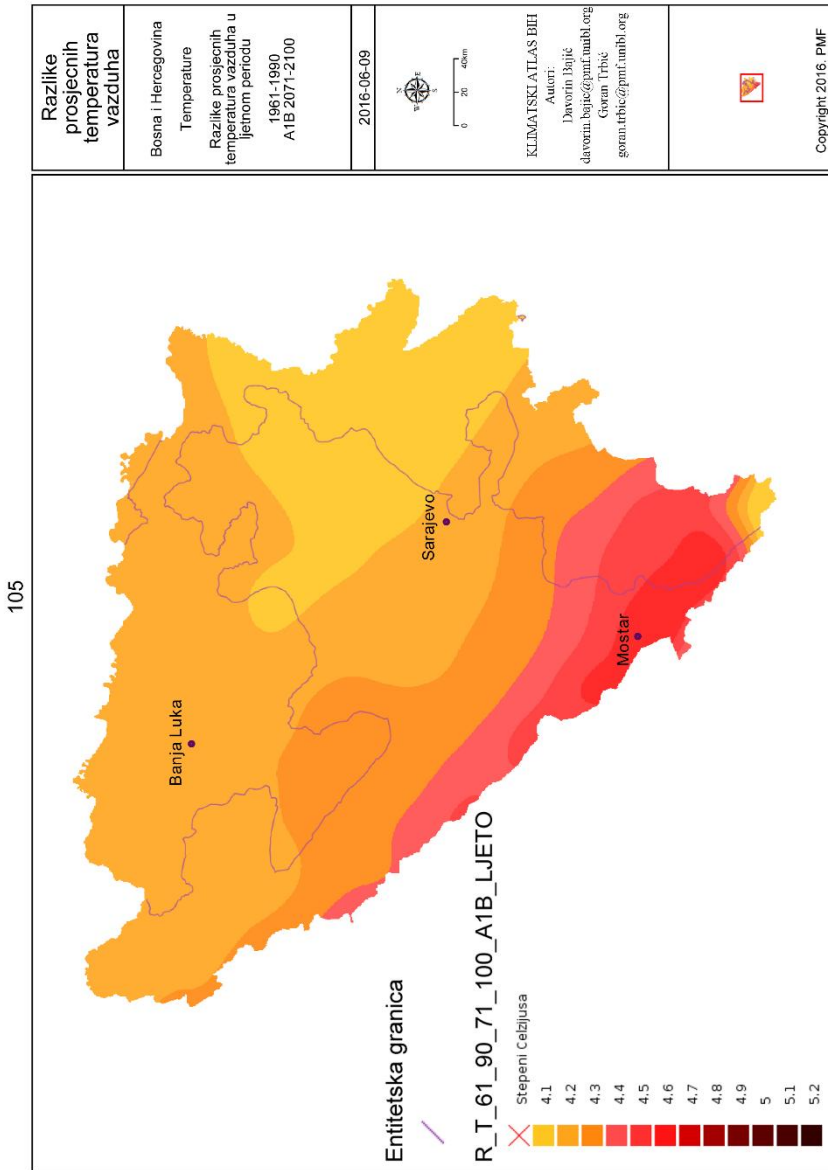
Сл. 15.80. Разлике просјечних температура ваздуха у вегетационом периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.80. Differences in average air temperature during the growing season 1961–1990. A1B 2071–2100.



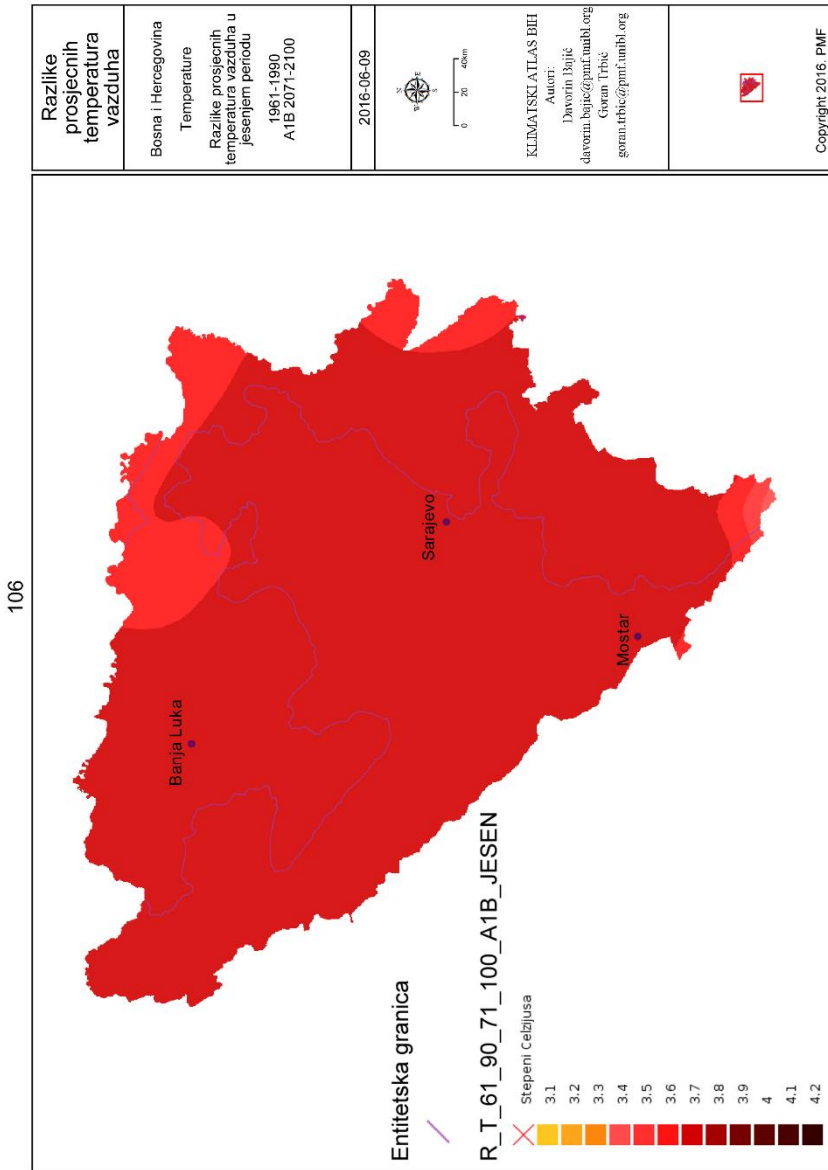
Сл. 15.81. Разлике просјечних температура ваздуха у прољетном периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.81. Differences in average air temperature in the spring 1961–1990. A1B 2071–2100.



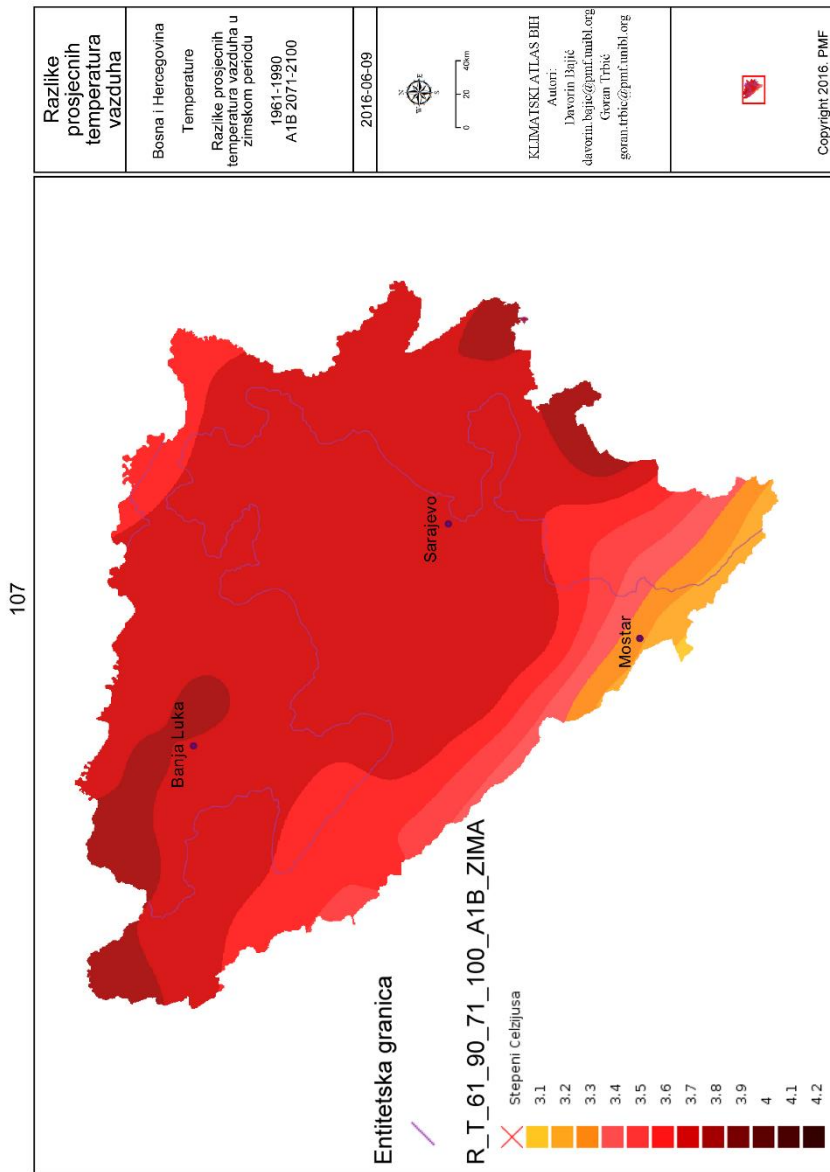
Сл. 15.82. Разлике просјечних температура ваздуха у љетном периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.82. Differences in average air temperature in the summer 1961–1990. A1B 2071–2100.



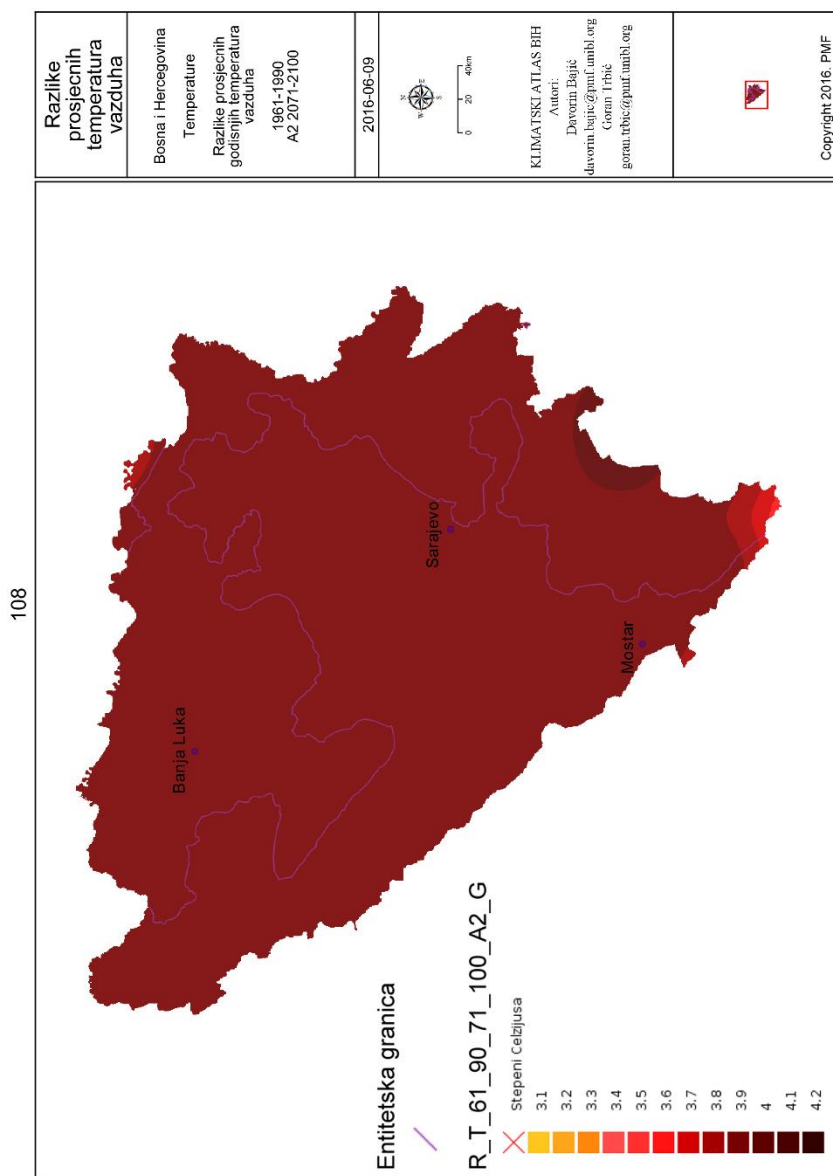
Сл. 15.83. Разлике просјечних температура ваздуха у јесењем периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.83. Differences in average air temperature in the autumn 1961–1990. A1B 2071–2100.



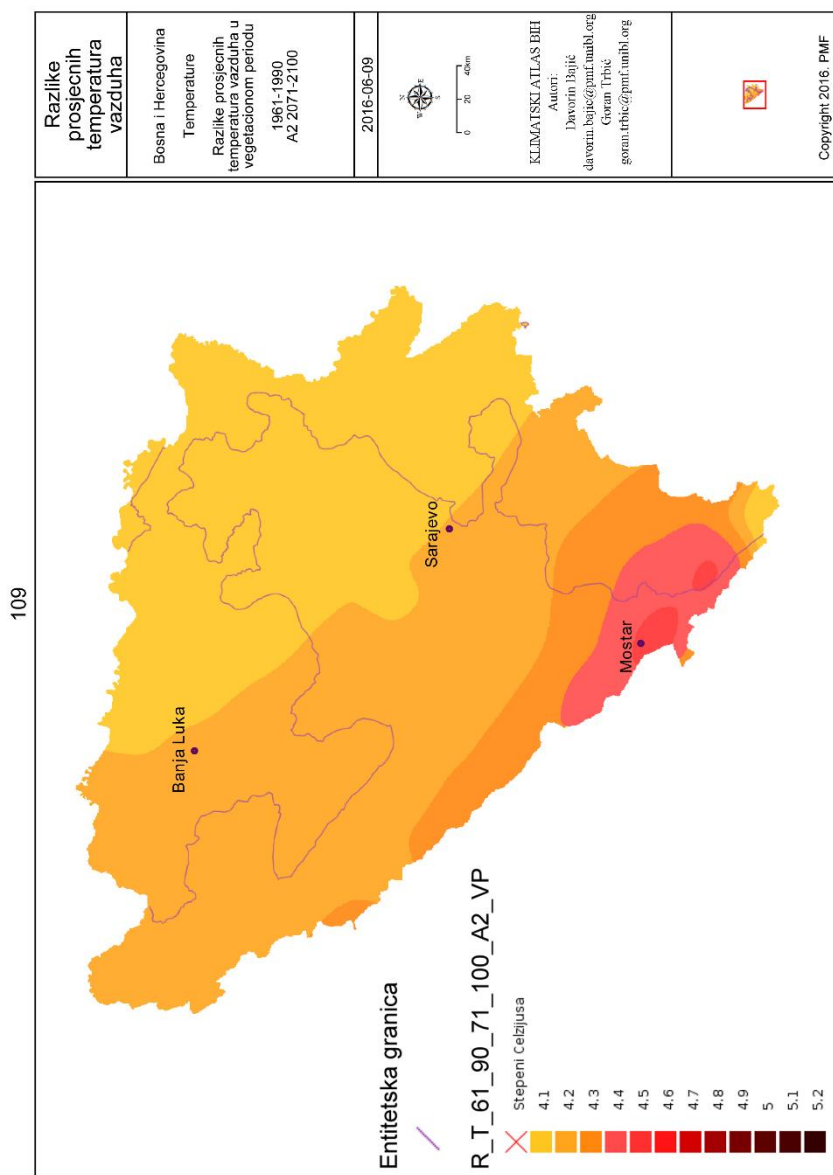
Сл. 15.84. Разлике просјечних температура ваздуха у зимском периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.84. Differences in average air temperature in the winter 1961–1990. A1B 2071–2100.



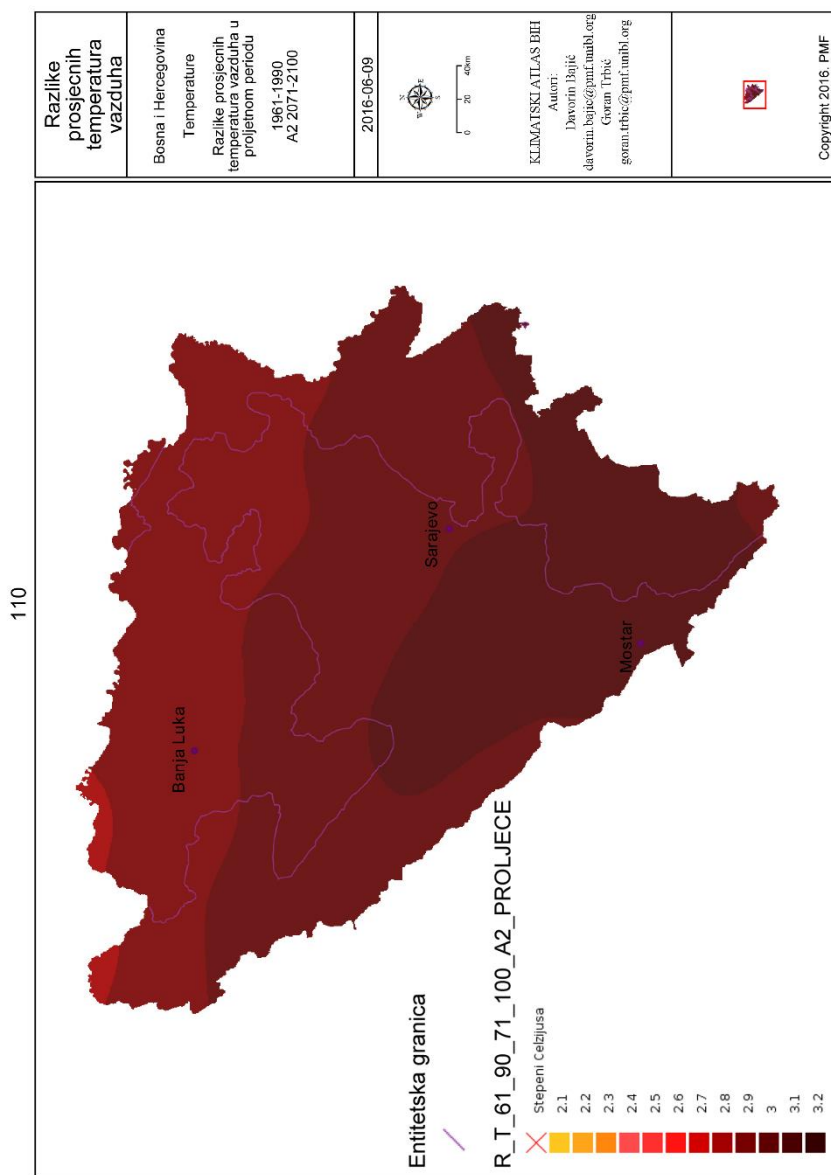
Сл. 15.85. Разлике просјечних годишњих температура ваздуха 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.85. Differences in average annual air temperature 1961–1990. A2 2071–2100.



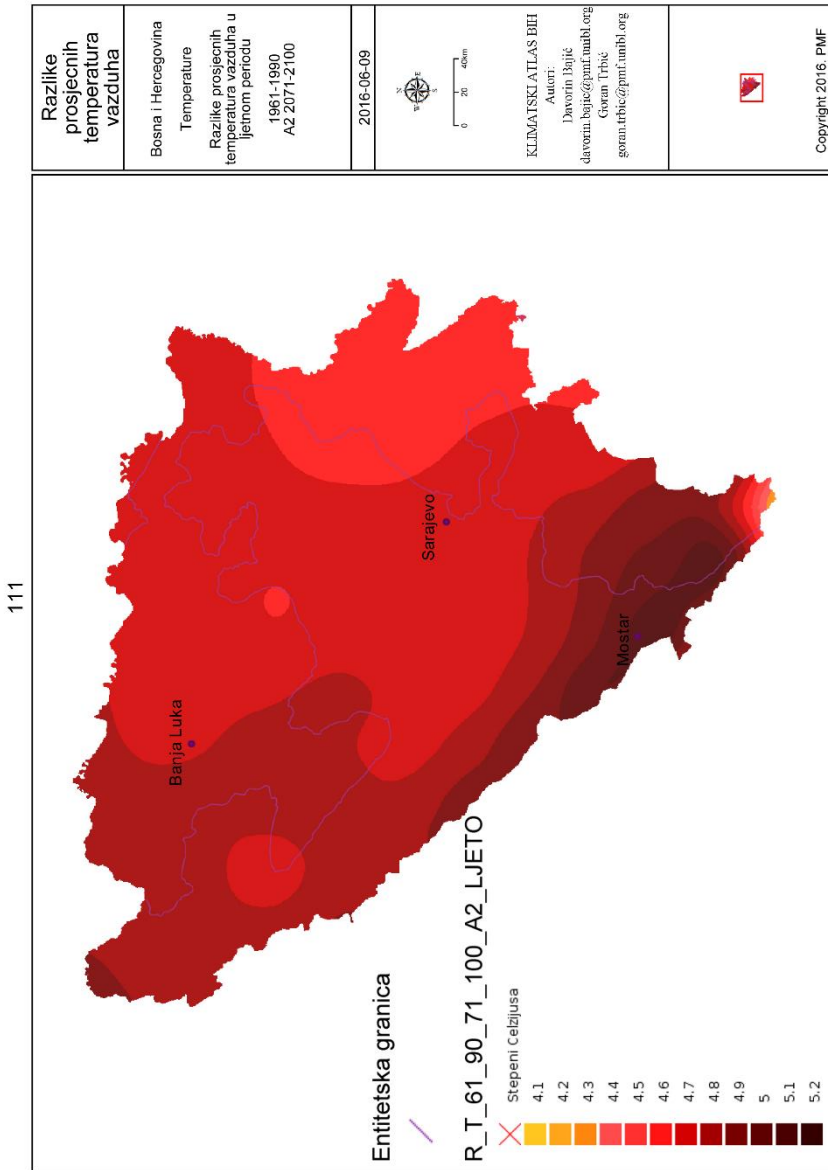
Сл. 15.86. Разлике просјечних температура ваздуха у вегетационом периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.86. Differences in average air temperature during the growing season 1961–1990. A2 2071–2100.



Сл. 15.87. Разлике просјечних температура ваздуха у прољетном периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

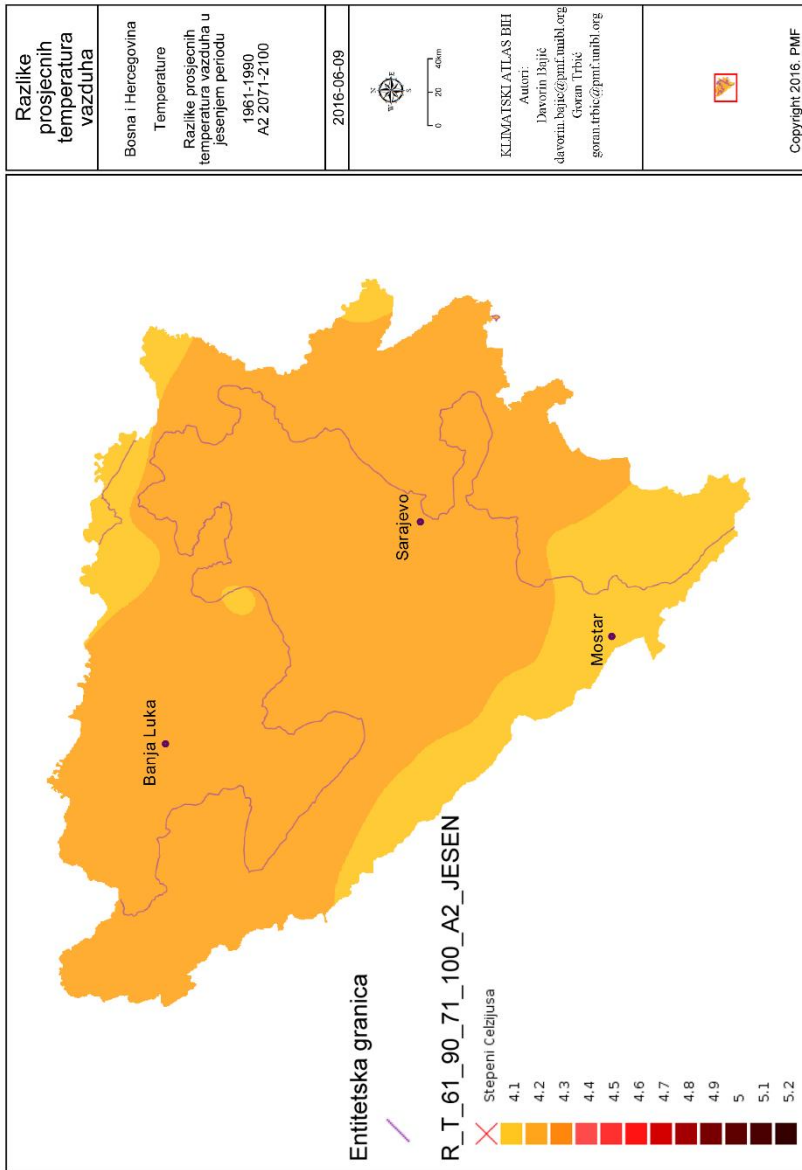
Fig. 15.87. Differences in average air temperature in the spring 1961–1990. A2 2071–2100.



Сл. 15.88. Разлике просјечних температура ваздуха у љетном периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.88. Differences in average air temperature in the summer 1961–1990. A2 2071–2100.

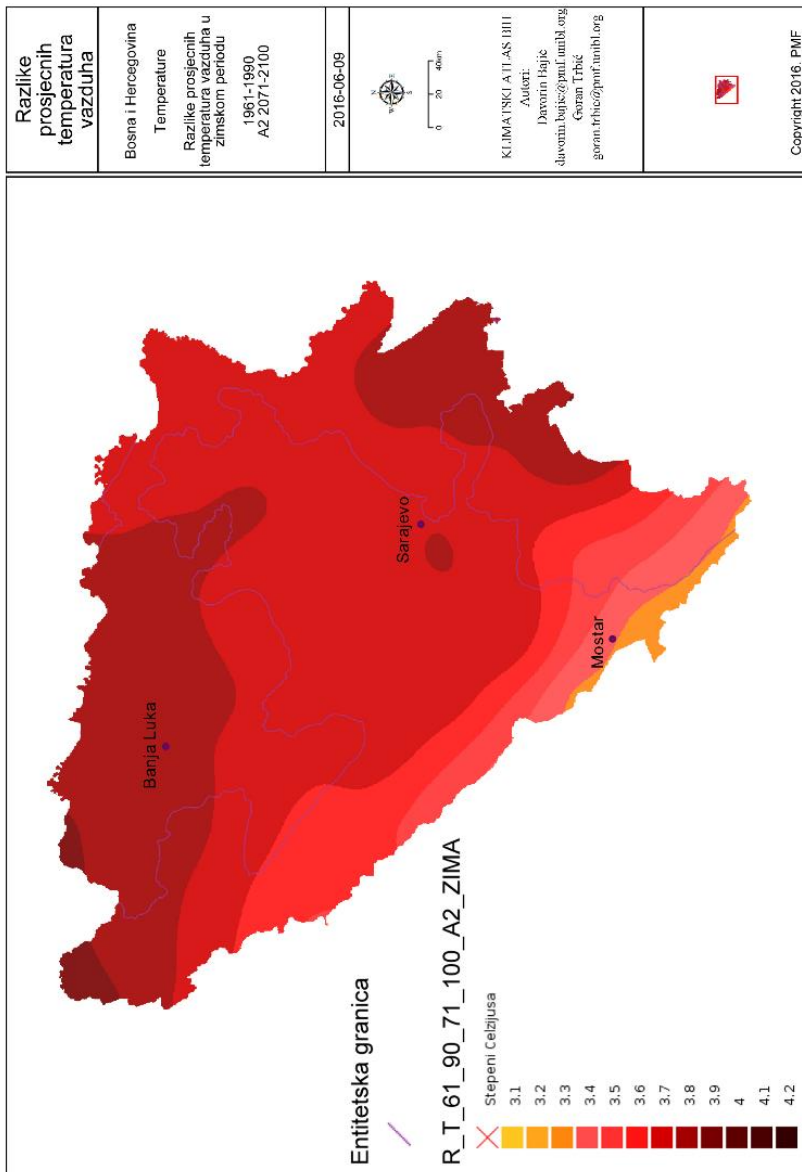
112



Сл. 15.89. Разлике просјечних температура ваздуха у јесењем периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

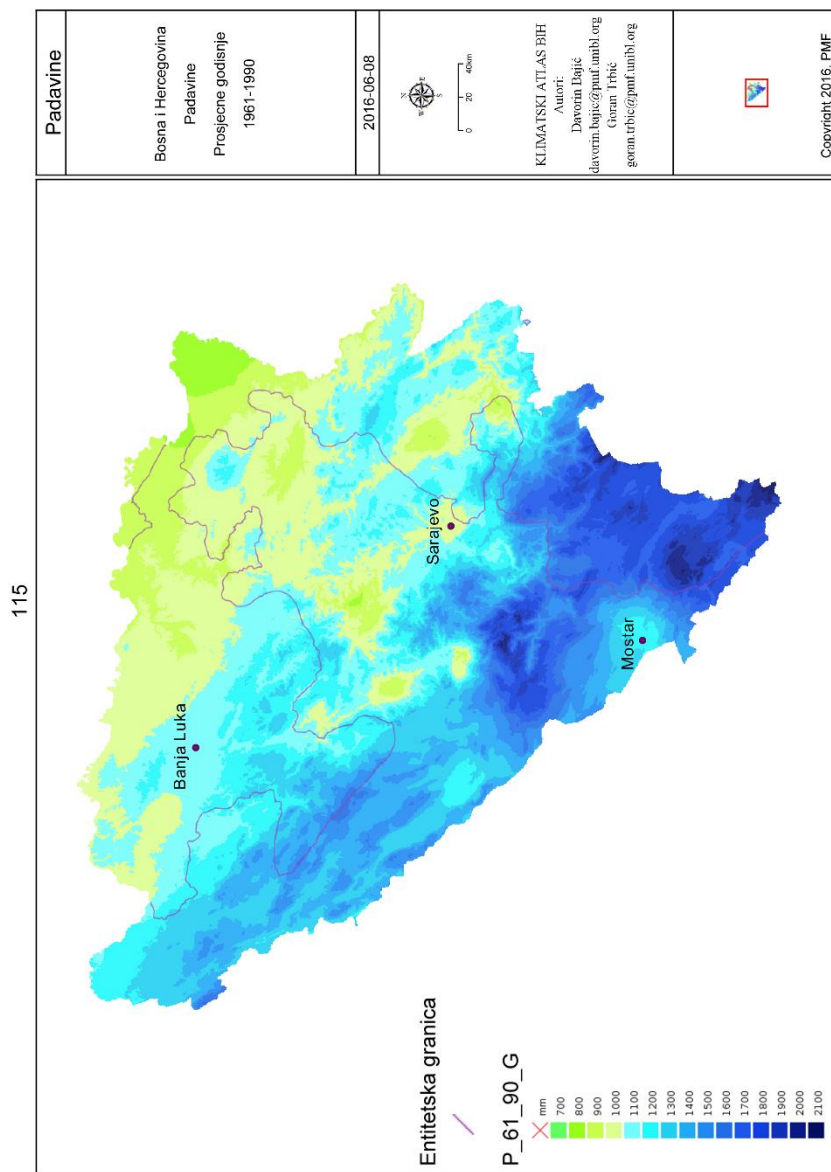
Fig. 15.89. Differences in average air temperature in the autumn 1961–1990. A2 2071–2100.

113



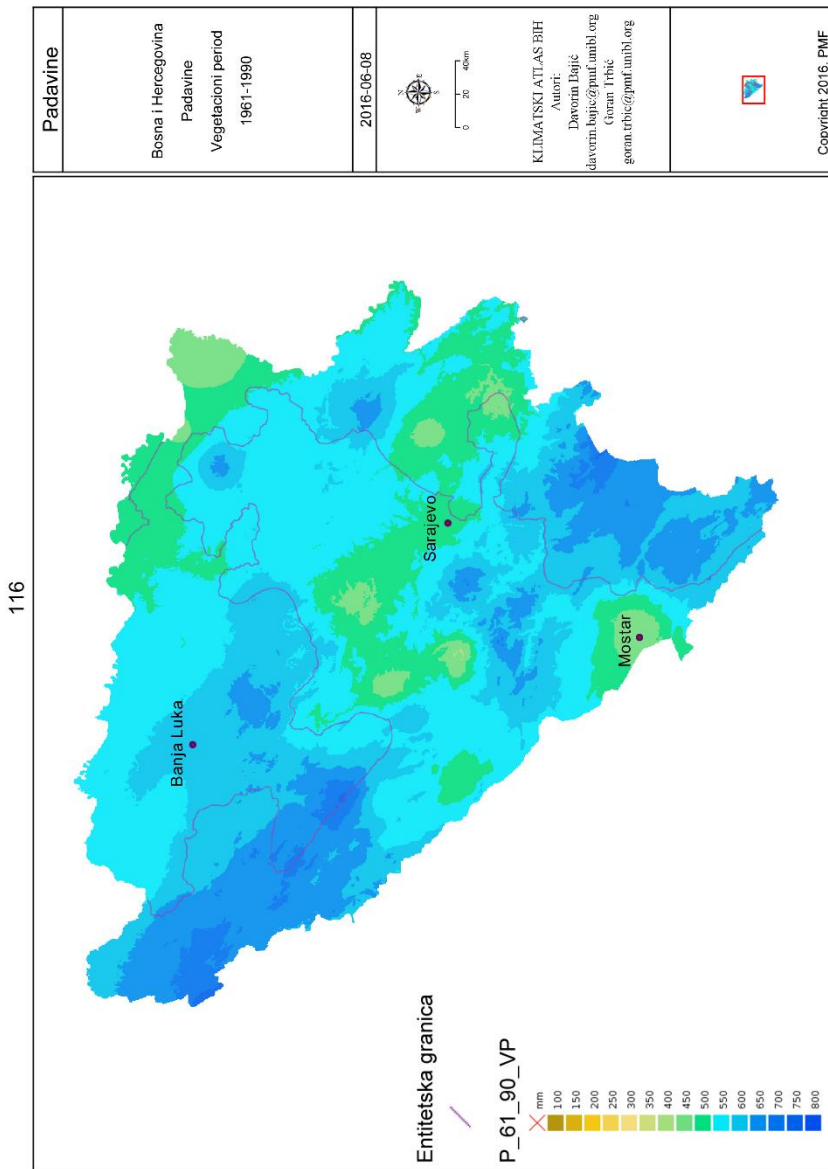
Сл. 15.90. Разлике просјечних температура ваздуха у зимском периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.90. Differences in average air temperature in the winter 1961–1990. A2 2071–2100.



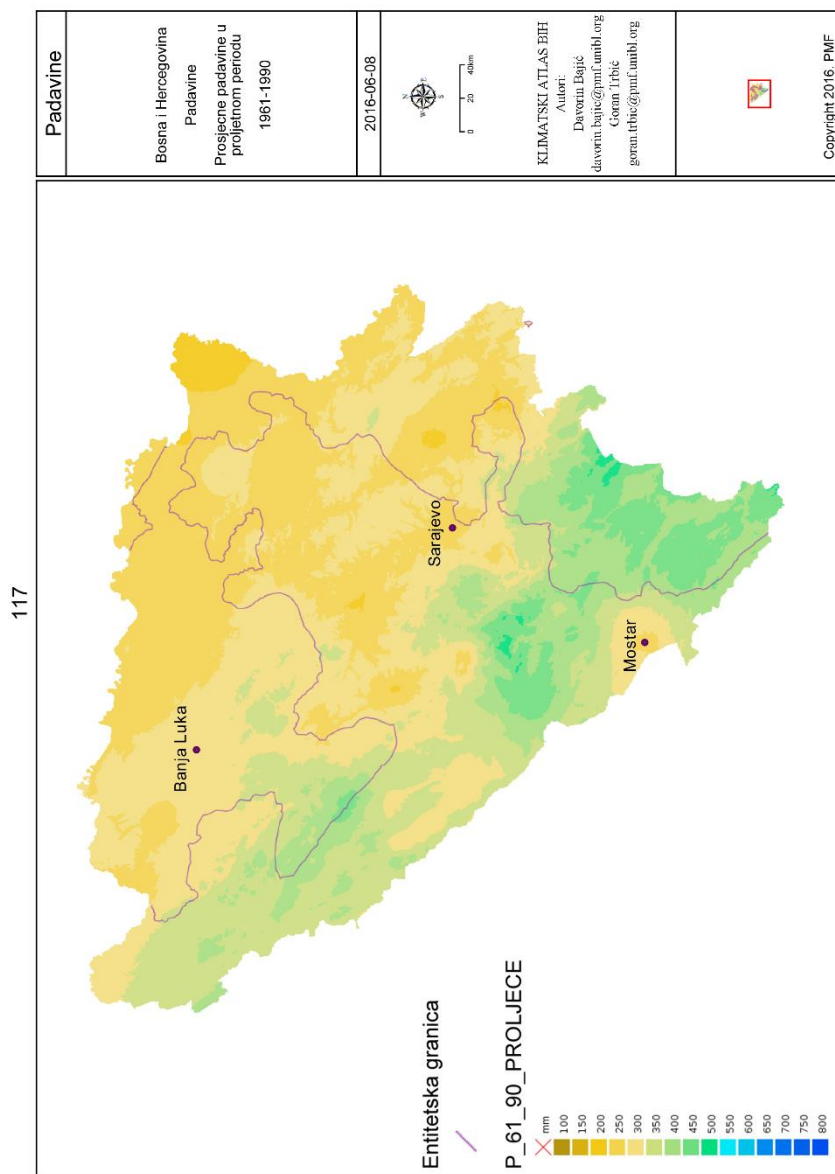
Сл. 15.91. Просјечне годишње падавине 1961–1990.

Fig. 15.91. Average annual precipitation 1961–1990.



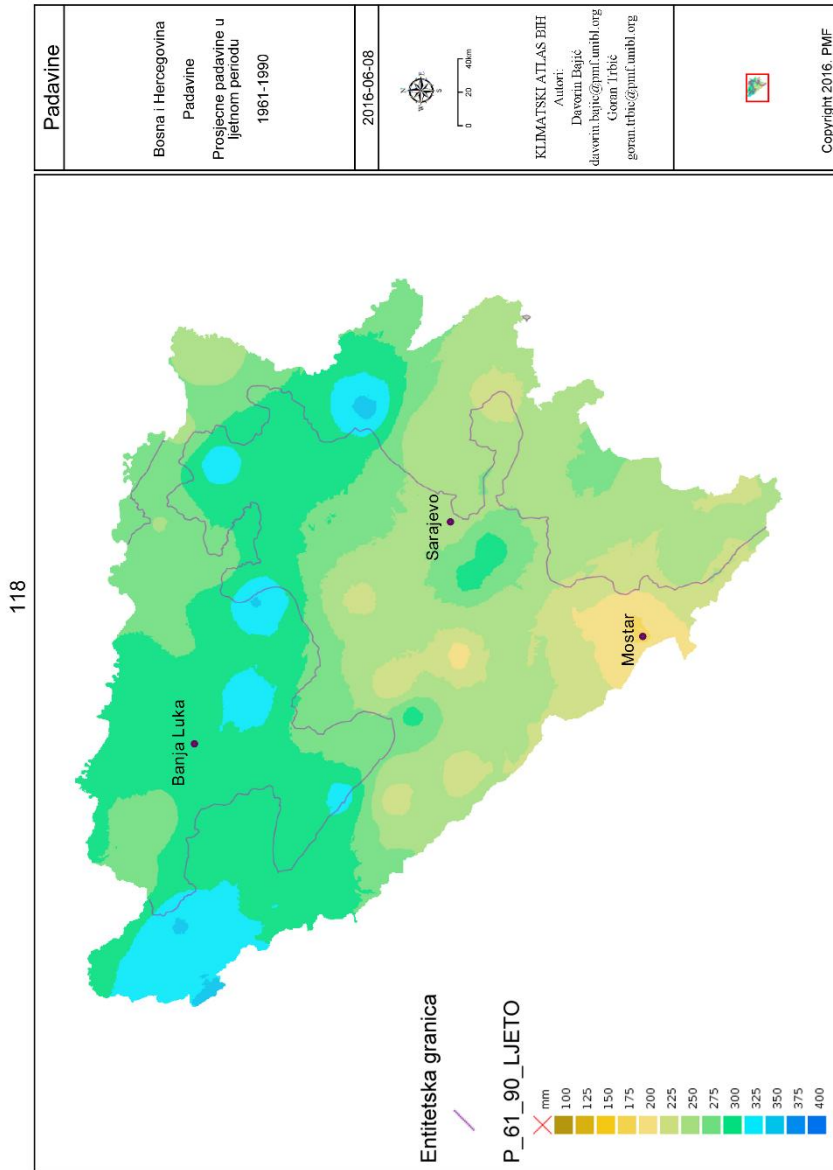
Сл. 15.92. Просјечне падавине у вегетационом периоду 1961–1990.

Fig. 15.92. Average precipitation in the growing season 1961–1990.



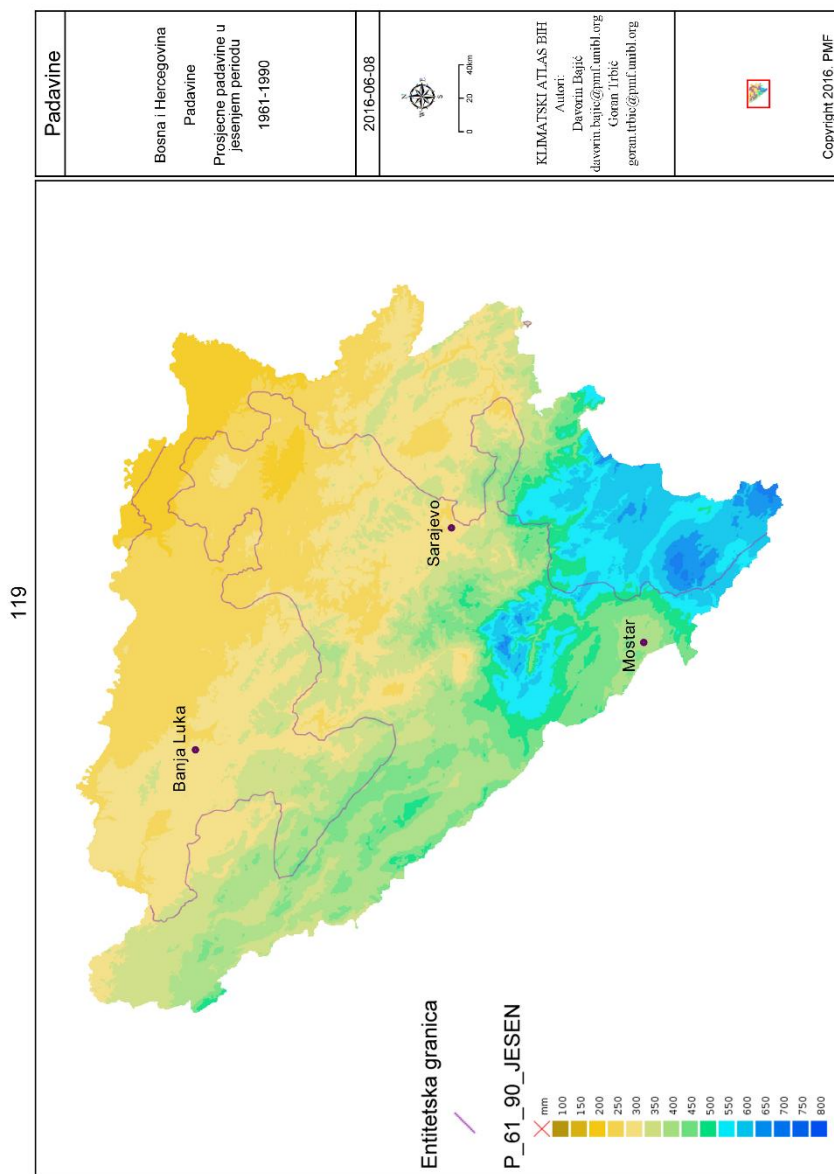
Сл. 15.93. Просјечне падавине у прољетном периоду 1961–1990.

Fig. 15.93. Average precipitation in the spring 1961–1990.



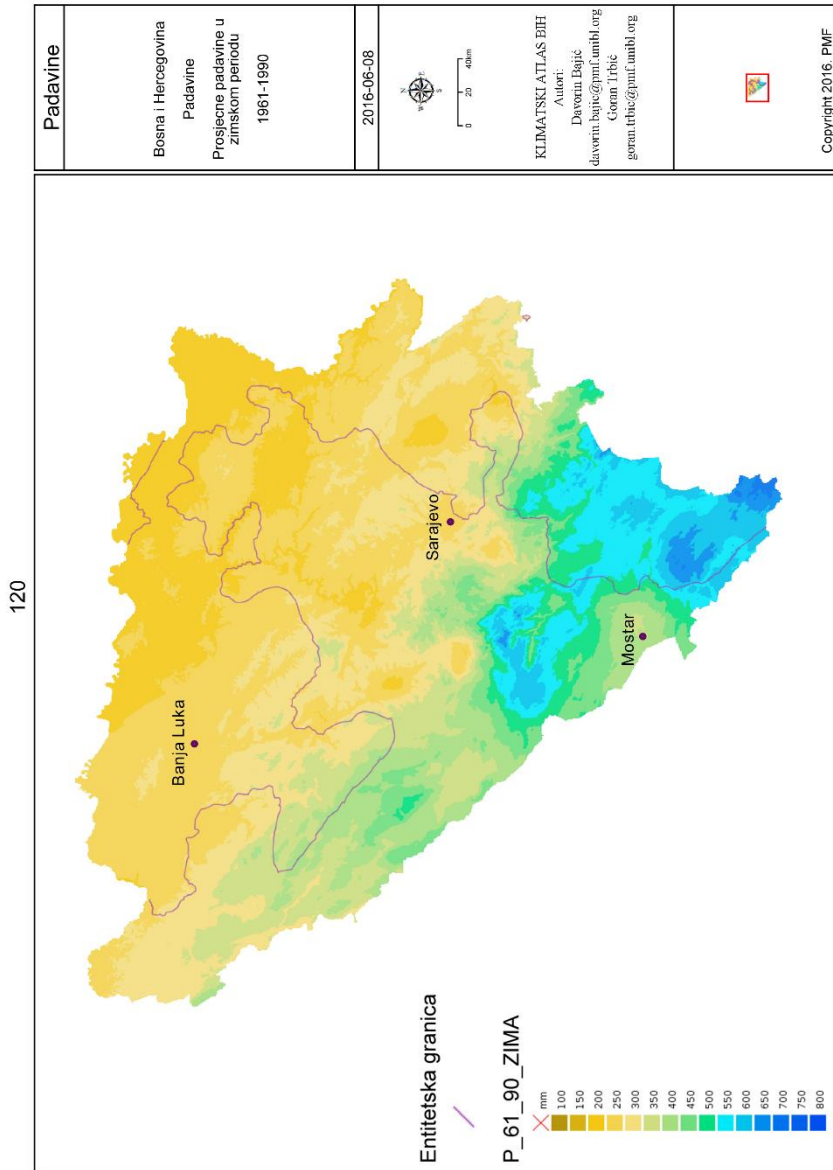
Сл. 15.94. Просјечне падавине у љетном периоду 1961–1990.

Fig. 15.94. Average precipitation in the summer 1961–1990.



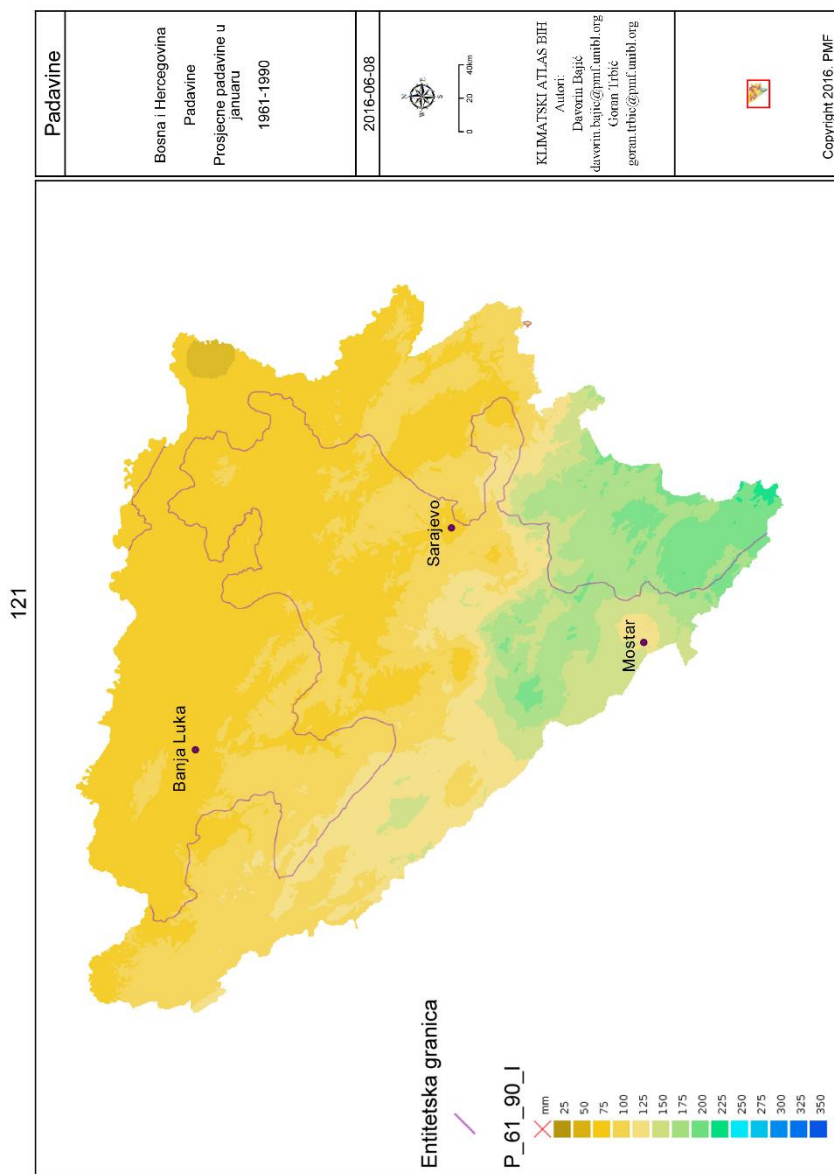
Сл. 15.95. Просјечне падавине у јесењем периоду 1961–1990.

Fig. 15.95. Average precipitation in the autumn 1961–1990.



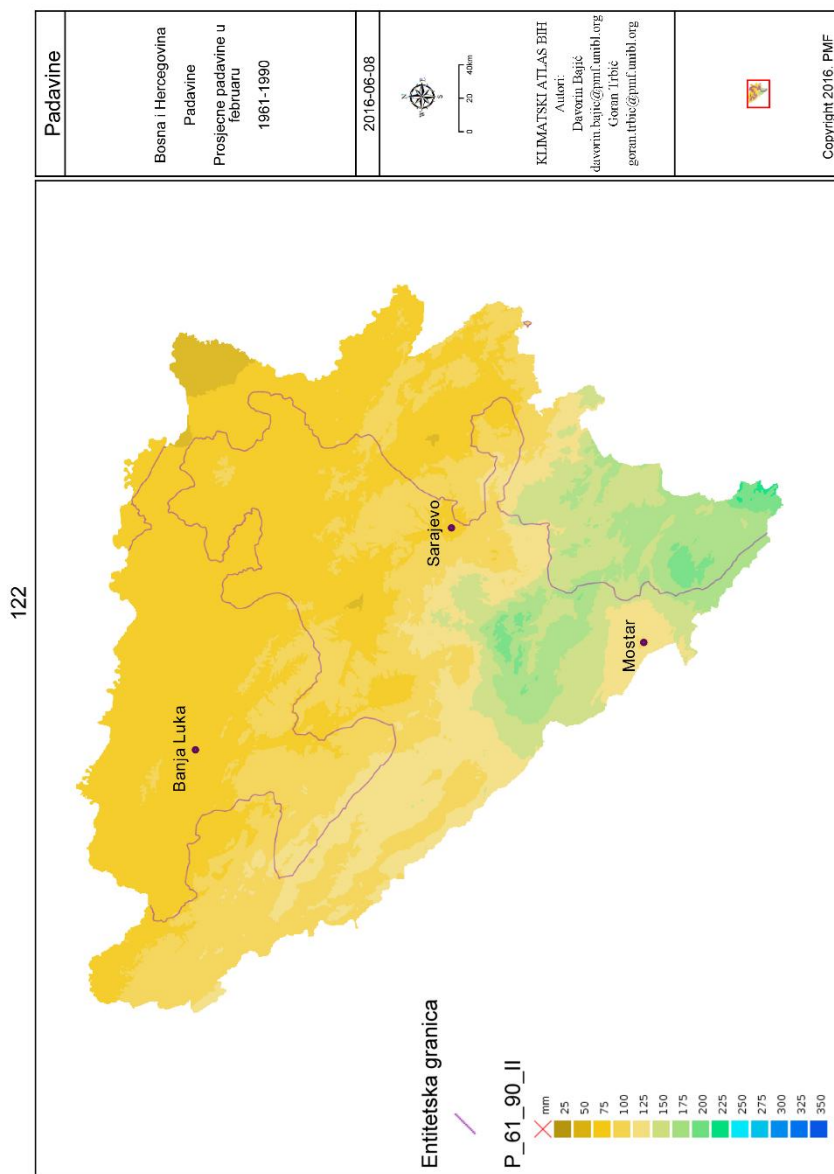
Сл. 15.96. Просјечне падавине у зимском периоду 1961–1990.

Fig. 15.96. Average precipitation in the winter 1961–1990.



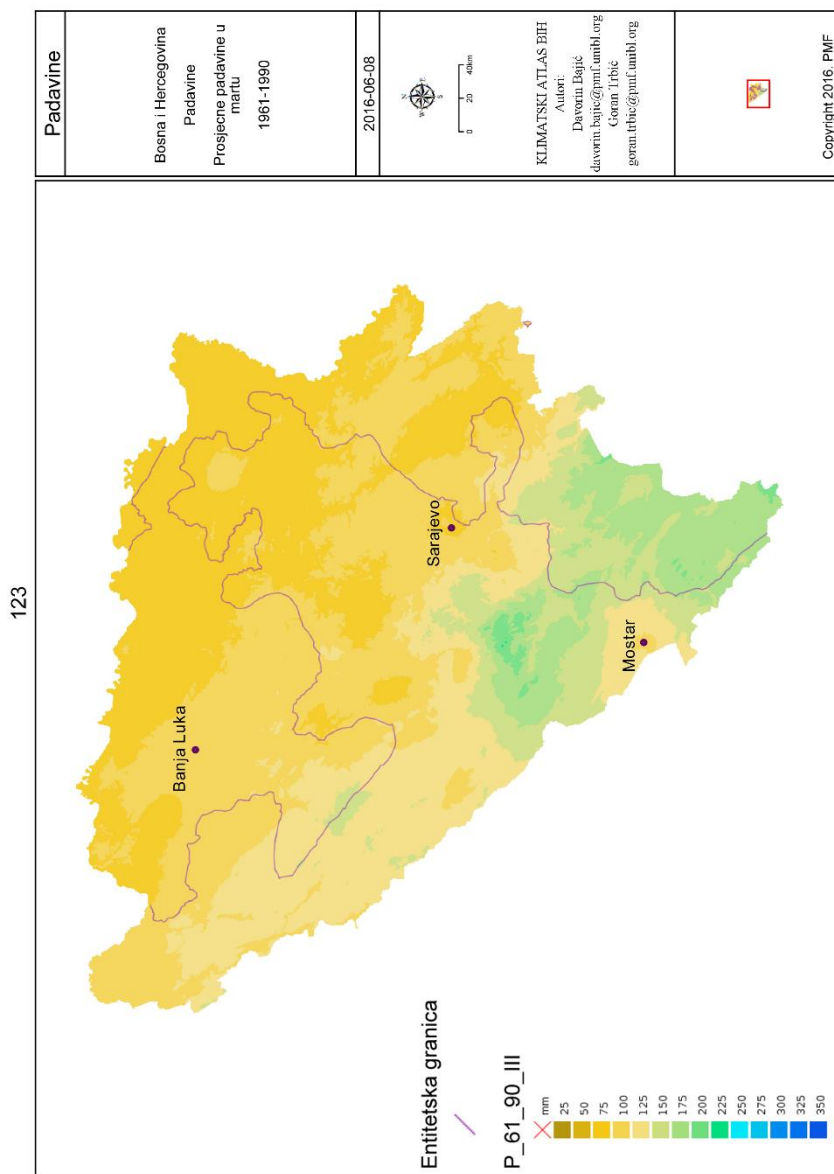
Сл. 15.97. Просјечне падавине у јануару 1961–1990.

Fig. 15.97. Average precipitation in January 1961–1990.



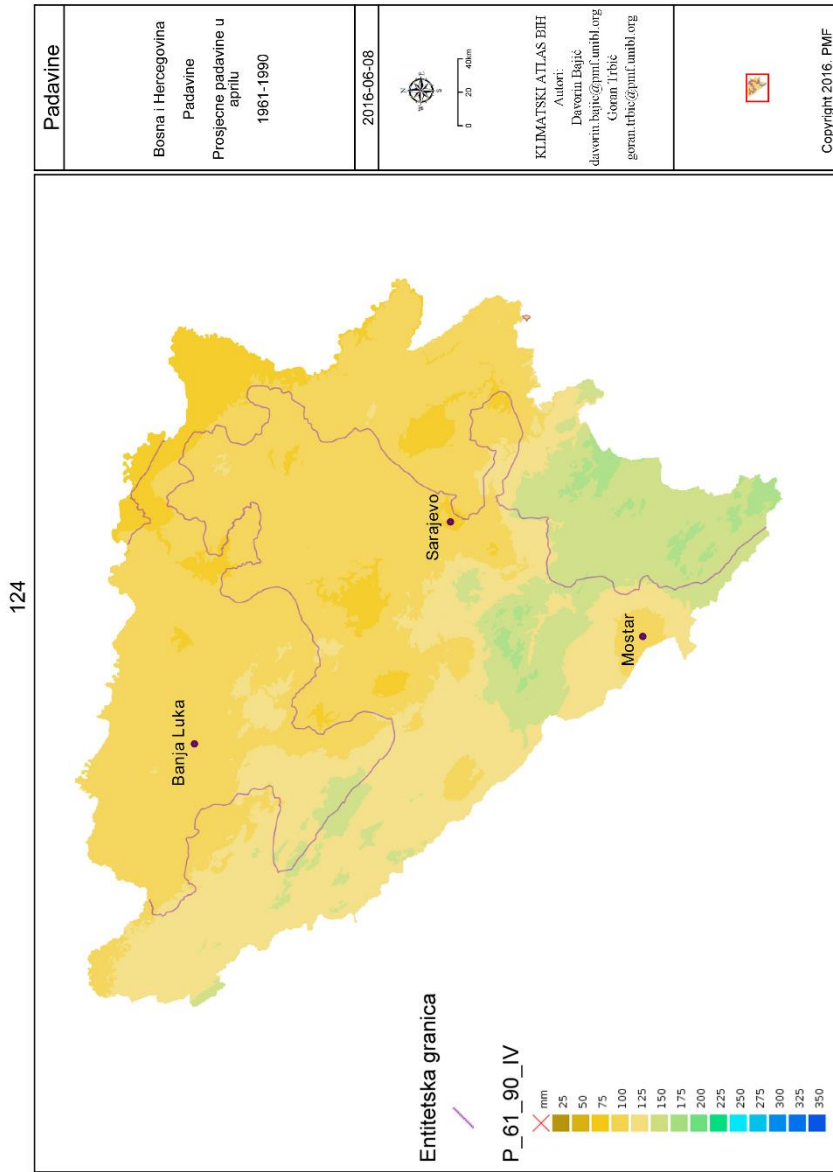
Сл. 15.98. Просјечне падавине у фебруару 1961–1990.

Fig.15.98. Average precipitation in February 1961–1990.

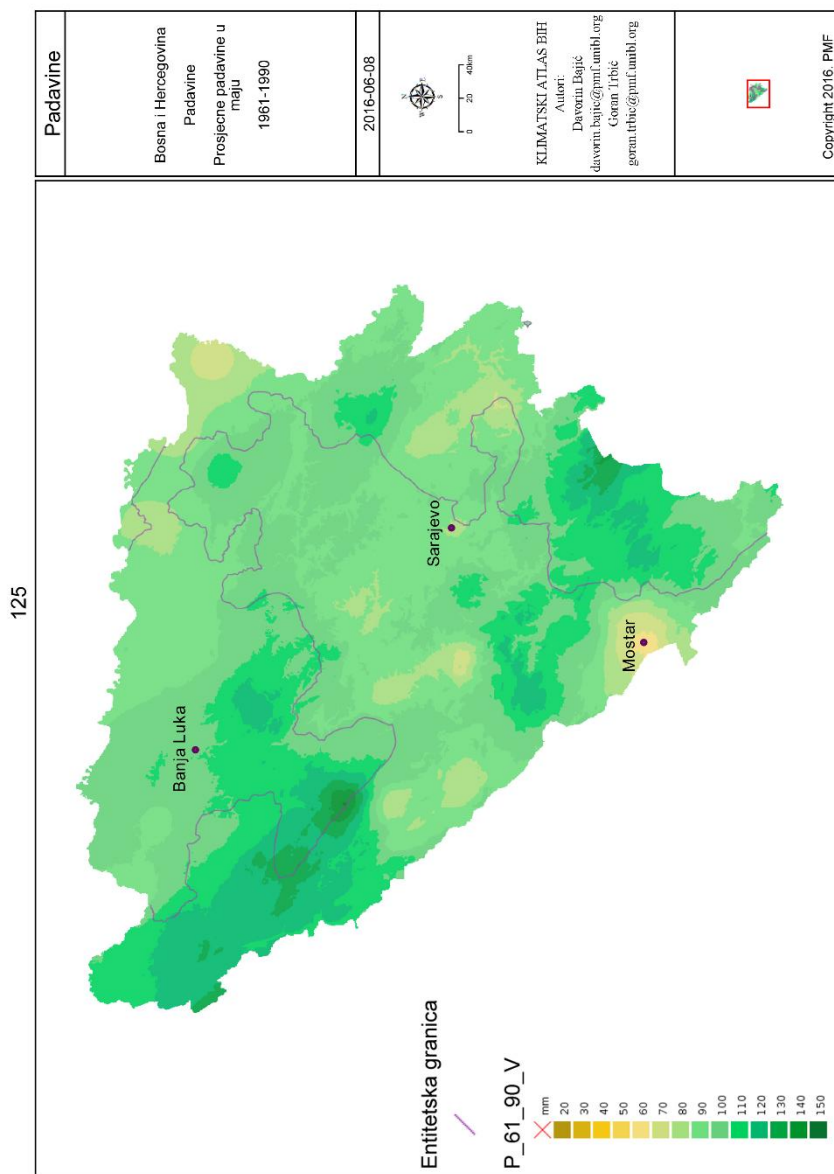


Сл. 15.99. Просјечне падавине у марту 1961–1990.

Fig. 15.99. Average precipitation in March 1961–1990.

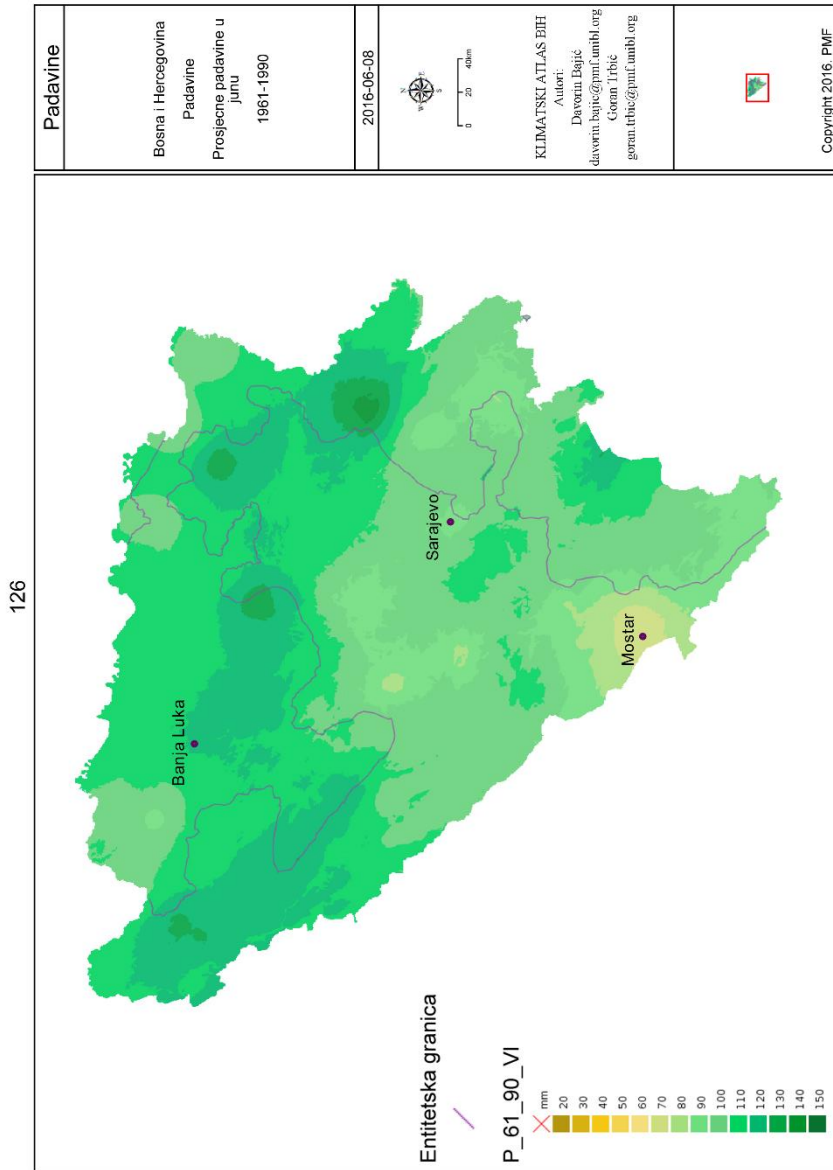


Сл. 15.100. Просјечне падавине у априлу 1961–1990.
 Fig. 15.100. Average precipitation in April 1961–1990.

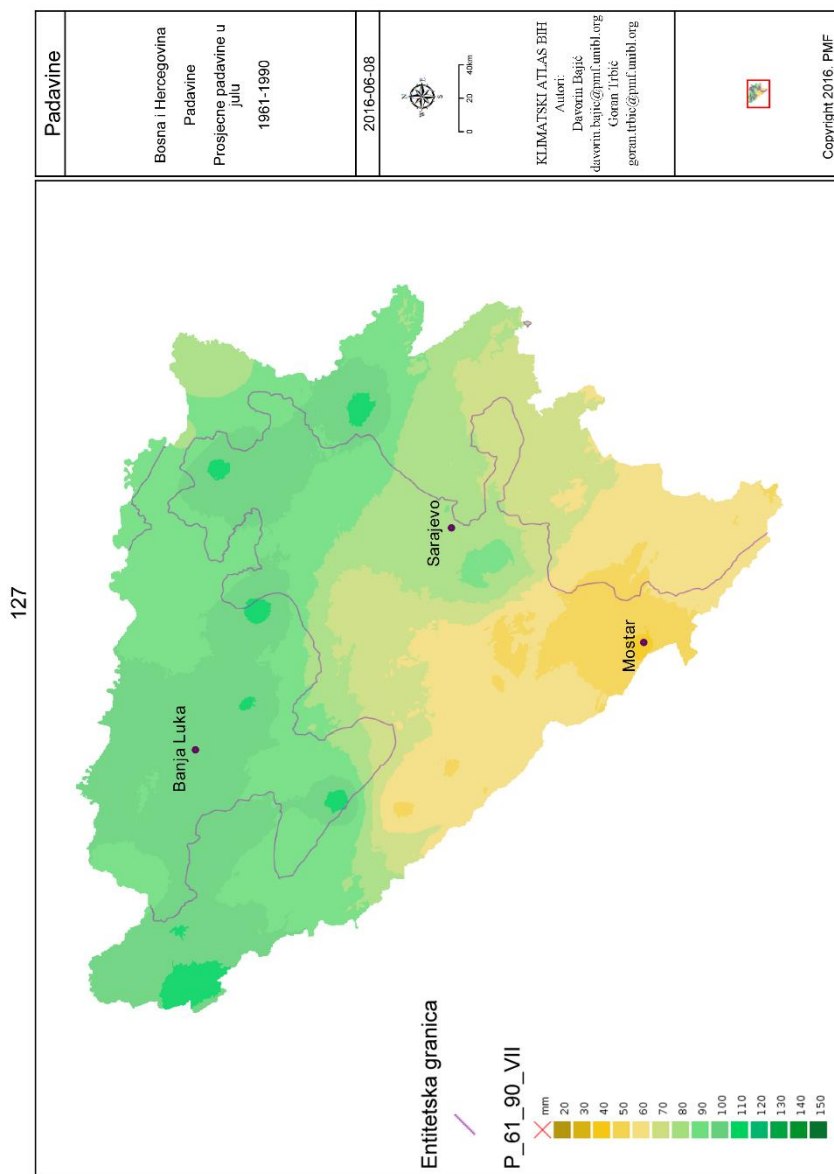


Сл. 15.101. Просјечне падавине у мају 1961–1990.

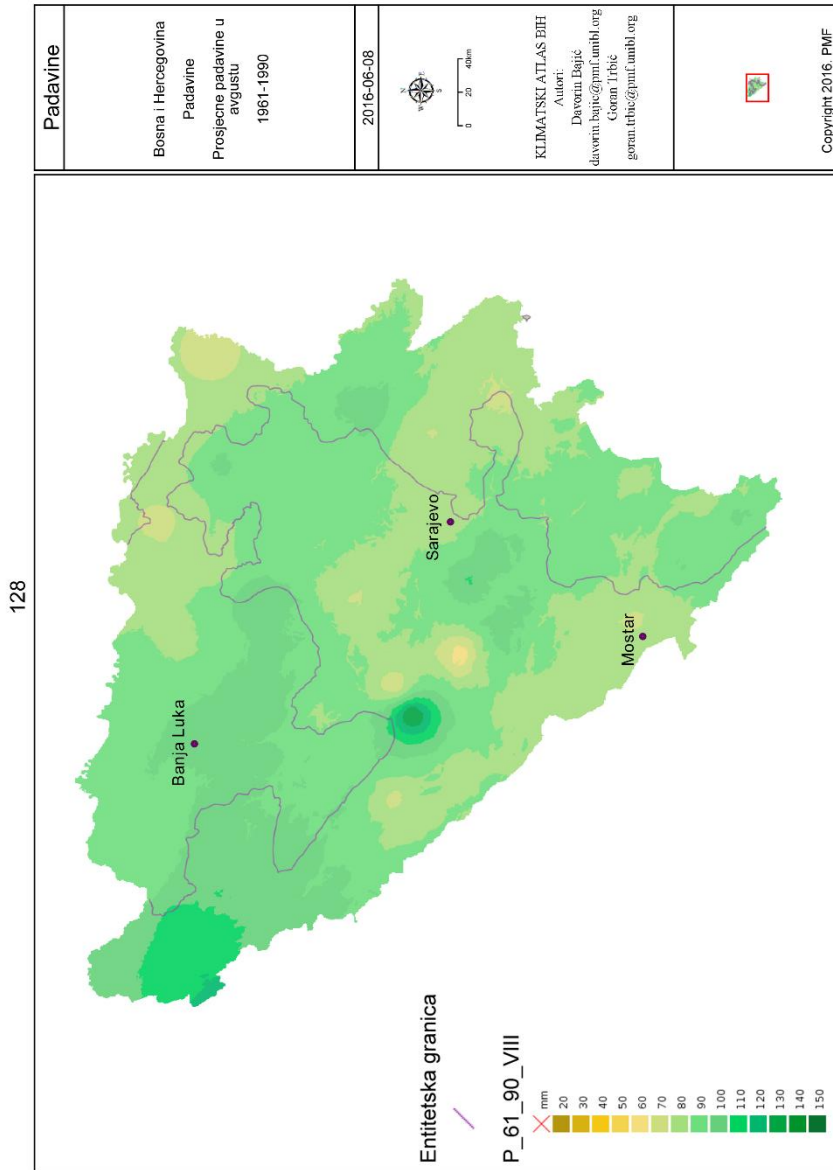
Fig. 15.101. Average precipitation in May 1961–1990.



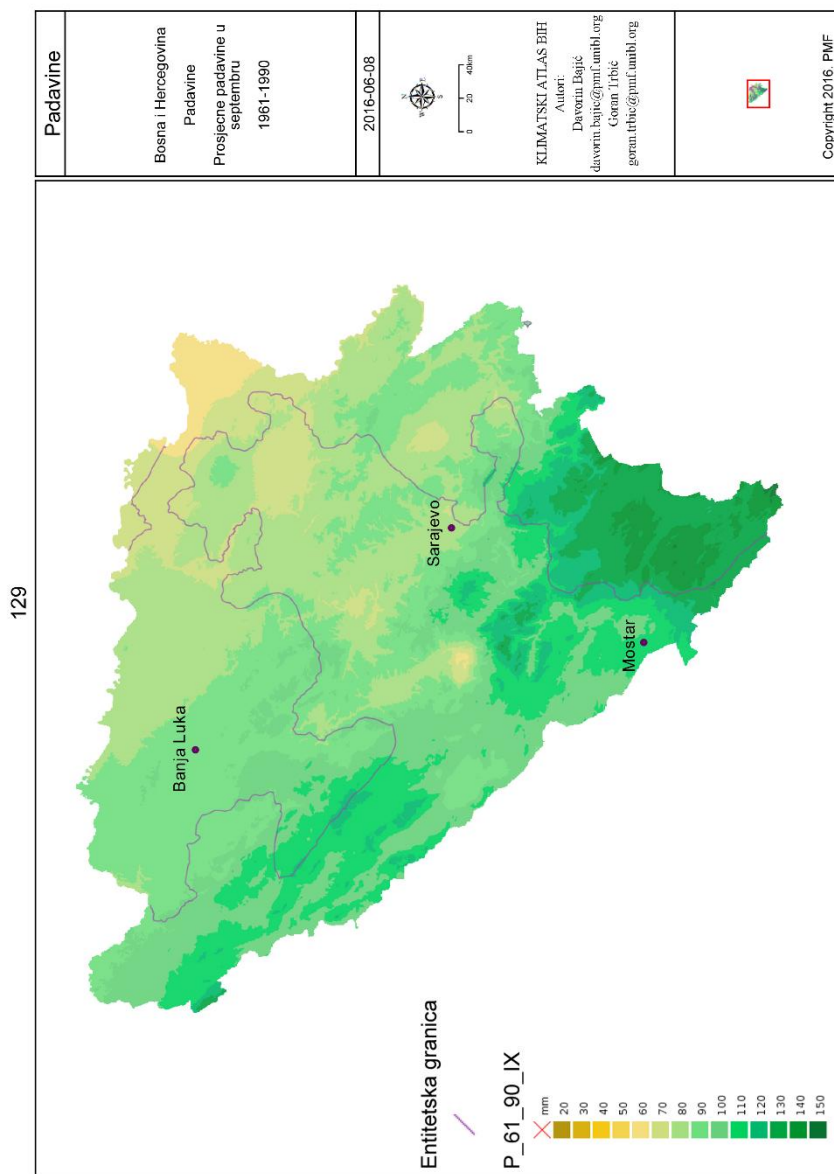
Сл. 15.102. Просјечне падавине у јуну 1961–1990.
 Fig. 15.102. Average precipitation in June 1961–1990.



Сл. 15.103. Просјечне падавине у јулу 1961–1990.
 Fig. 15.103. Average precipitation in July 1961–1990.

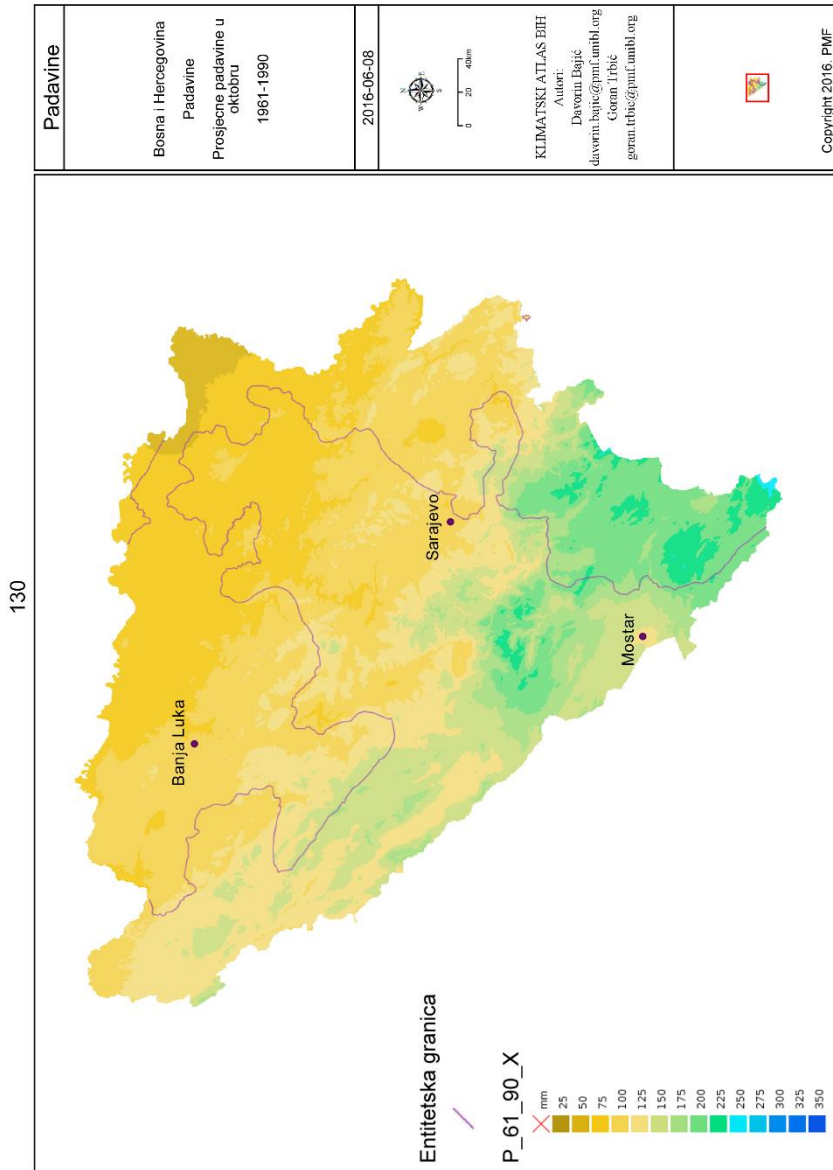


Сл. 15.104. Просјечне падавине у августу 1961–1990.
 Fig. 15.104. Average precipitation in August 1961–1990.

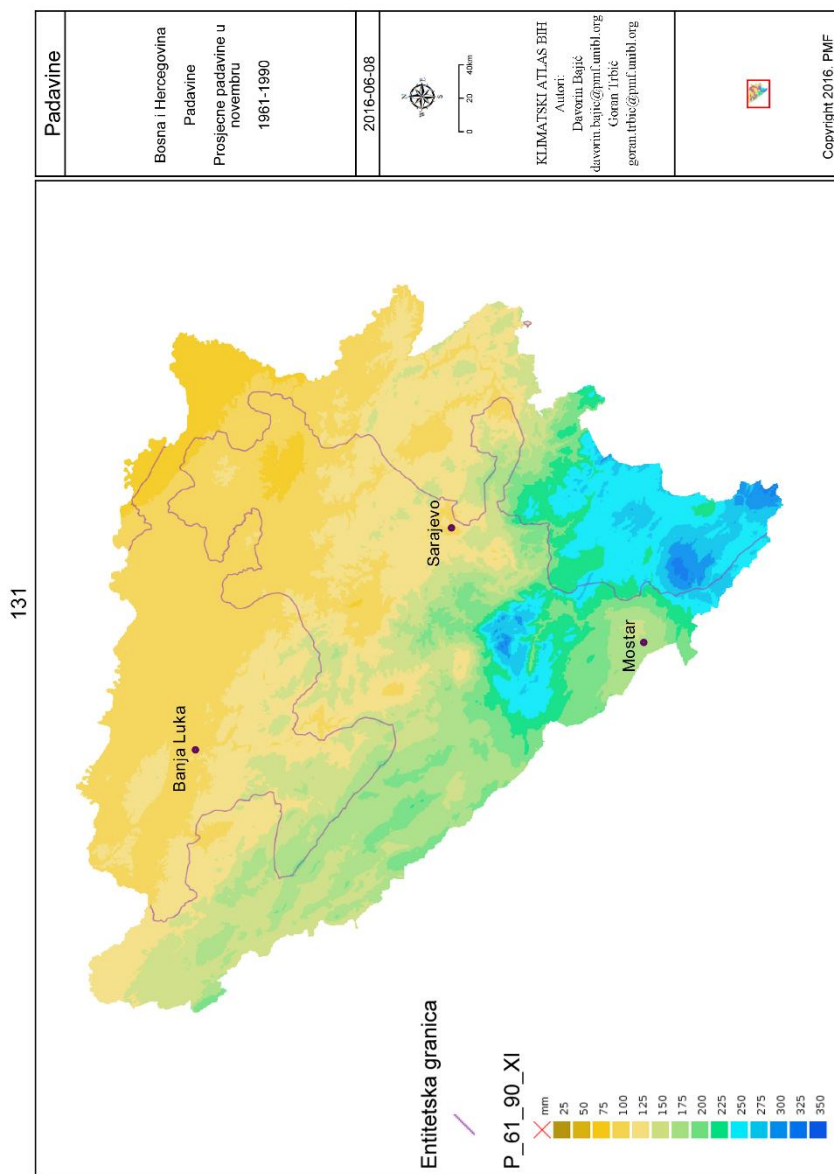


Сл. 15.105. Просјечне падавине у септембру 1961–1990.

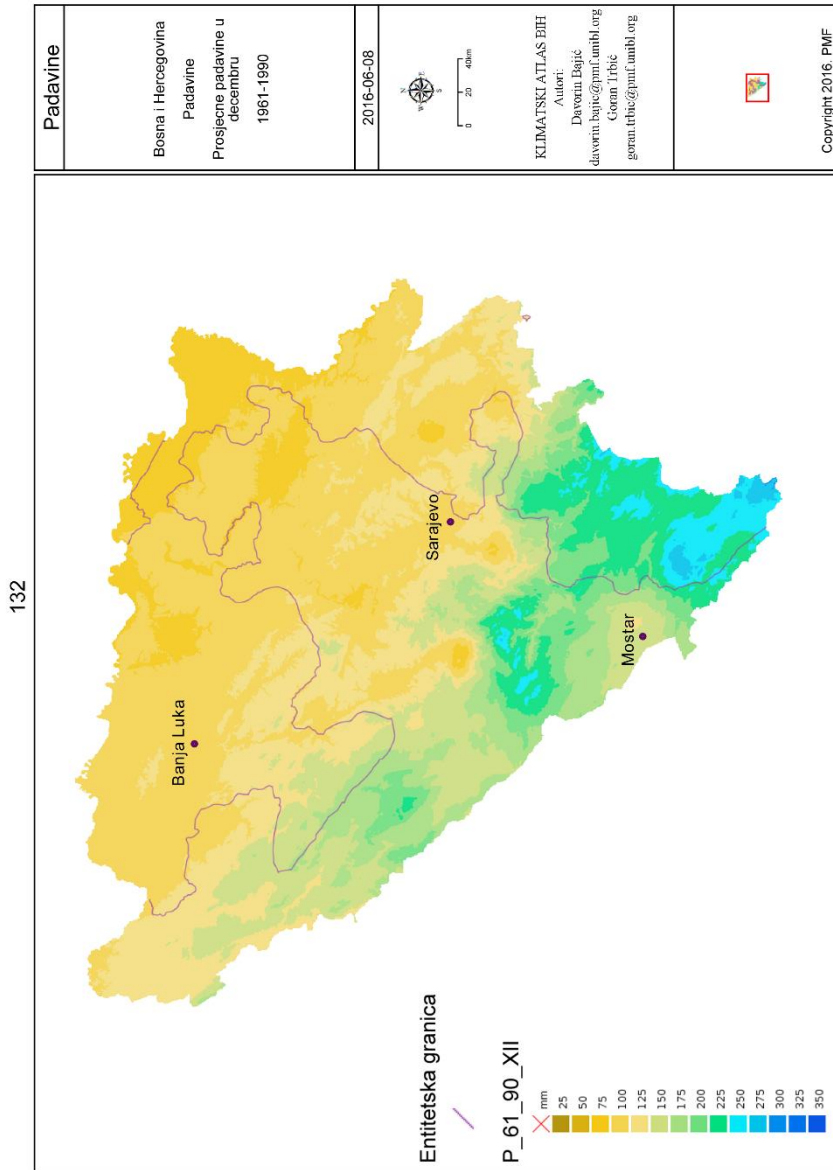
Fig. 15.105. Average precipitation in September 1961–1990.



Сл. 15.106. Просјечне падавине у октобру 1961–1990.
 Fig. 15.106. Average precipitation in October 1961–1990.

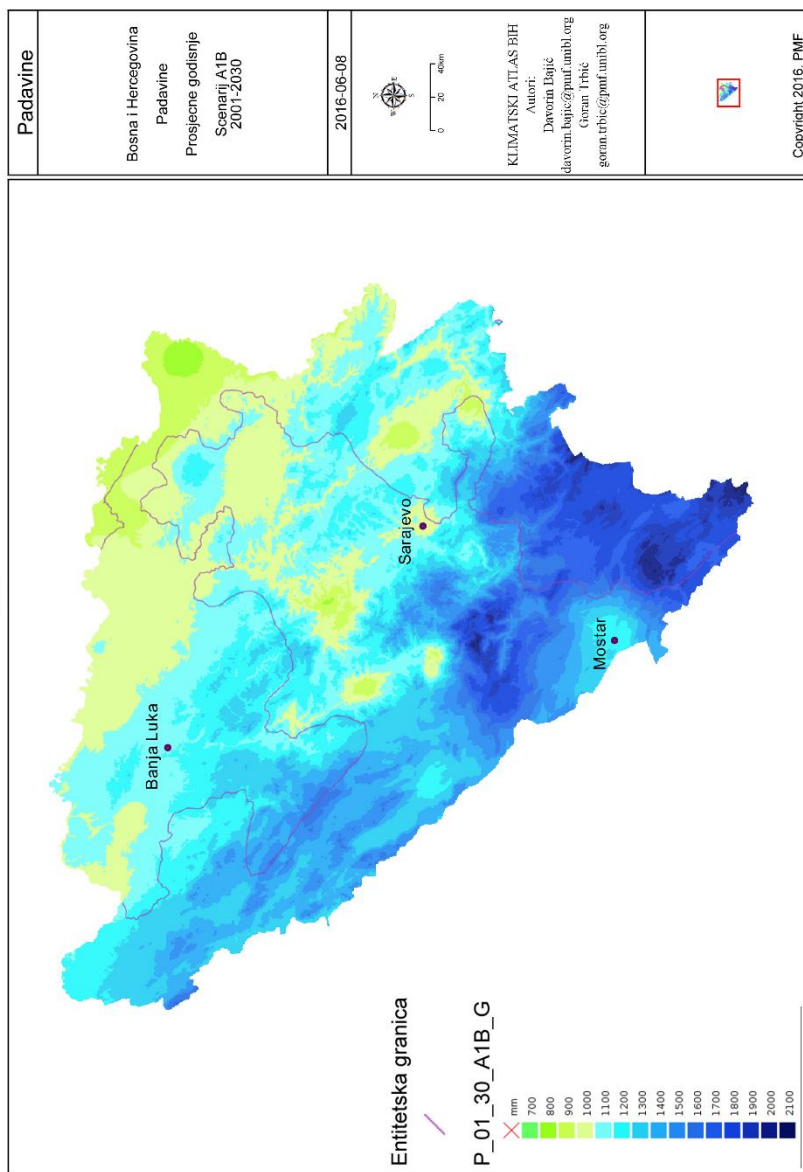


Сл. 15.107. Просјечне падавине у новембру 1961–1990.
 Fig. 15.107. Average precipitation in November 1961–1990.



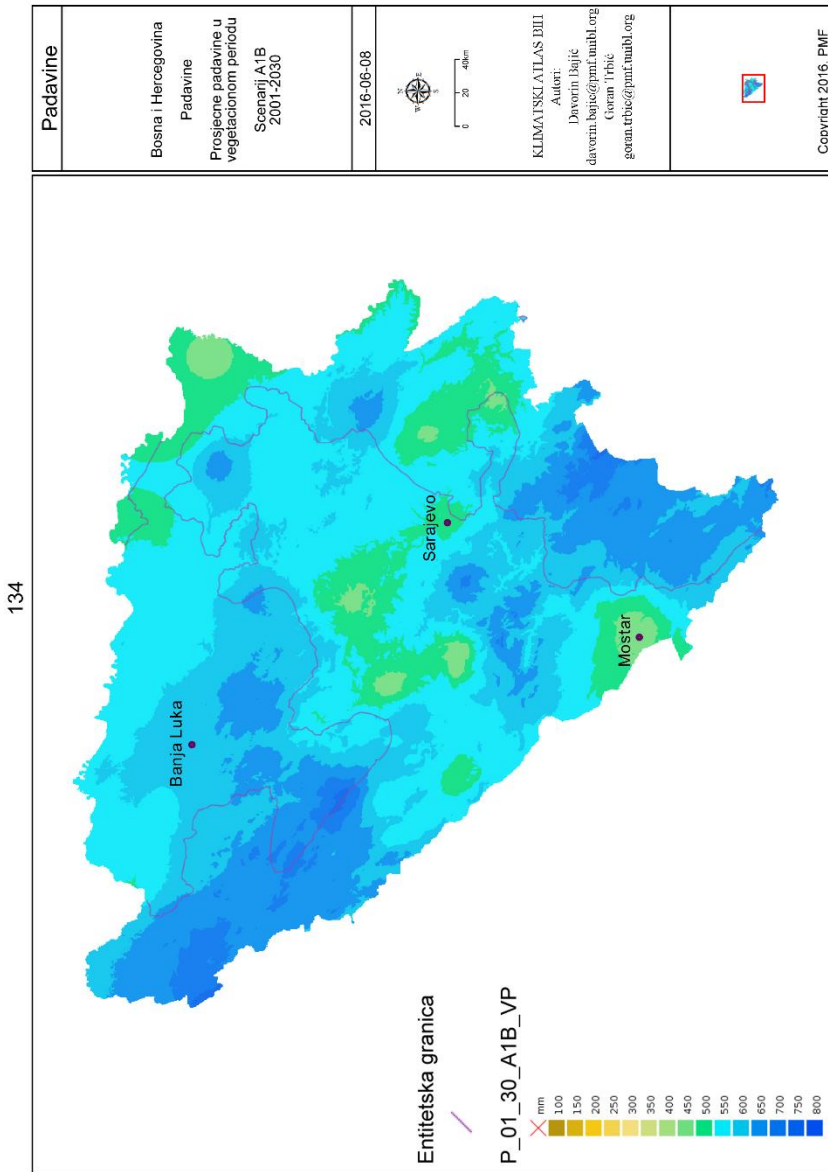
Сл. 15.108. Просјечне падавине у децембру 1961–1990.
 Fig. 15.108. Average precipitation in December 1961–1990.

133



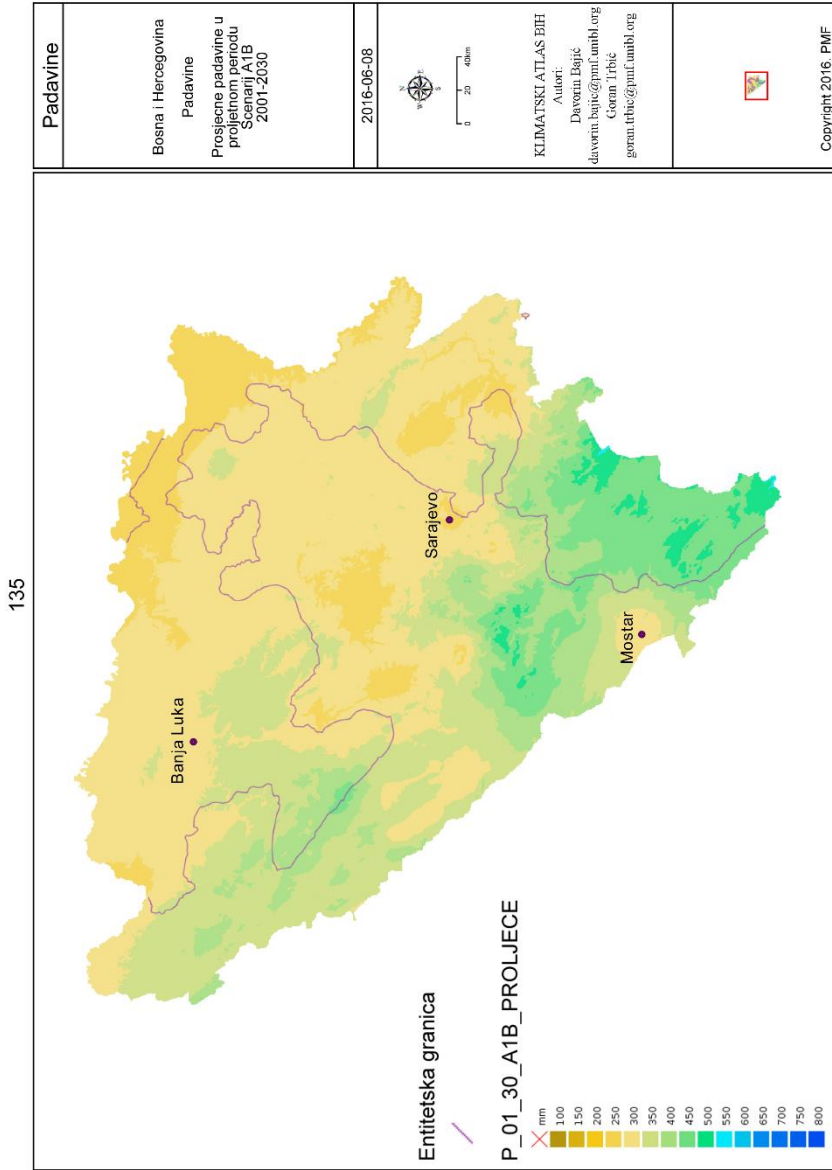
Сл. 15.109. Просјечне годишње падавине, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.109. Average annual precipitation, scenario A1B 2001–2030.



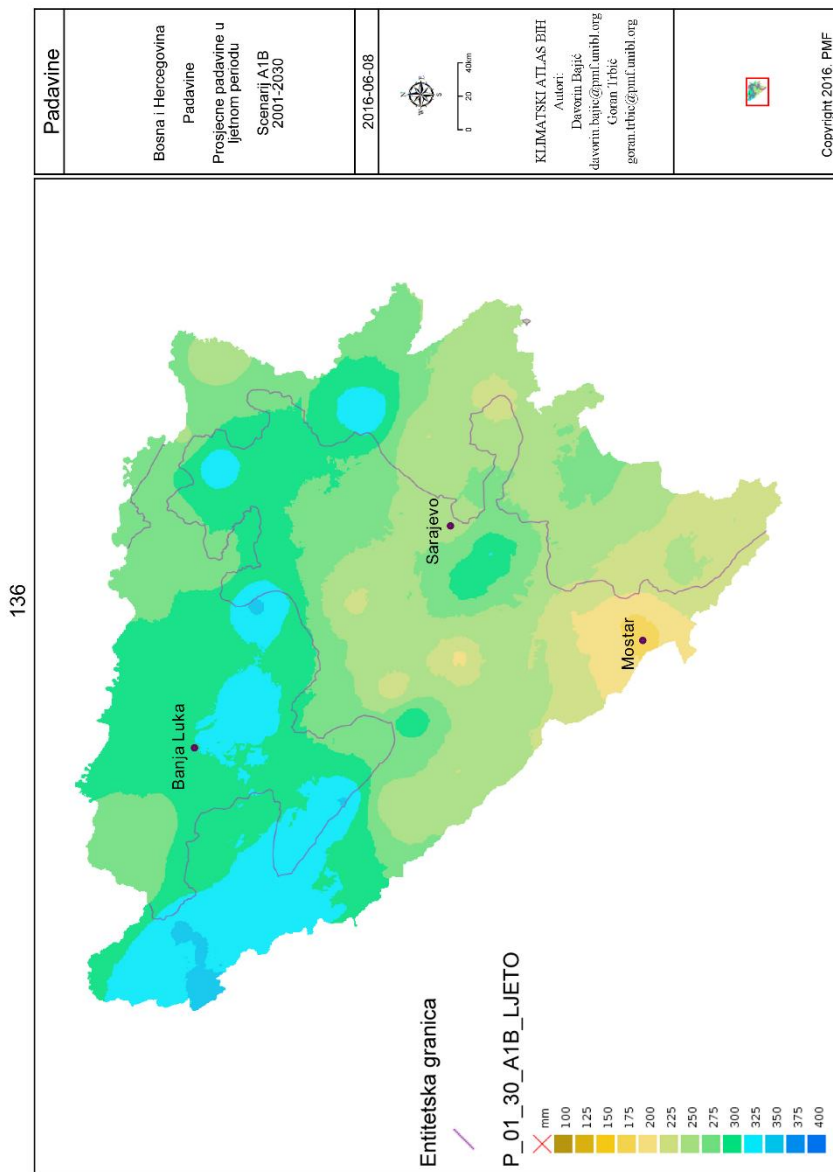
Сл. 15.110. Просјечне падавине у вегетационом периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.110. Average precipitation during the growing season, scenario A1B 2001–2030.



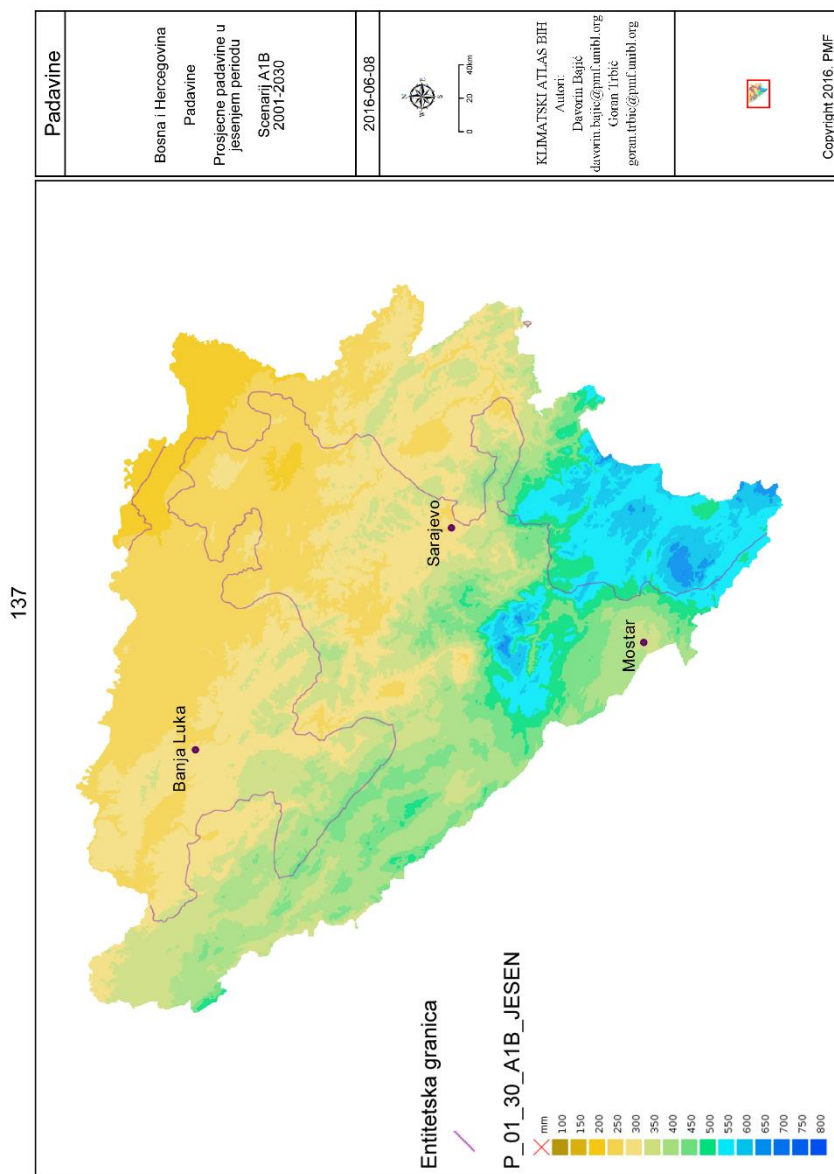
Сл. 15.111. Просјечне падавине у прољетном периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.111. Average precipitation in the spring, scenario A1B 2001–2030.



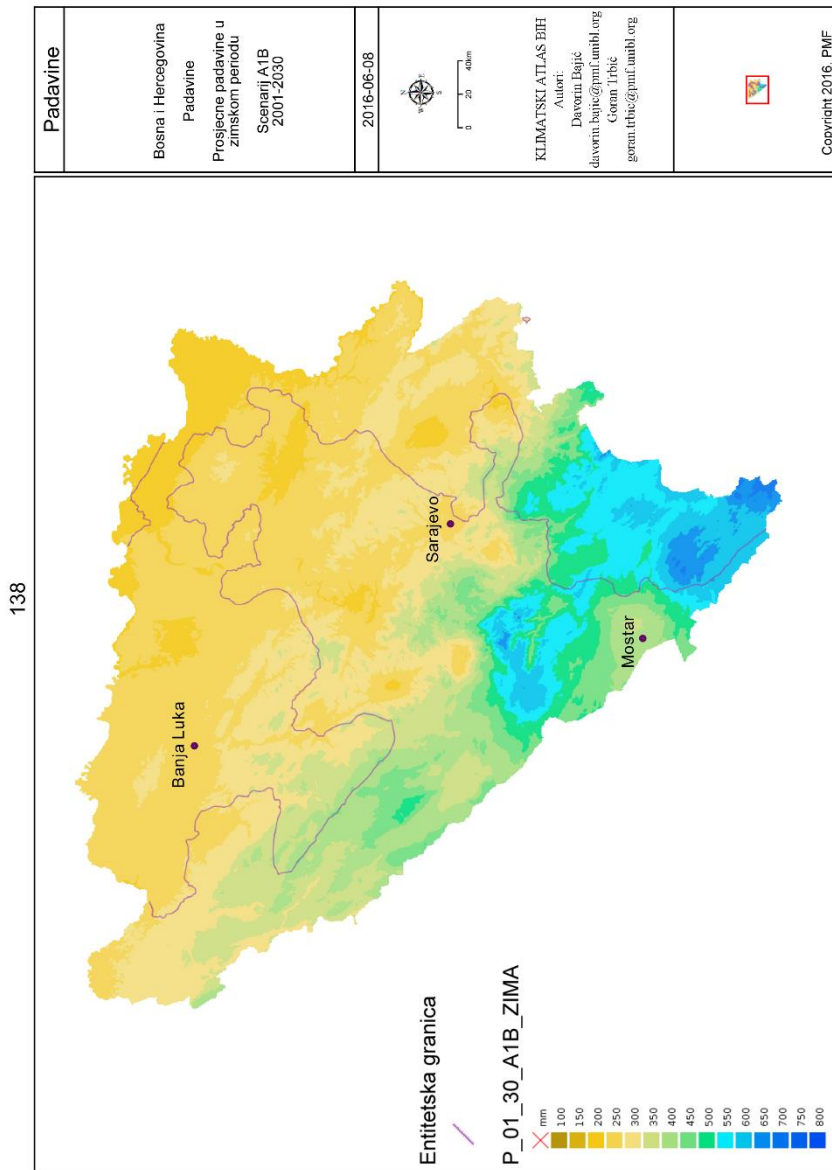
Сл. 15.112. Просјечне падавине у љетном периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.112. Average precipitation in the summer, scenario A1B 2001–2030.



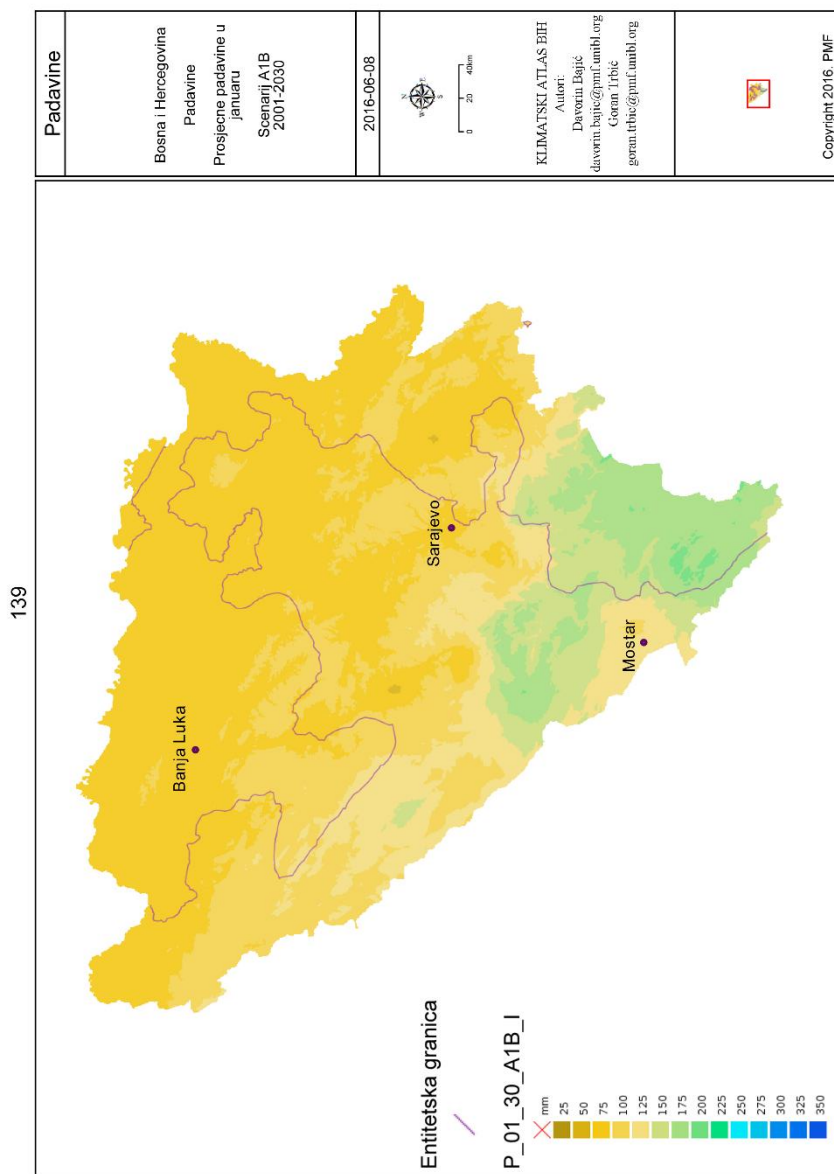
Сл. 15.113. Просјечне падавине у јесењем периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.113. Average precipitation in the autumn scenario, A1B 2001–2030.

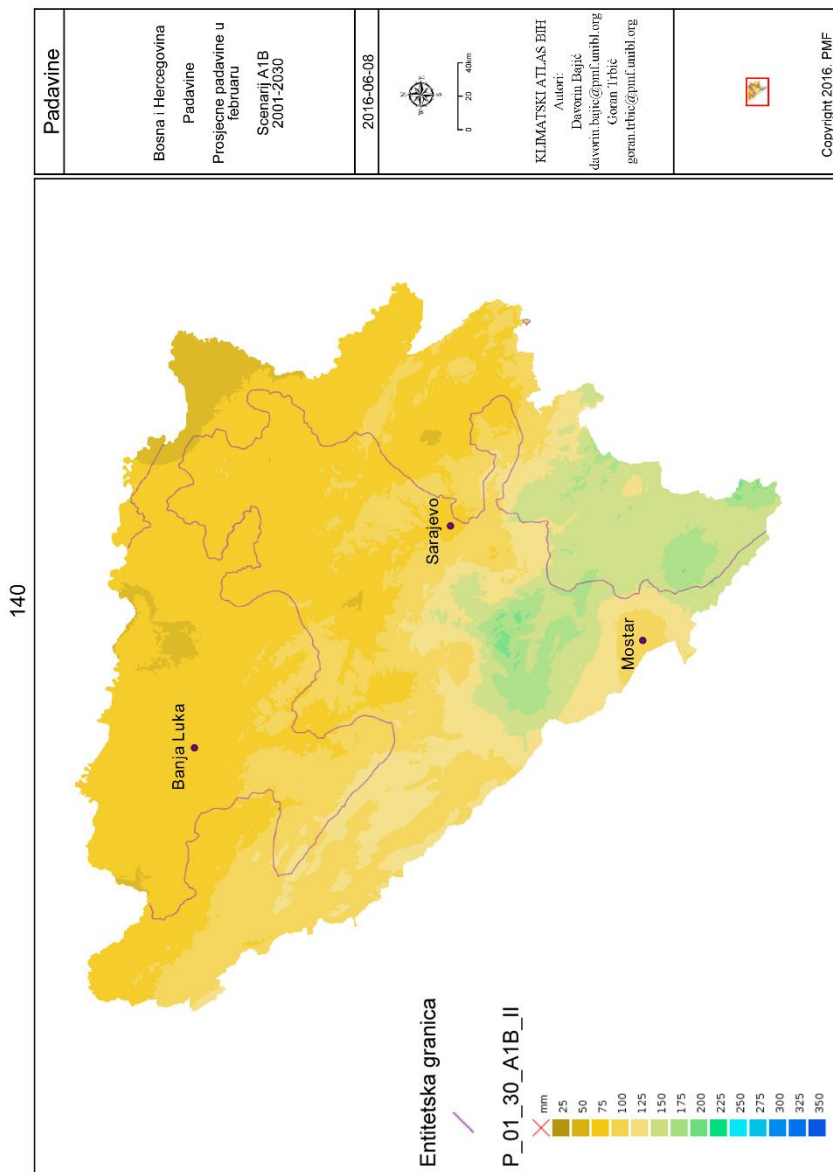


Сл. 15.114. Просјечне падавине у зимском периоду, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.114. Average precipitation in the winter, scenario A1B 2001–2030.

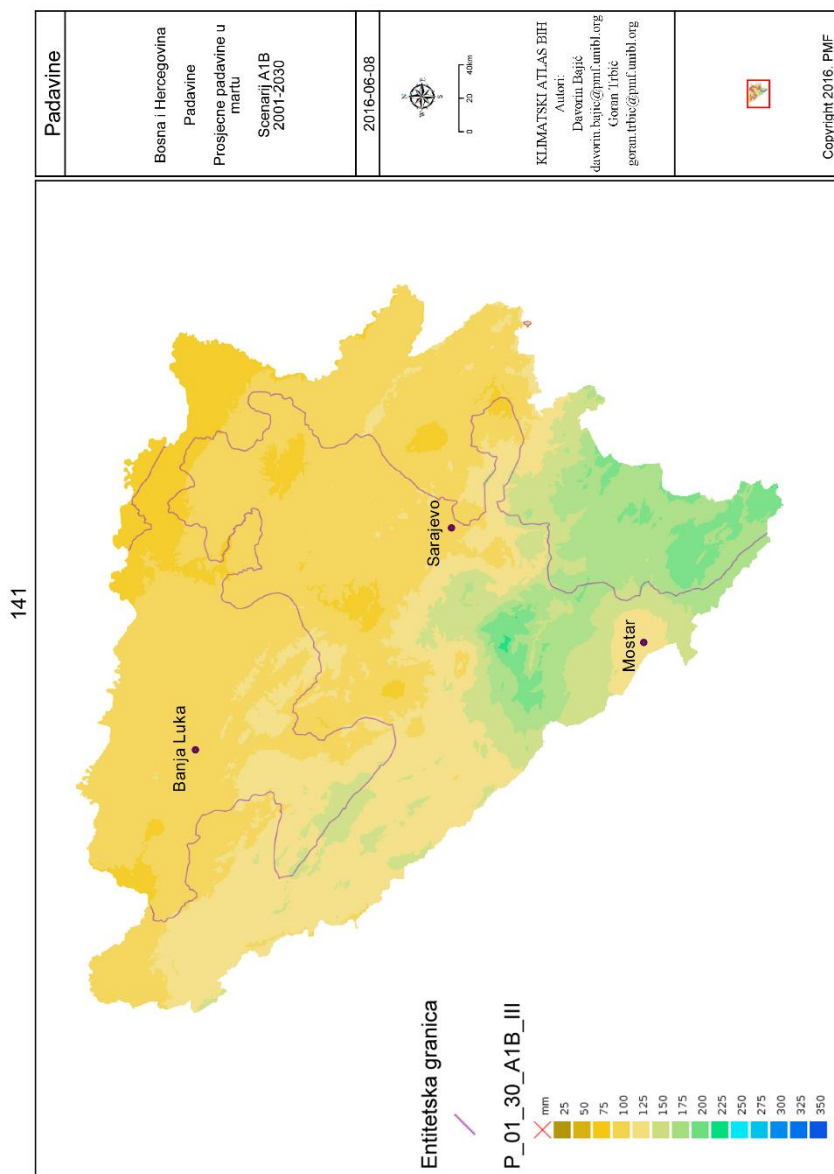


Сл. 15.115. Просјечне падавине у јануару, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.115. Average precipitation in January, scenario A1B 2001–2030.



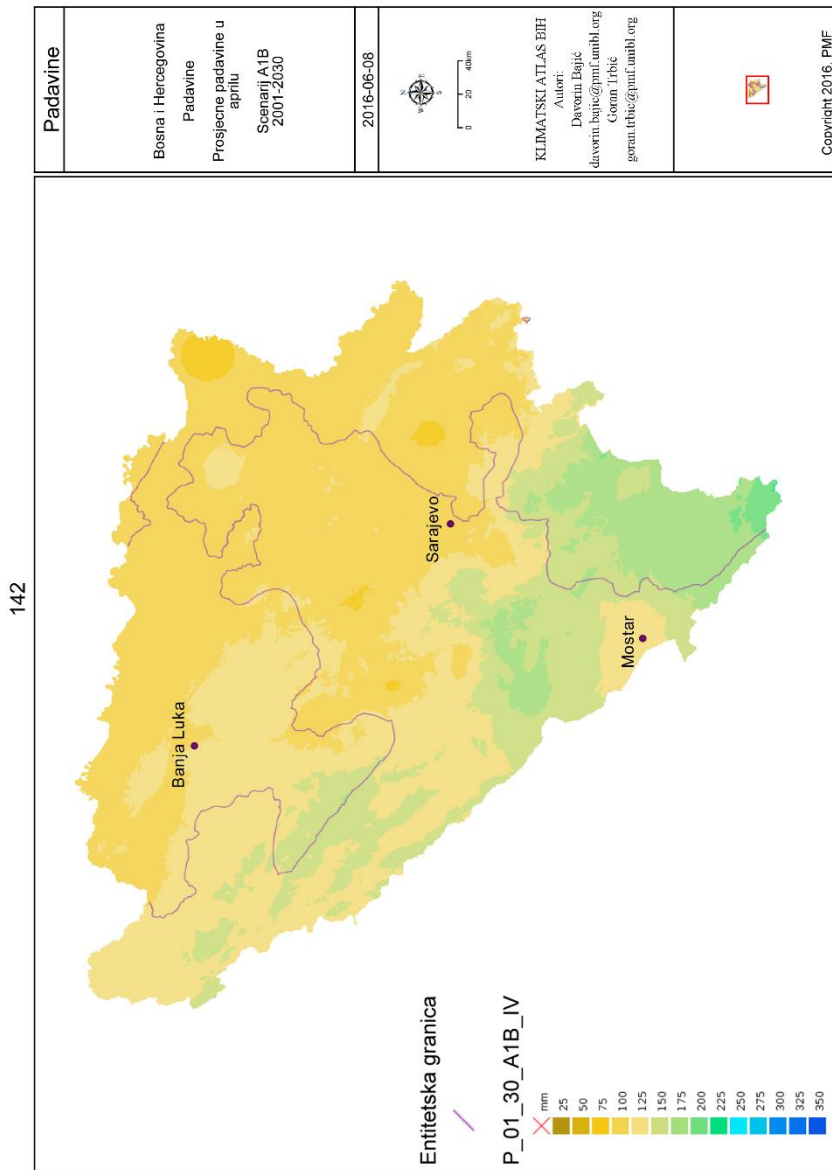
Сл. 15.116. Просјечне падавине у фебруару, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.116. Average precipitation in February, scenario A1B 2001–2030.



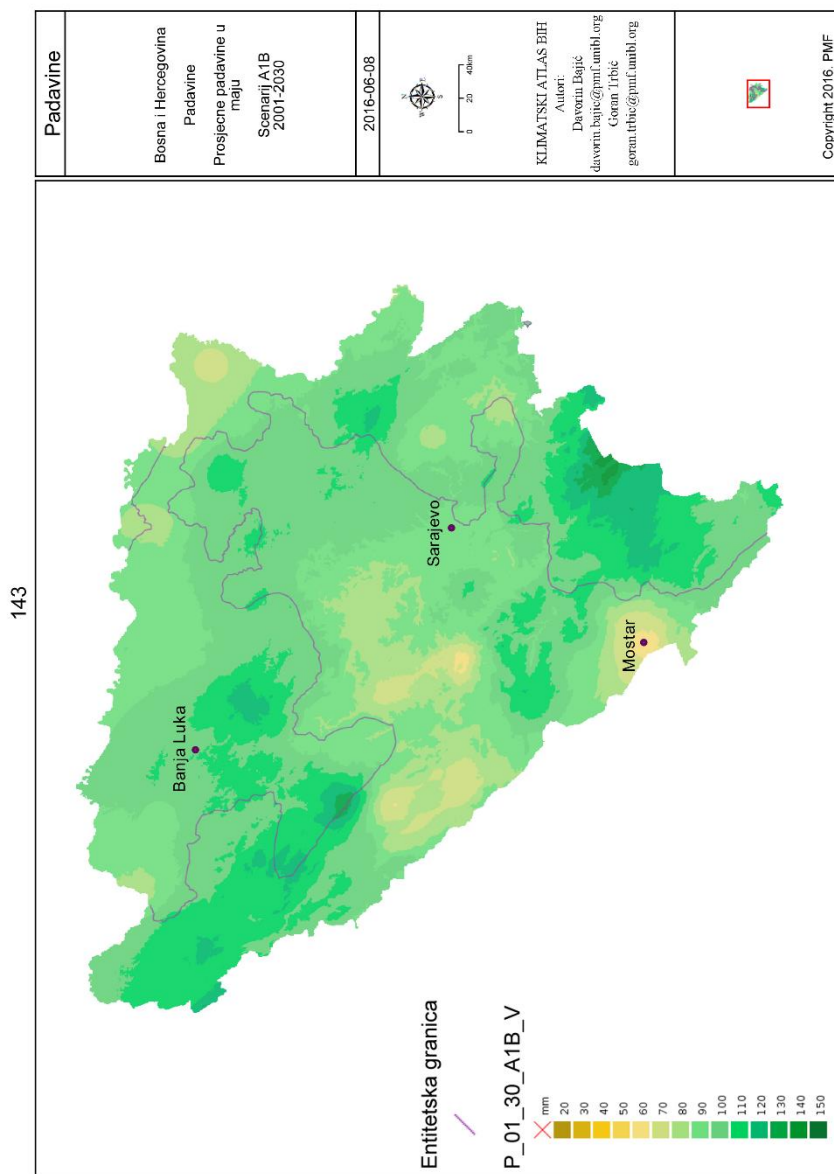
Сл. 15.117. Просјечне падавине у марту, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.117. Average precipitation in March, scenario A1B 2001–2030.



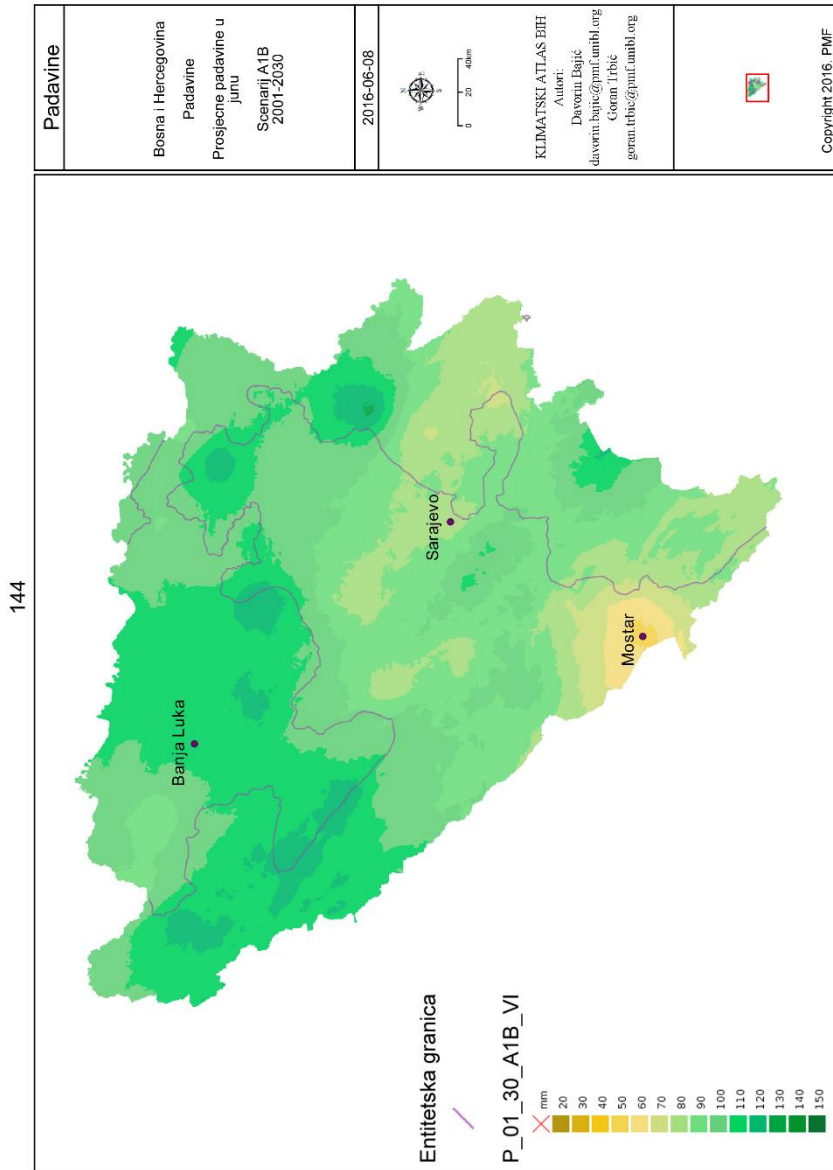
Сл. 15.118. Просјечне падавине у априлу, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.118. Average precipitation in April, scenario A1B 2001–2030.



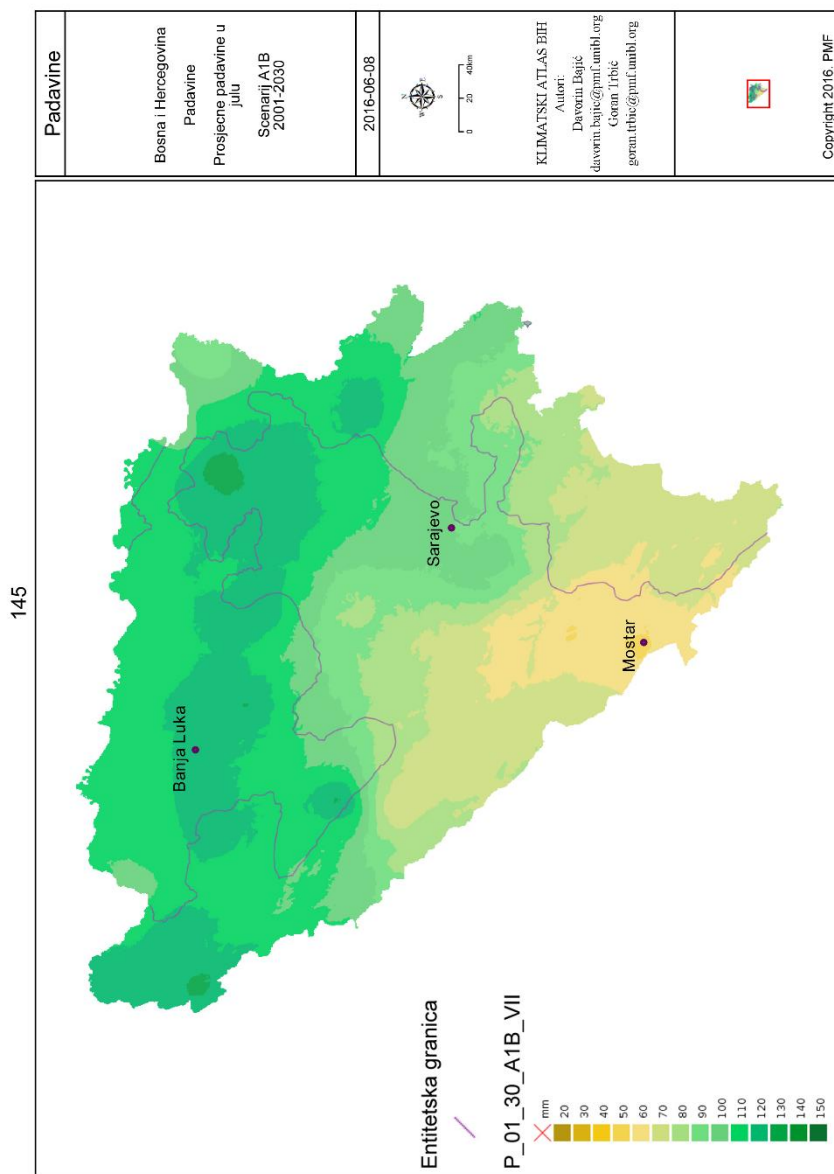
Сл. 15.119. Просјечне падавине у мају, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.119. Average precipitation in May, scenario A1B 2001–2030.



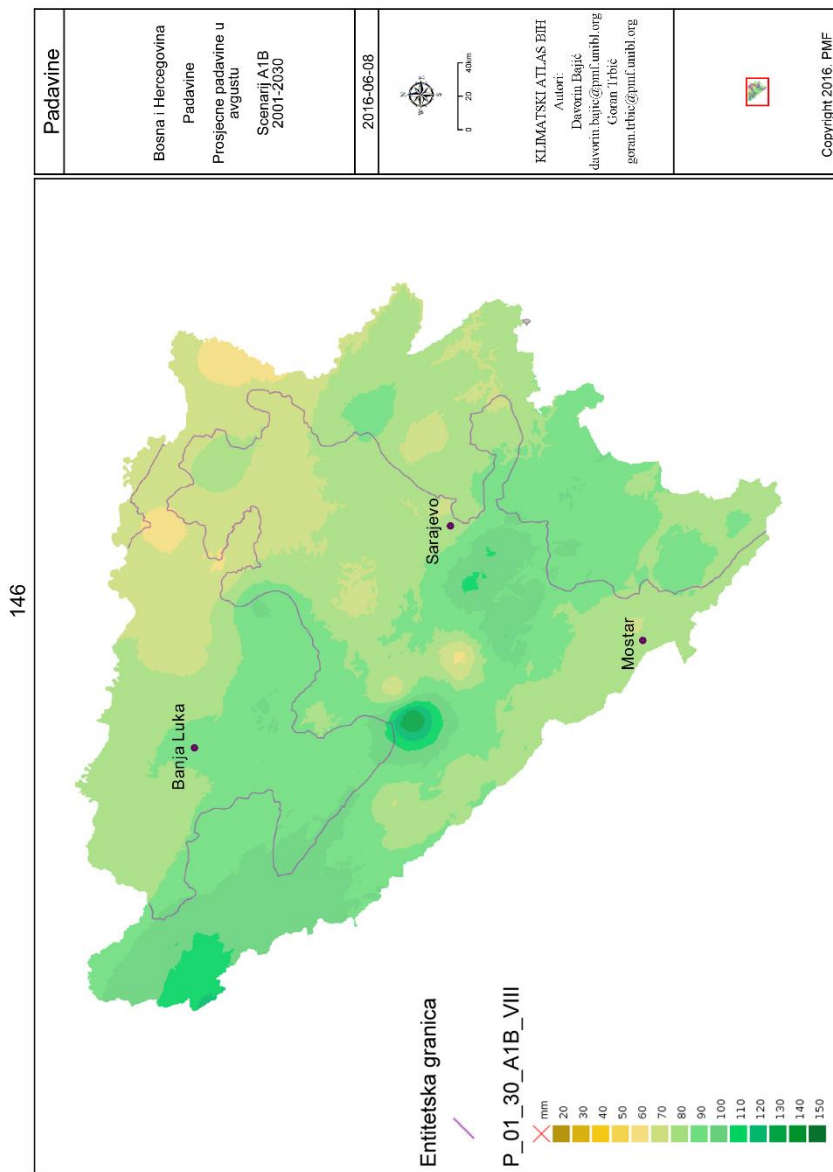
Сл. 15.120. Просјечне падавине у јуну, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.120. Average precipitation in June, scenario A1B 2001–2030.



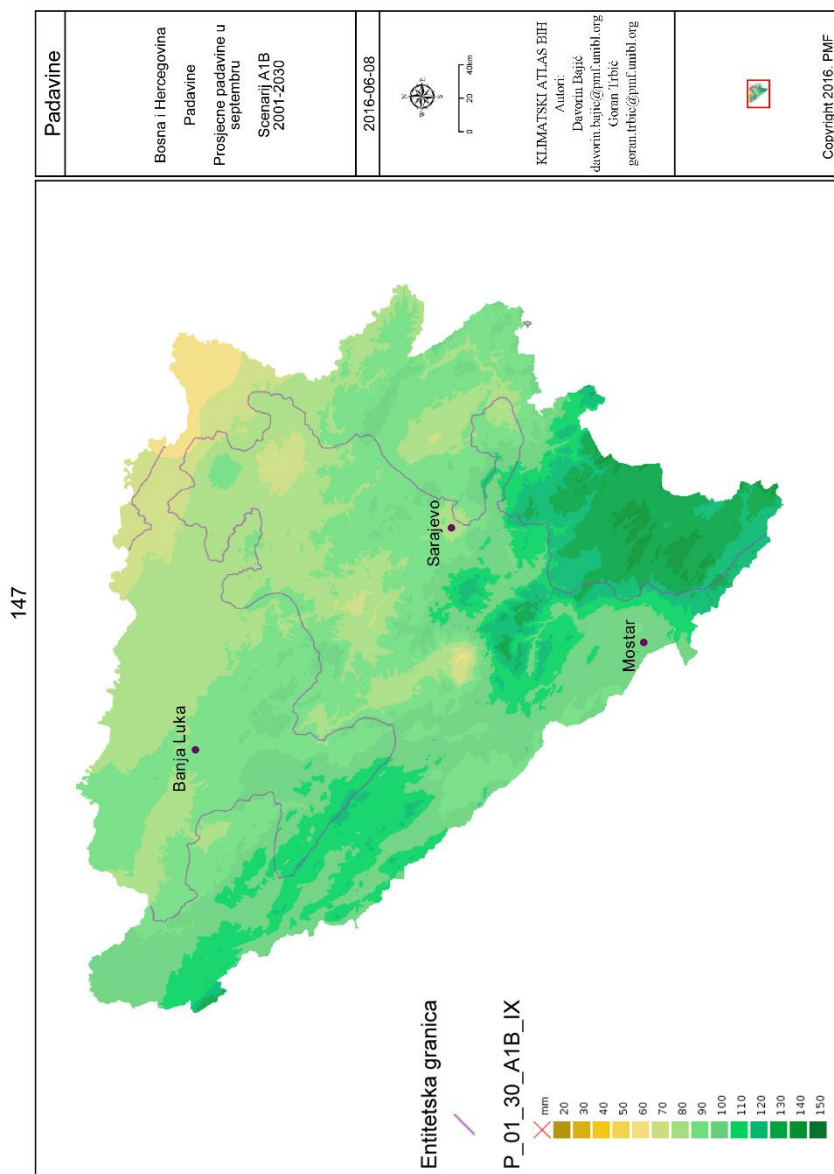
Сл. 15.121. Просјечне падавине у јулу, сценарио А1В 2001–2030.

Fig. 15.121. Average precipitation in July, scenario A1B 2001–2030.

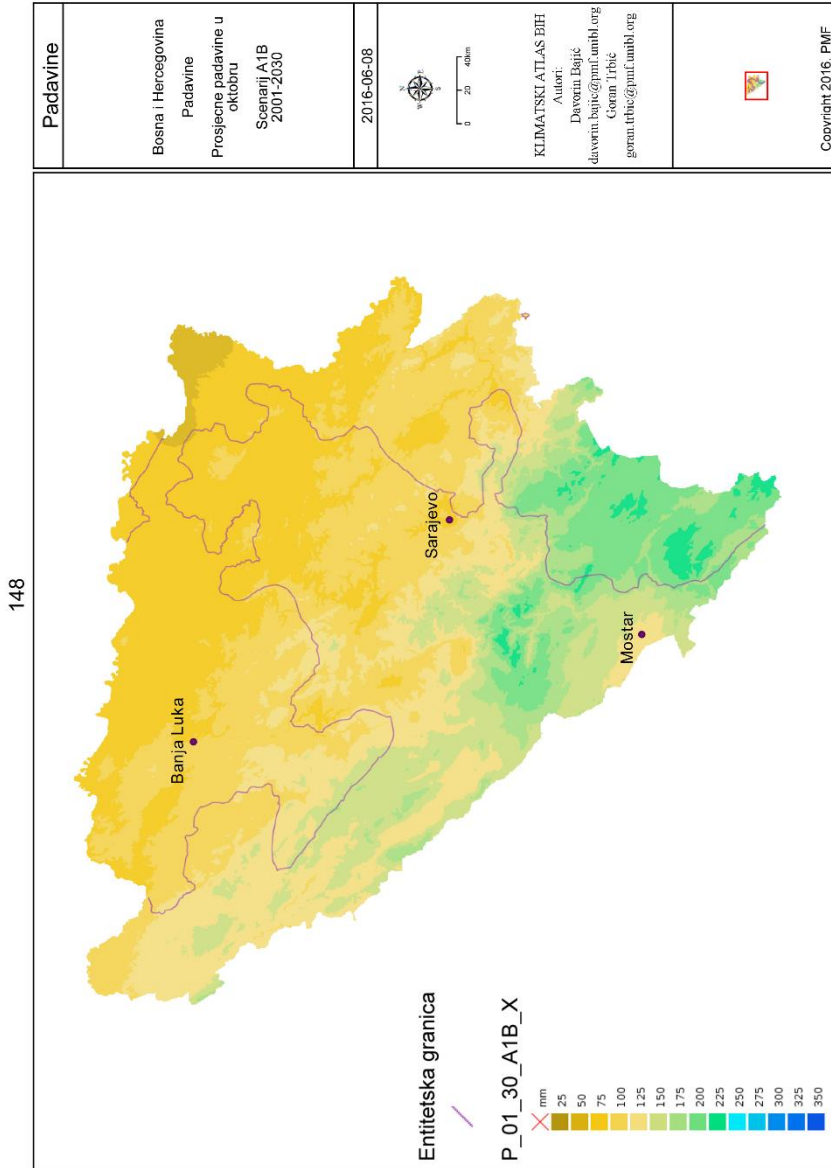


Сл. 15.122. Просјечне падавине у августу, сценарио А1В 2001–2030.

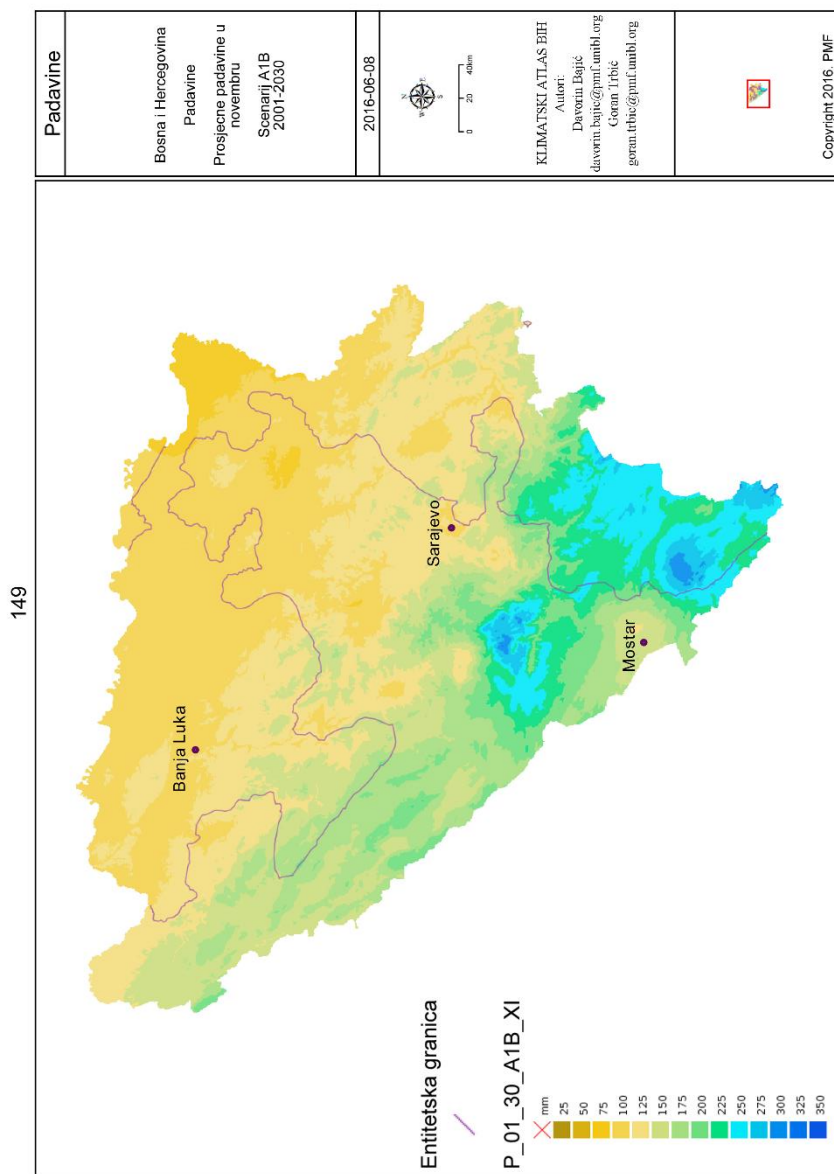
Fig. 15.122. Average precipitation in August, scenario A1B 2001–2030.



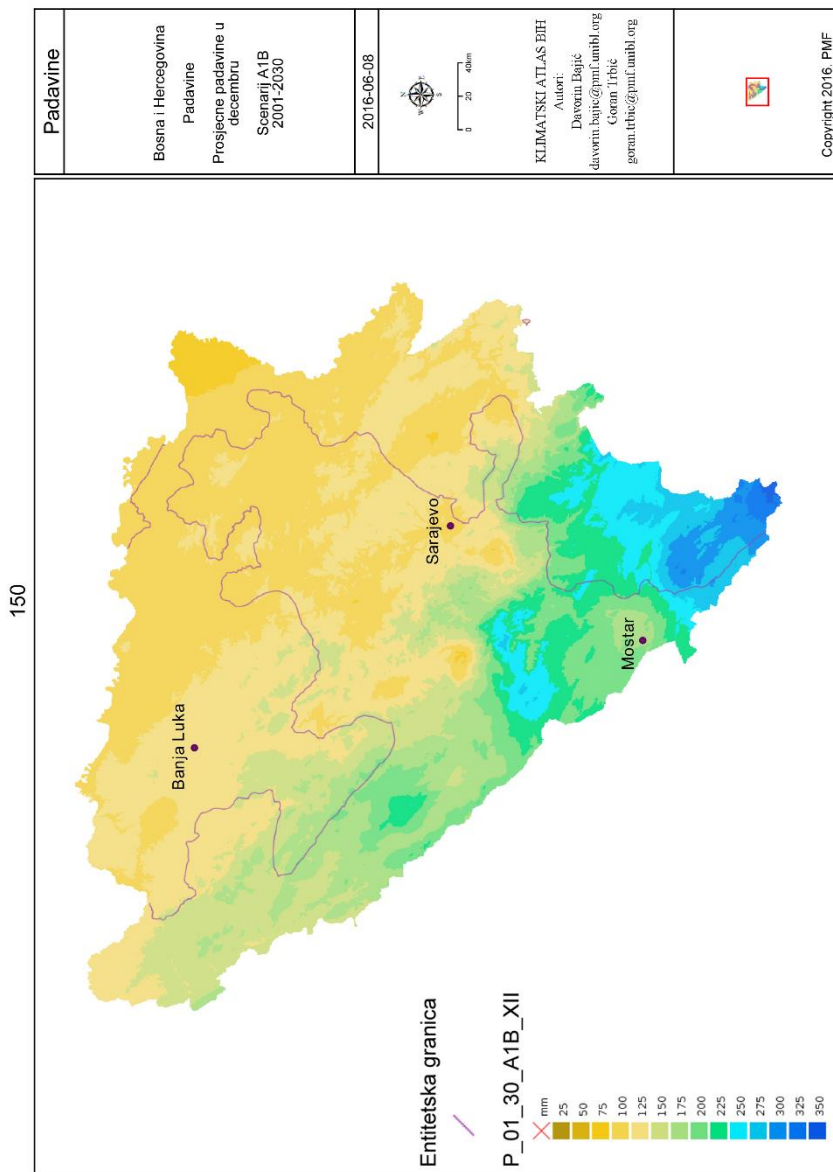
Сл. 15.123. Просјечне падавине у септембру, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.123. Average precipitation in September, scenario A1B 2001–2030.



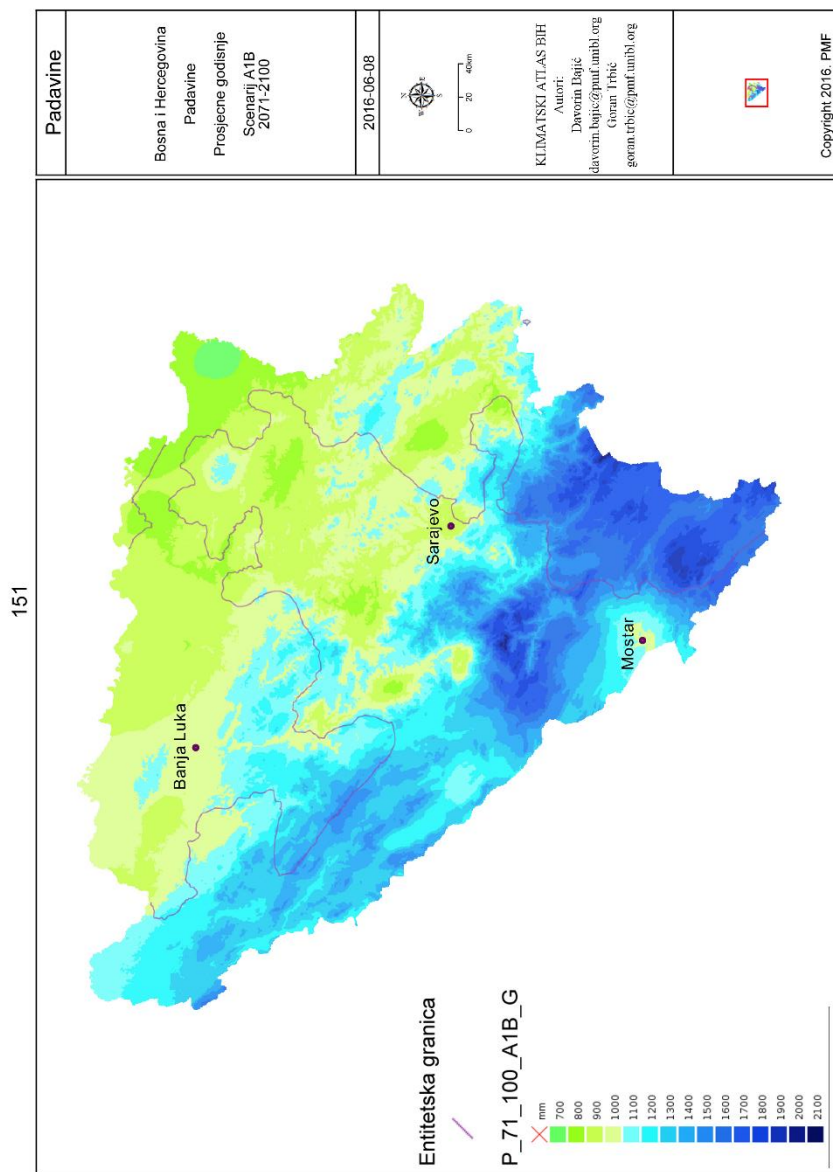
Сл. 15.124. Просјечне падавине у октобру, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.124. Average precipitation in October, scenario A1B 2001–2030.



Сл. 15.125. Просјечне падавине у новембру, сценарио А1В 2001–2030.
 Fig. 15.125. Average precipitation in November, scenario A1B 2001–2030.

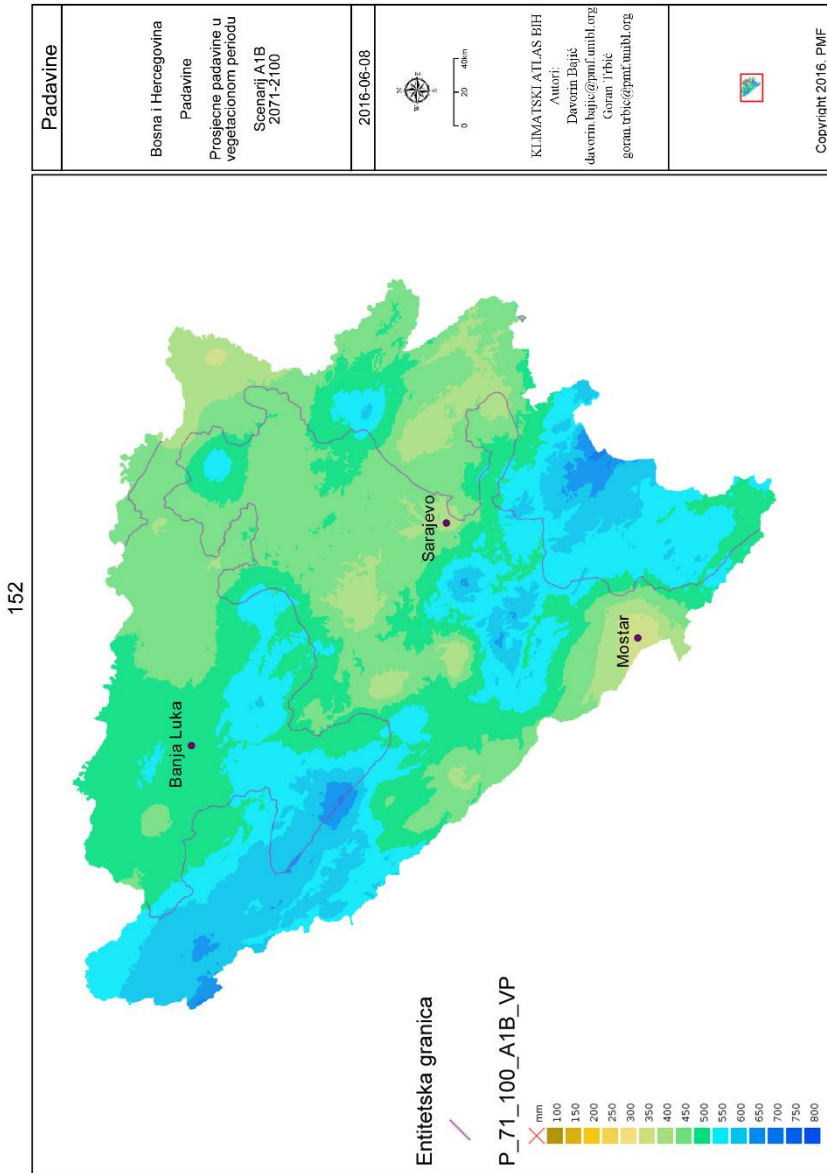


Сл. 15.126. Просјечне падавине у децембру, сценарио А1В 2001–2030.
Fig. 15.126. Average precipitation in December, scenario A1B 2001–2030.



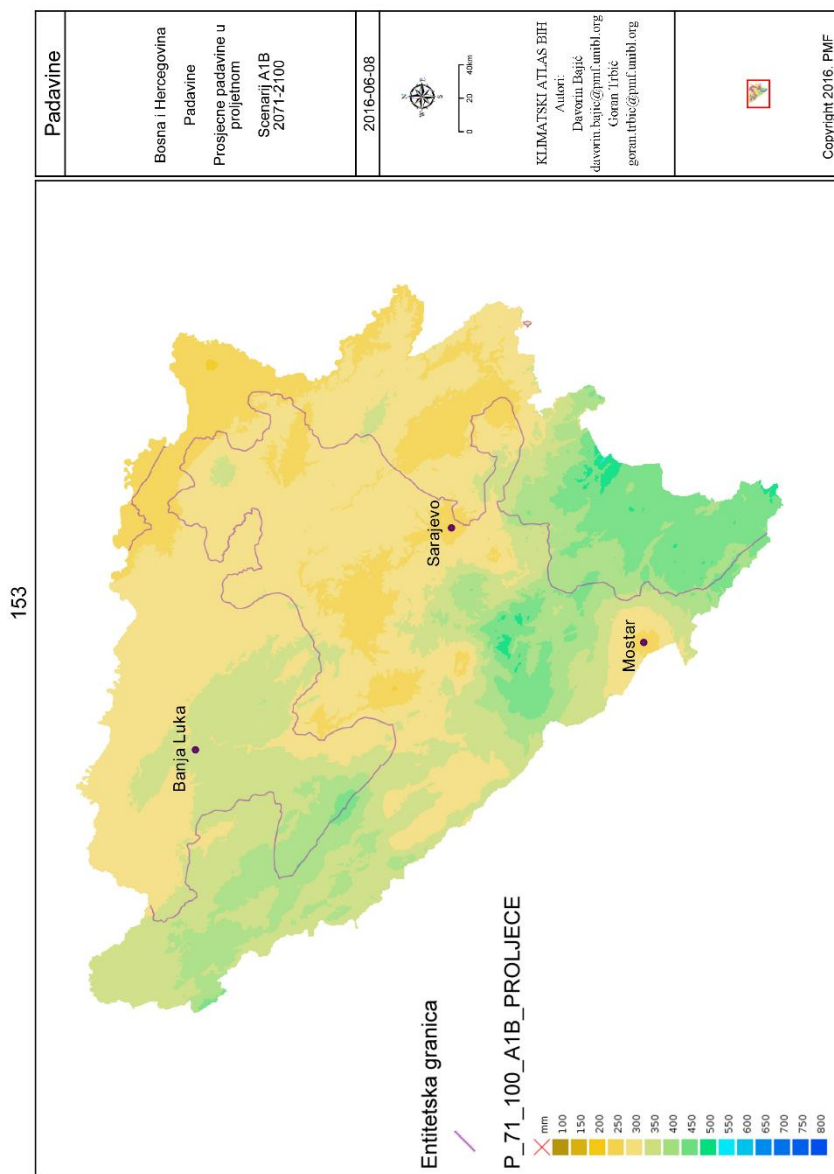
Сл. 15.127. Просјечне годишње падавине, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.127. Average annual precipitation, scenario A1B 2071–2100.



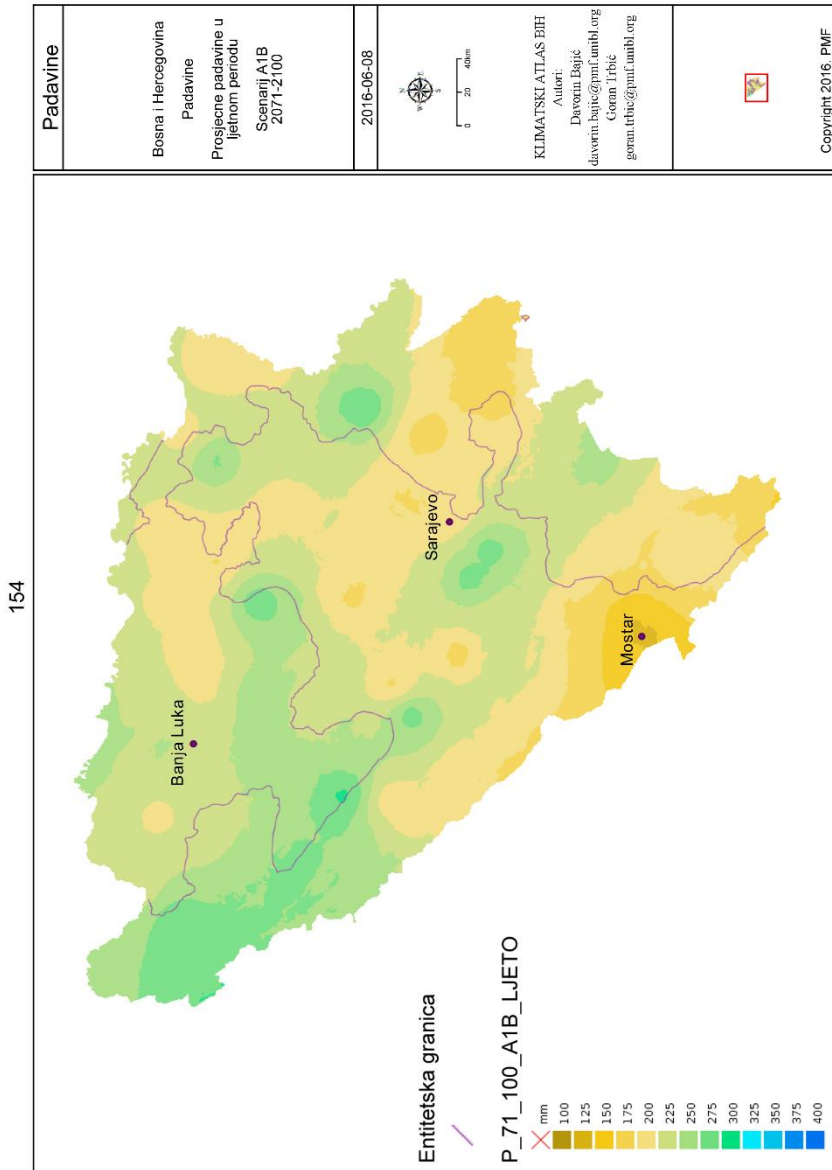
Сл. 15.128. Просјечне падавине у вегетационом периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.128. Average precipitation in the growing season, scenario A1B 2071–2100.



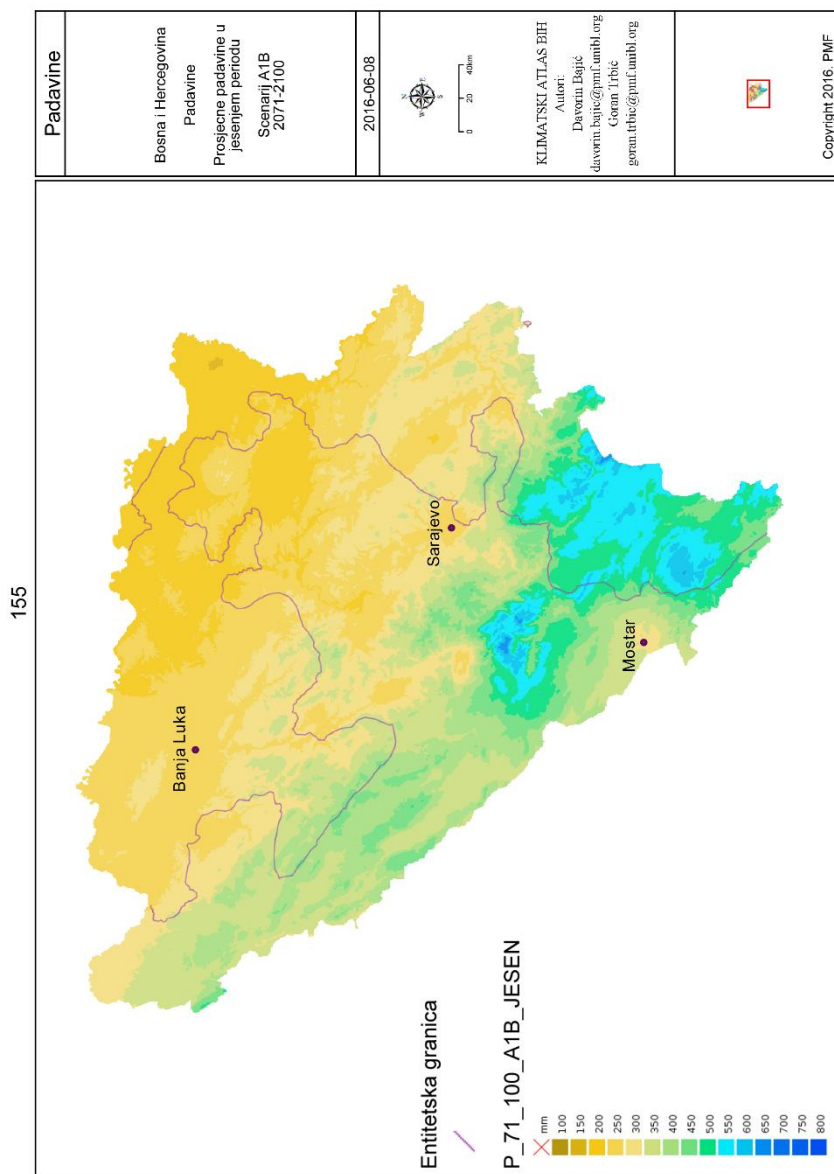
Сл. 15.129. Просјечне падавине у прољетном периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.129. Average precipitation in the spring, scenario A1B 2071–2100.



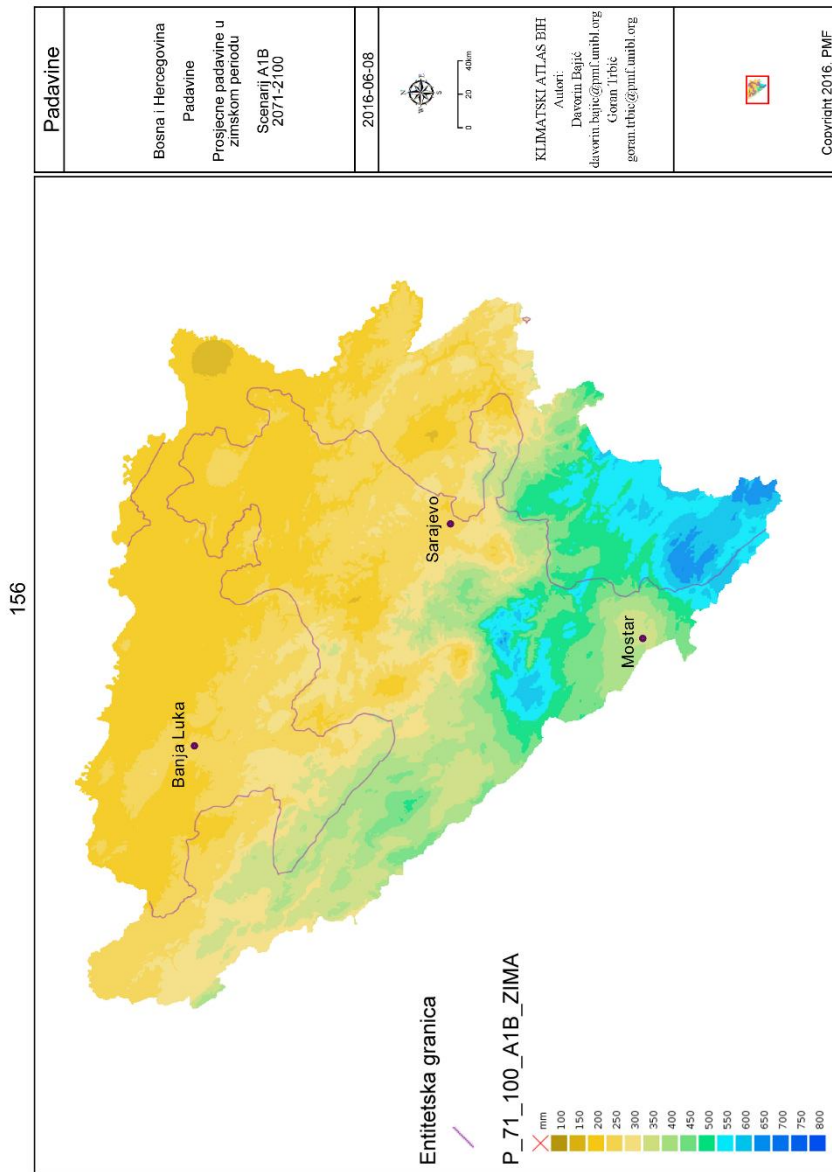
Сл. 15.130. Просјечне падавине у љетном периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.130. Average precipitation in the summer, scenario A1B 2071–2100.



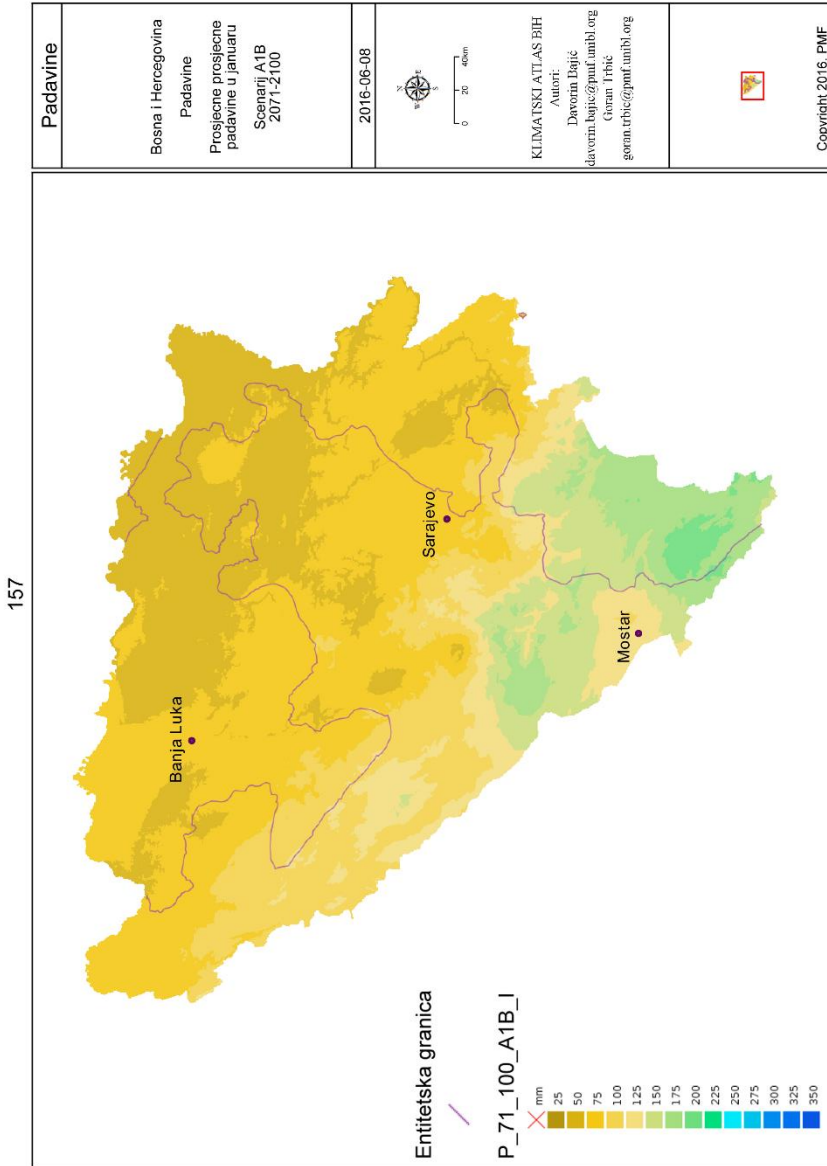
Сл. 15.131. Просјечне падавине у јесењем периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.131. Average precipitation in the autumn, scenario A1B 2071–2100.

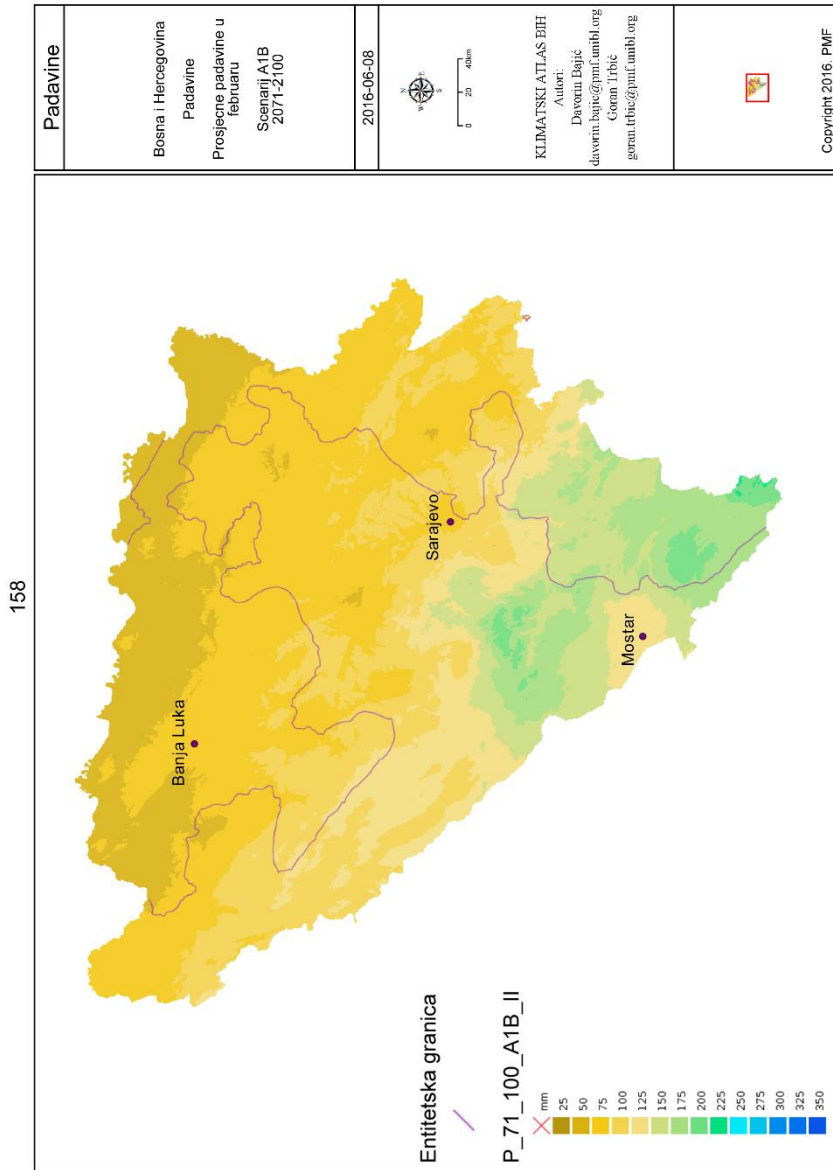


Сл. 15.132. Просјечне падавине у зимском периоду, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.132. Average precipitation in the winter, scenario A1B 2071–2100.

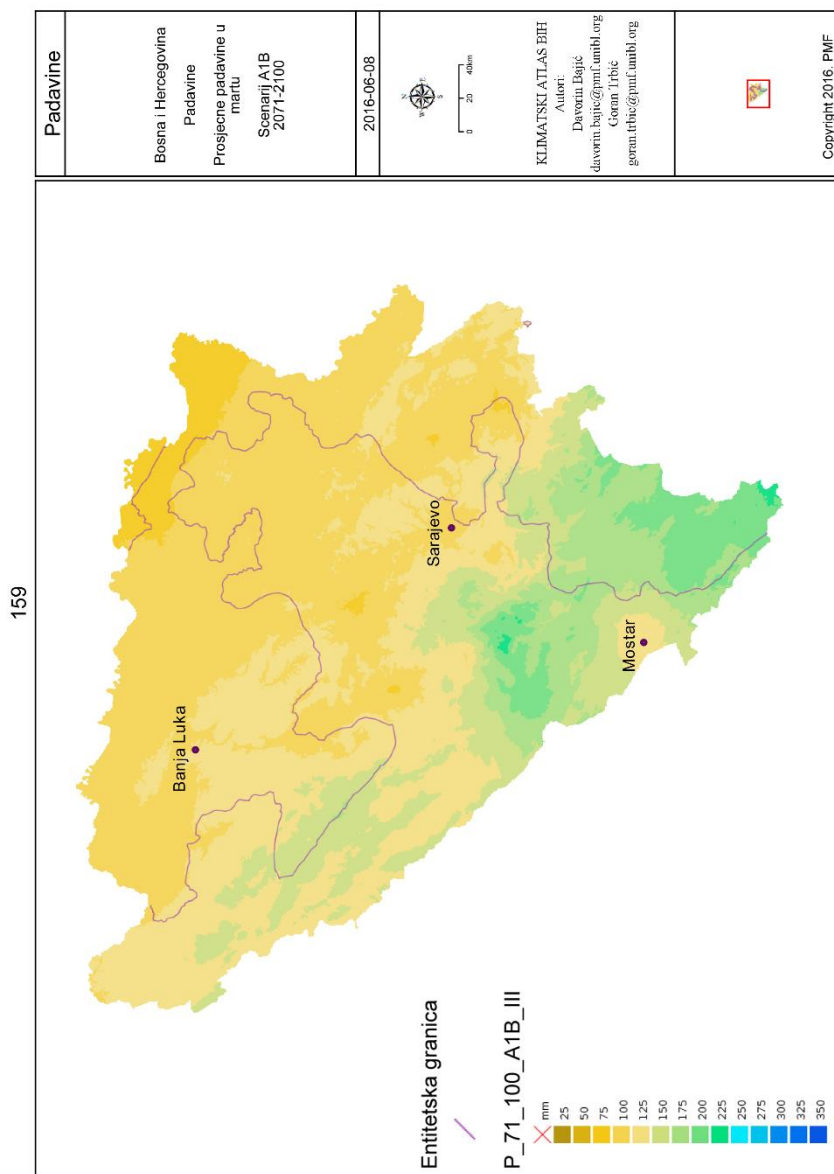


Сл. 15.133. Просјечне падавине у јануару, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.133. Average precipitation in January, scenario A1B 2071–2100.



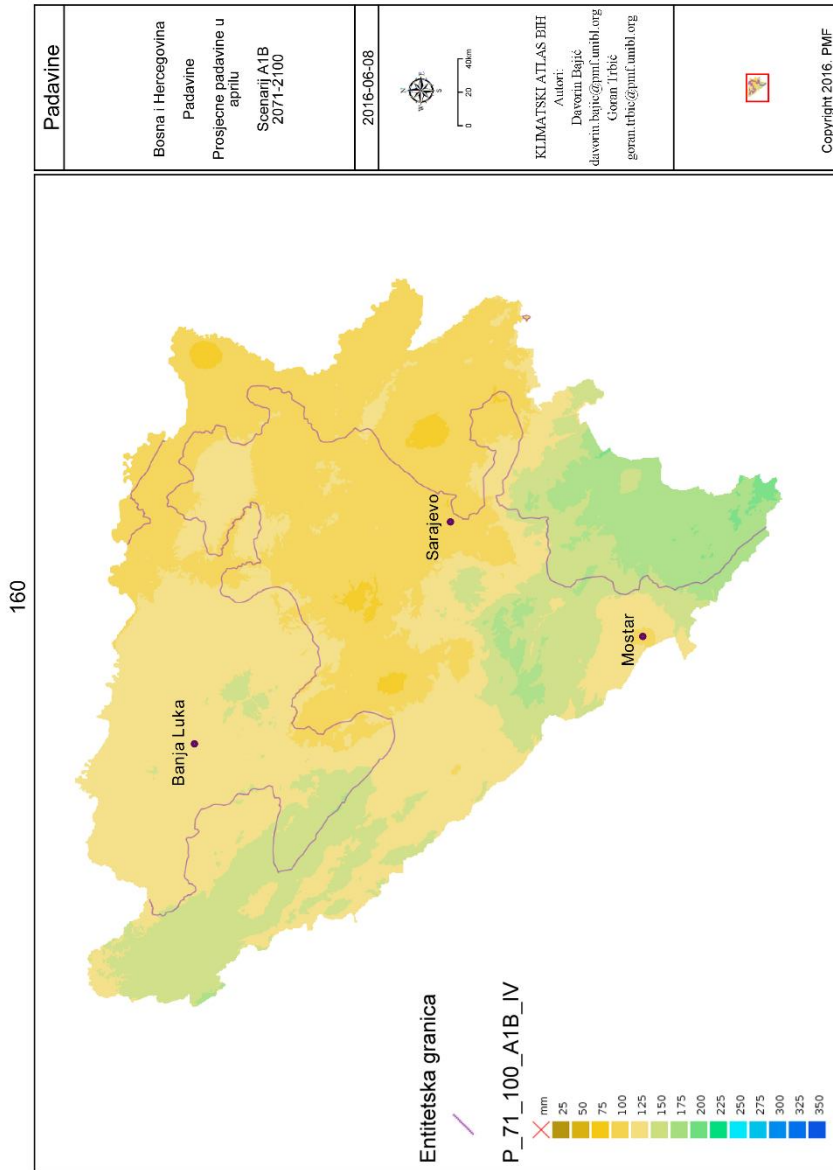
Сл. 15.134. Просјечне падавине у фебруару, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.134. Average precipitation in February, scenario A1B 2071–2100.



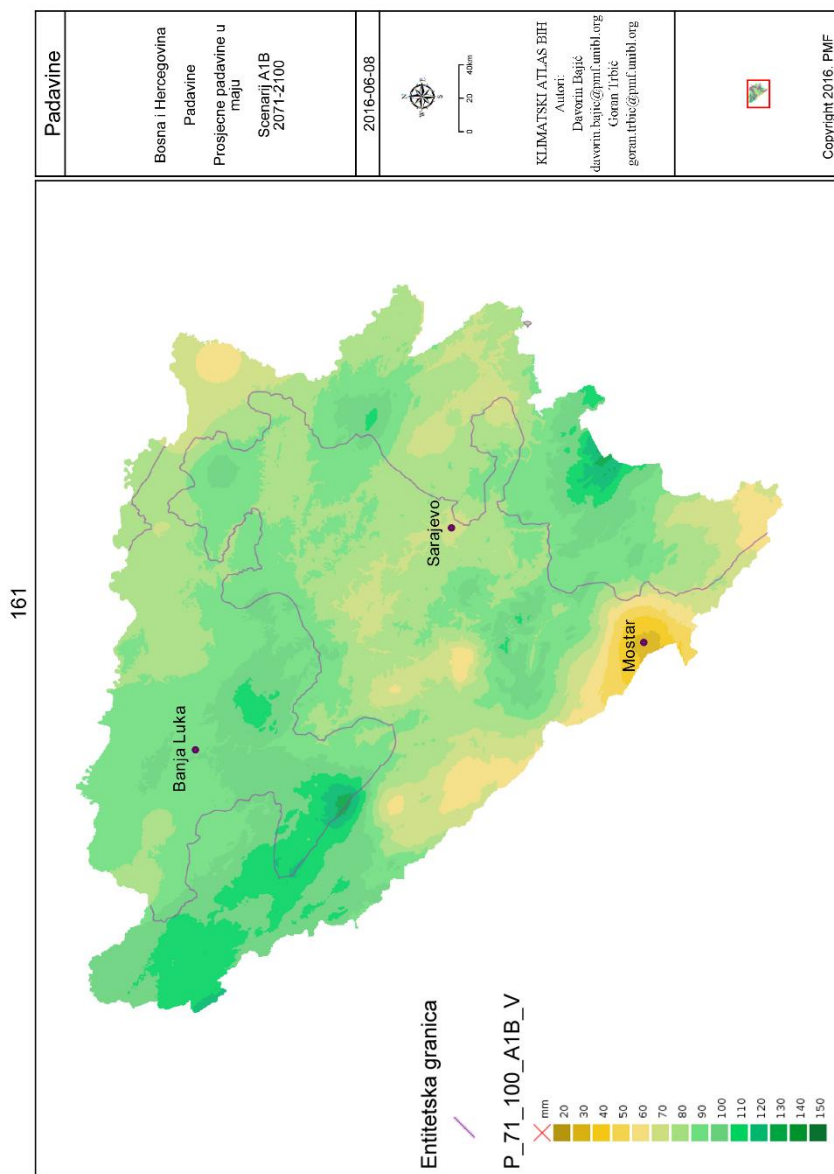
Сл. 15.135. Просјечне падавине у марту, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.135. Average precipitation in March, scenario A1B 2071–2100.



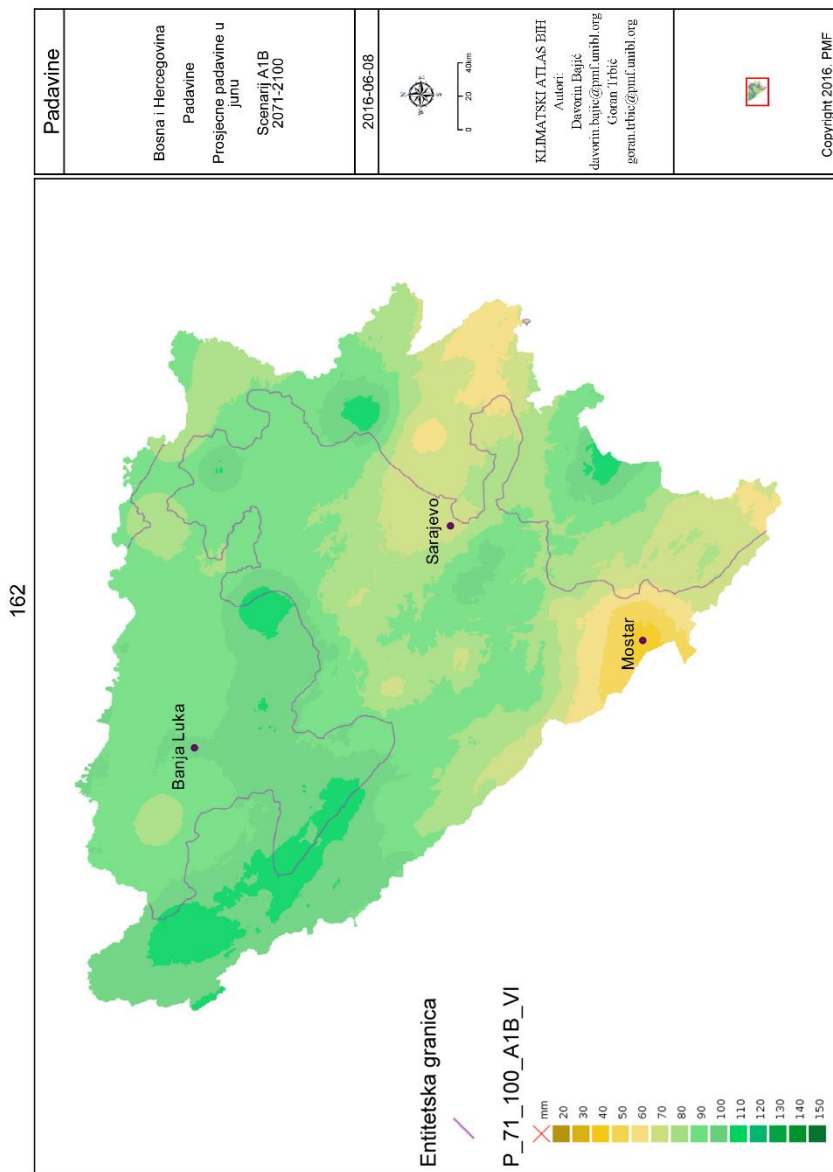
Сл. 15.136. Просјечне падавине у априлу, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.136. Average precipitation in April, scenario A1B 2071–2100.



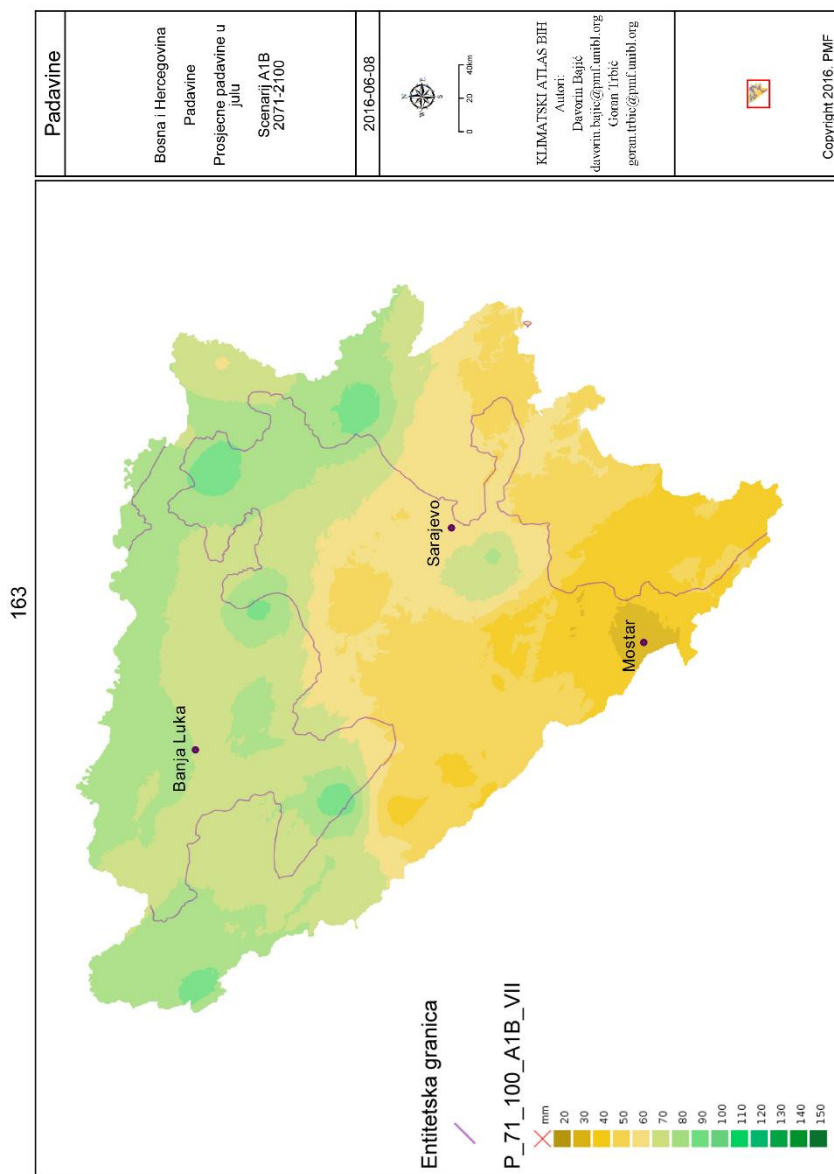
Сл. 15.137. Просјечне радавине у мају, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.137. Average precipitation in May, scenario A1B 2071–2100.



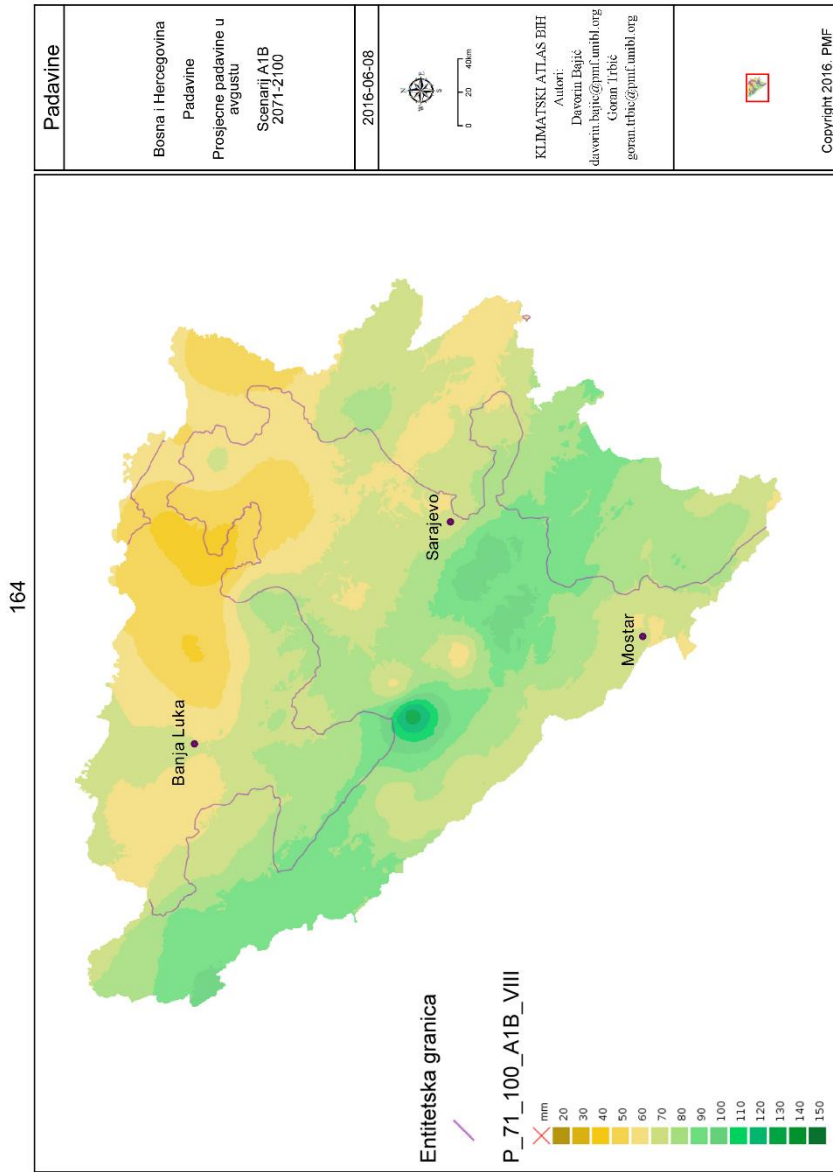
Сл. 15.138. Просјечне падавине у јуну, сценарио А1В 2071–2100.

Fig. 15.138. Average precipitation in June, scenario A1B 2071–2100.

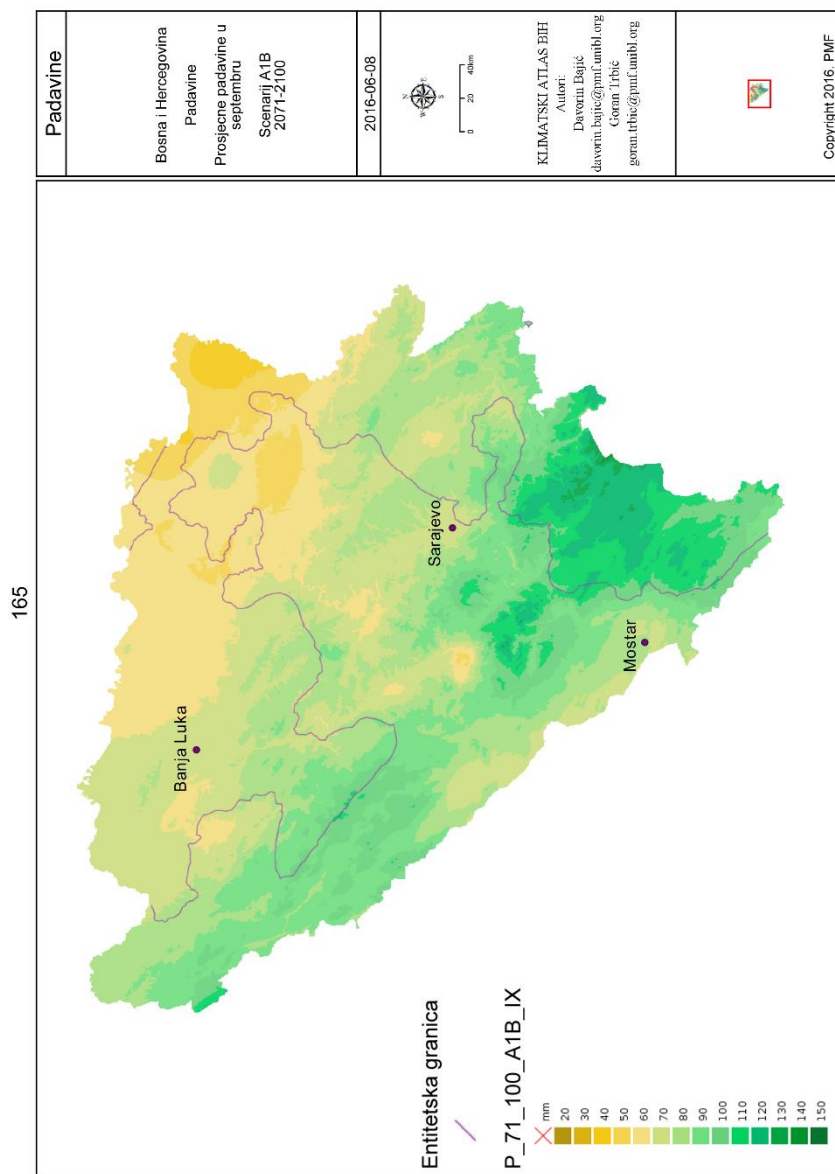


Сл. 15.139. Просјечне радавине у јулу, сценарио А1В 2071–2100.

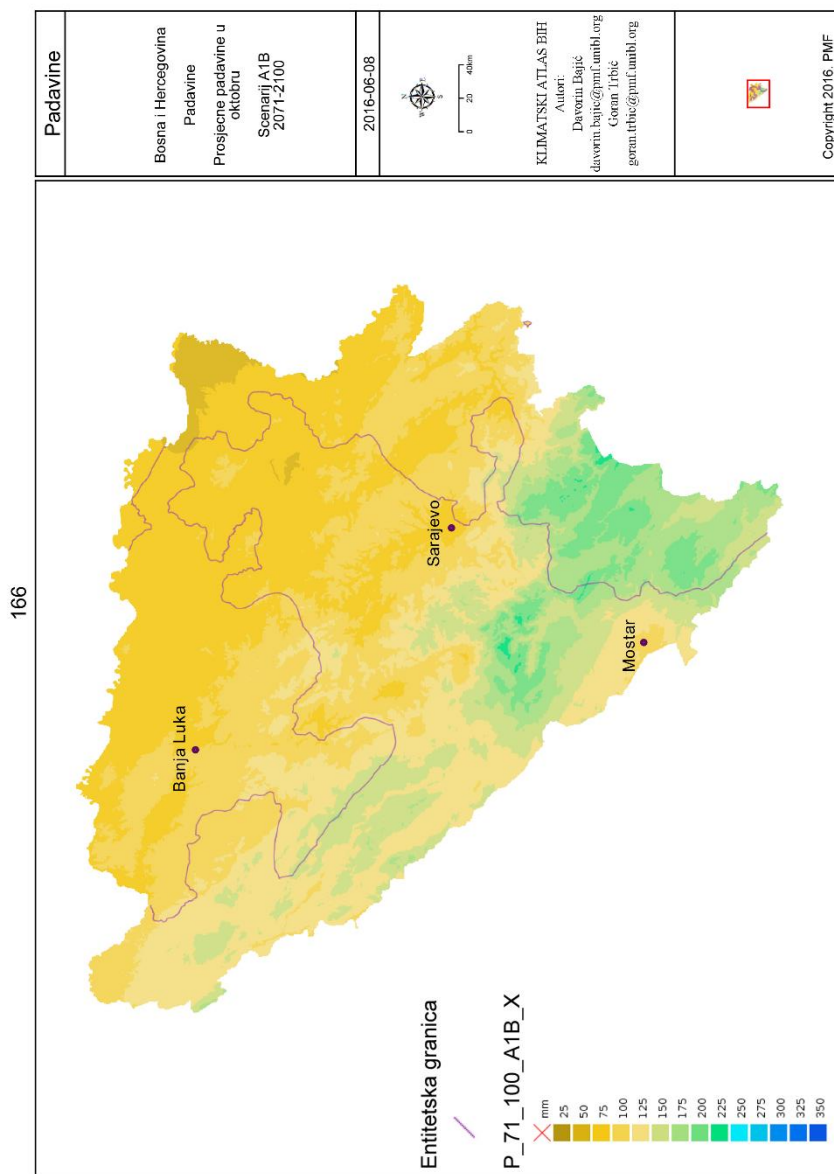
Fig. 15.139. Average precipitation in July, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.140. Просјечне падавине у августу, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.140. Average precipitation in August, scenario A1B 2071–2100.

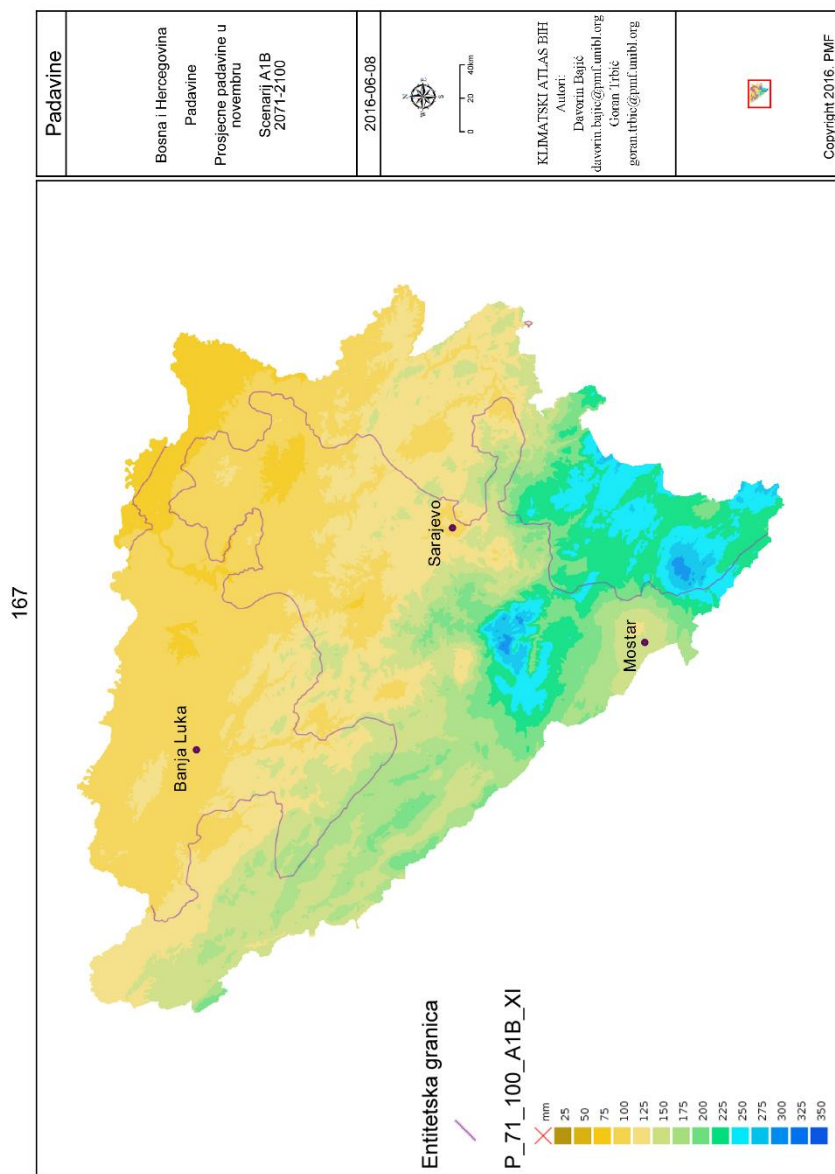


Сл. 15.141. Просјечне падавине у септембру, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.141. Average precipitation in September, scenario A1B 2071–2100.

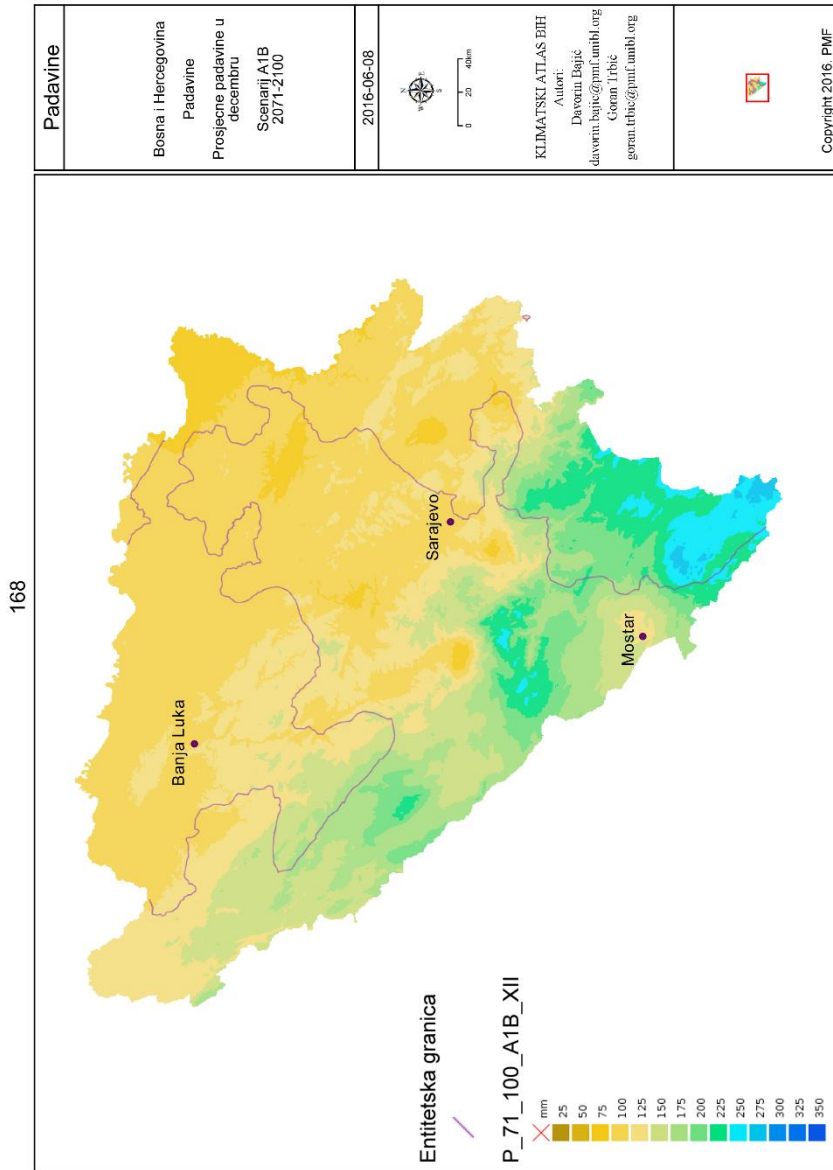


Сл. 15.142. Просјечне падавине у октобру, сценарио А1В 2071–2100.

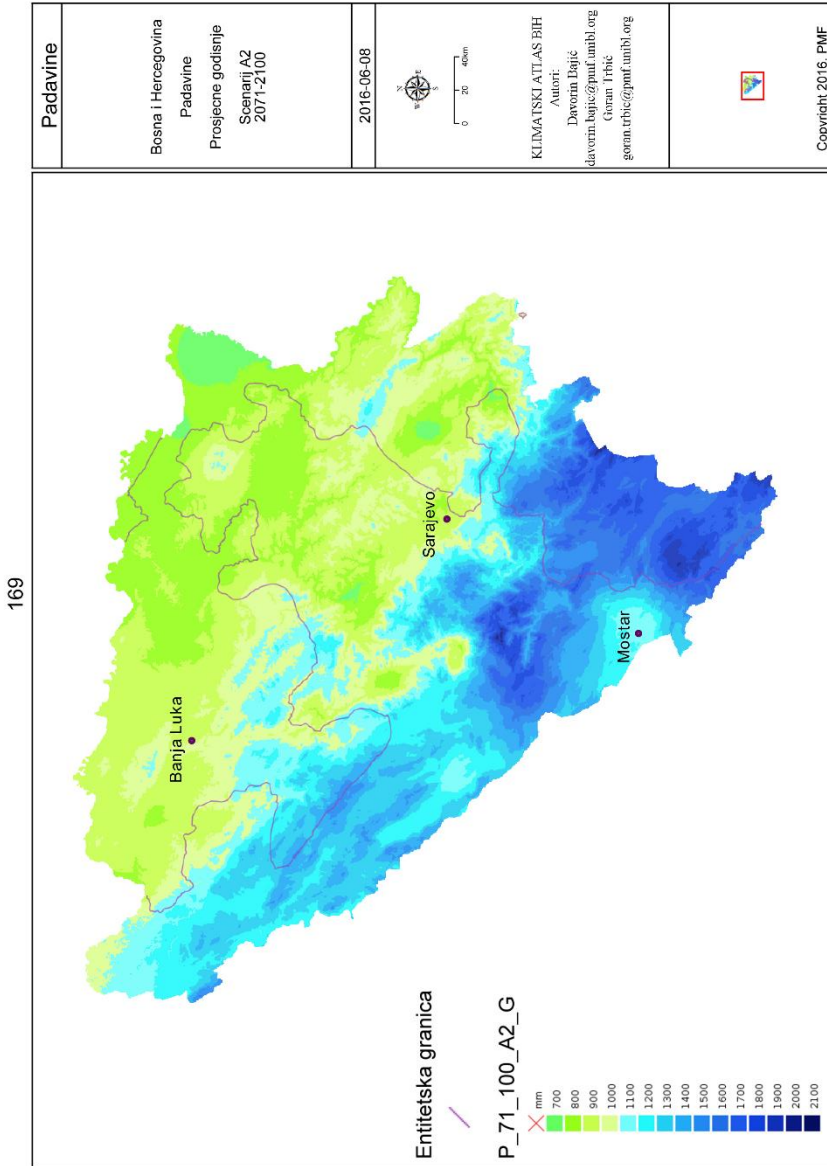
Fig. 15.142. Average precipitation in October, scenario A1B 2071–2100.



Сл. 15.143. Просјечне падавине у новембру, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.143. Average precipitation in November, scenario A1B 2071–2100.

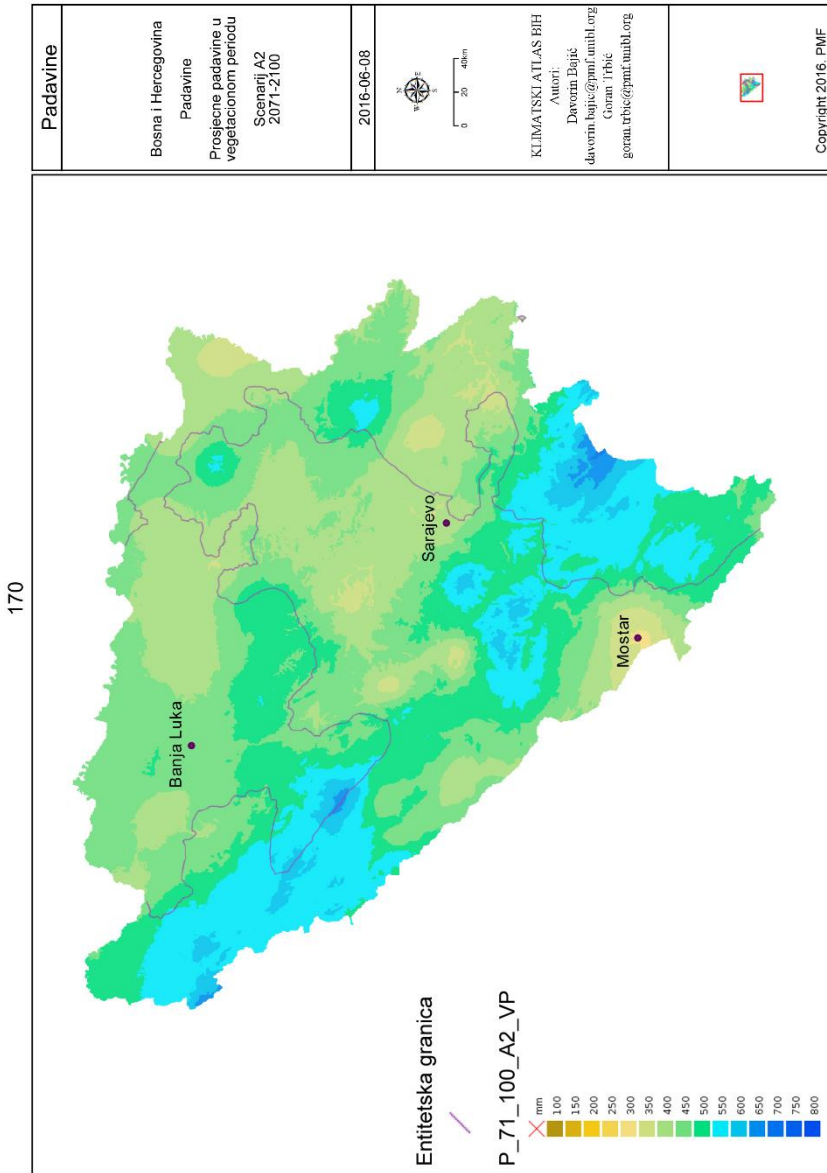


Сл. 15.144. Просјечне падавине у децембру, сценарио А1В 2071–2100.
 Fig. 15.144. Average precipitation in December, scenario A1B 2071–2100.



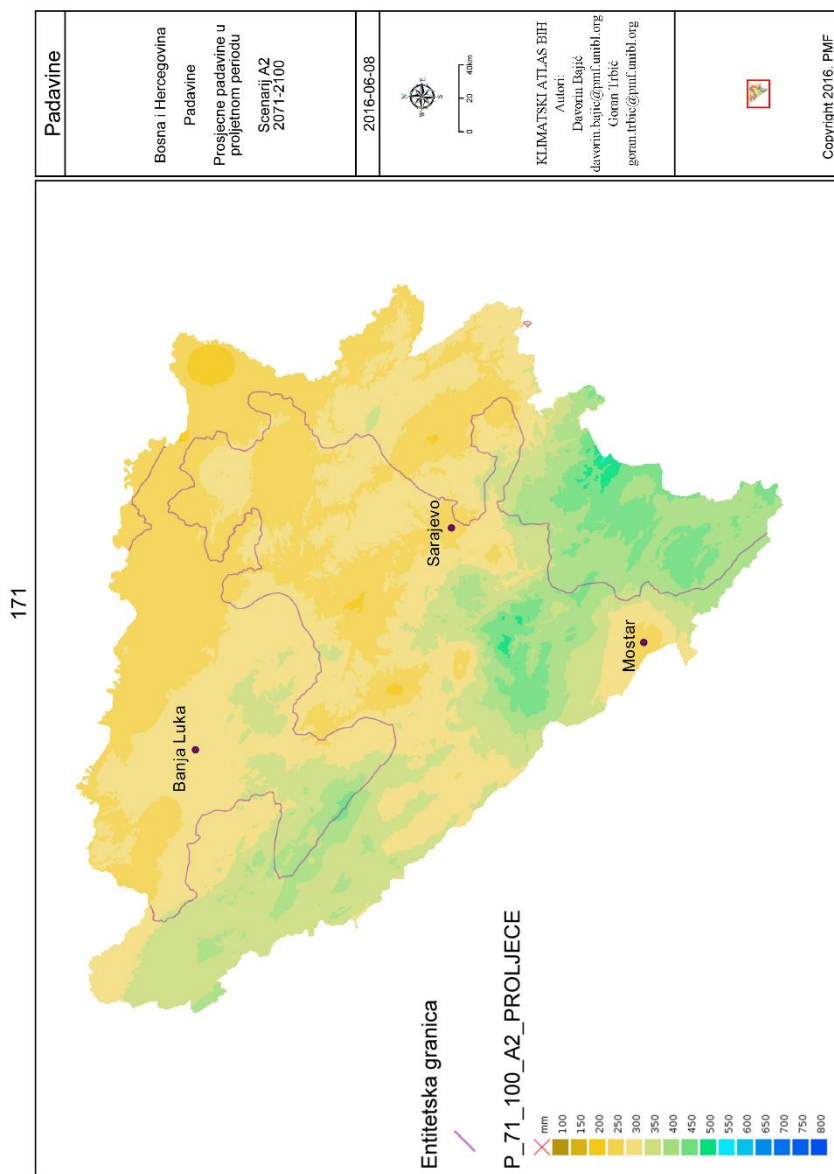
Сл. 15.145. Просјечне годишње падавине, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.145. Average annual precipitation, scenario A2 2071–2100.



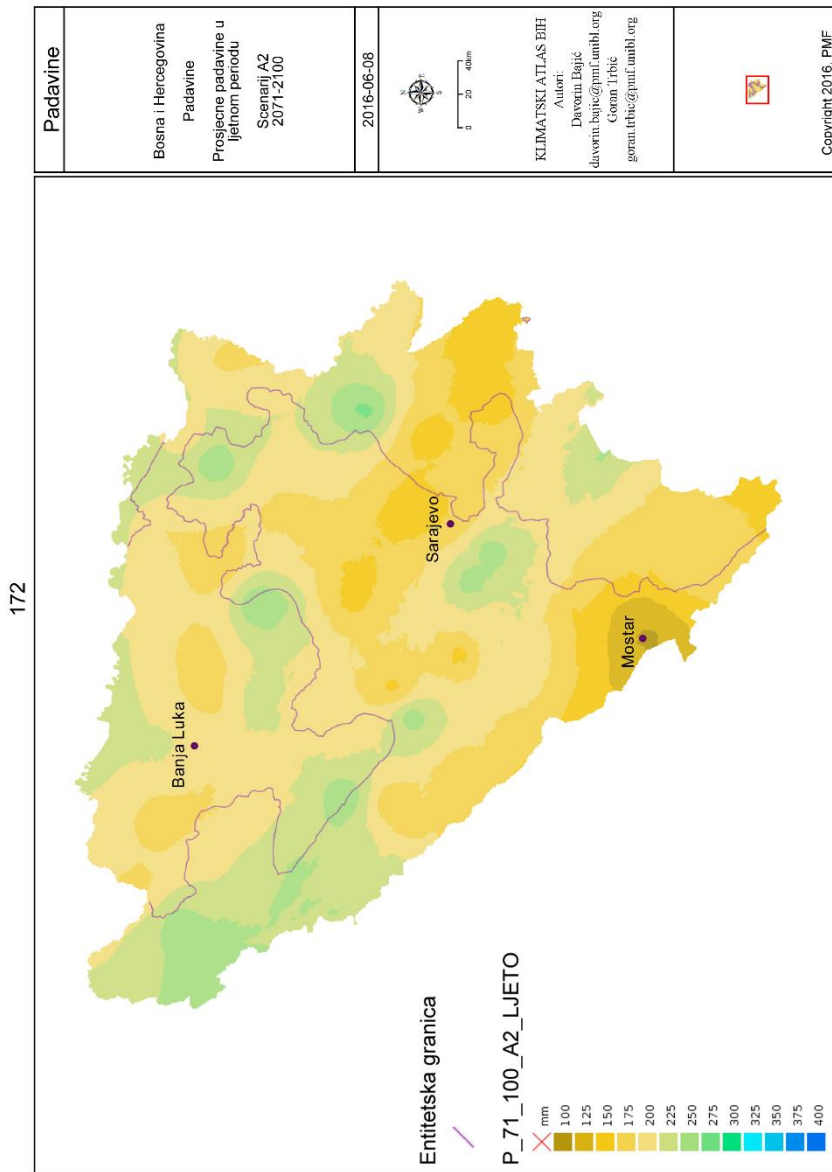
Сл. 15.146. Просјечне падавине у вегетационом периоду, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.146. Average precipitation during the growing season, scenario A2 2071–2100.

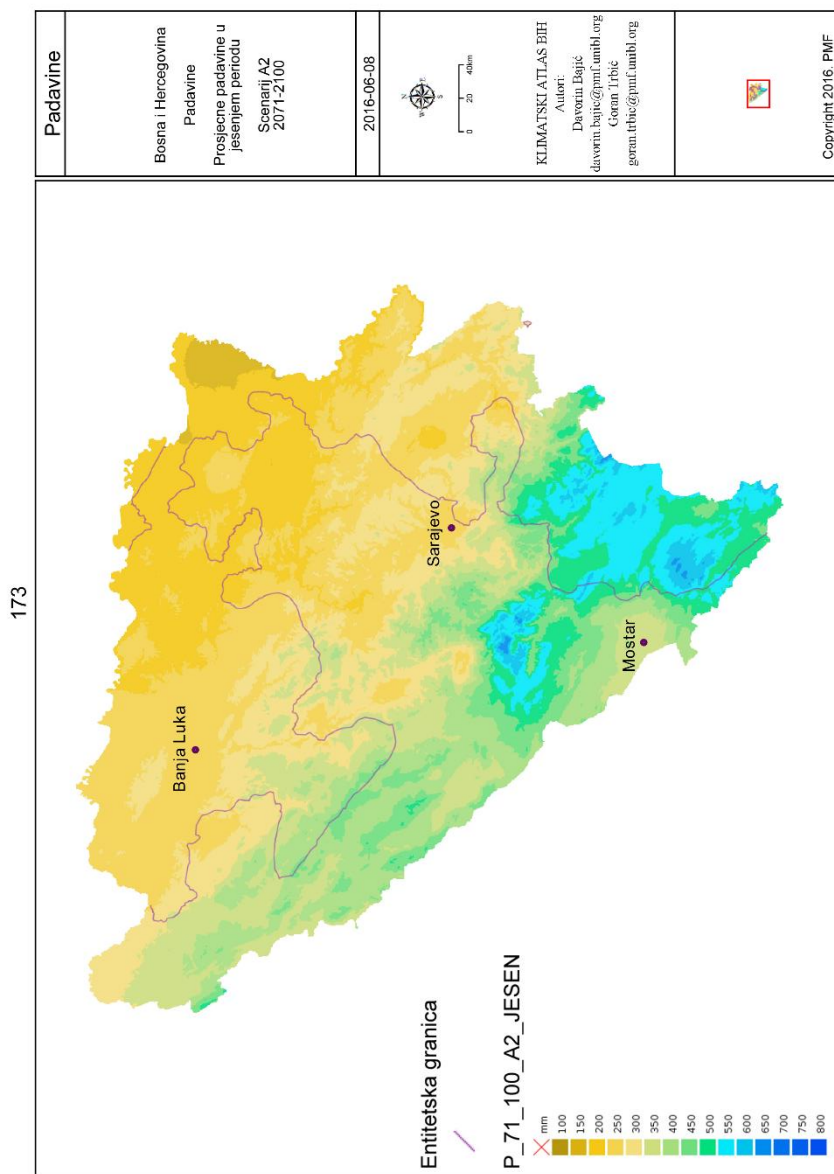


Сл. 15.147. Просјечне падавине у прољећном периоду, сценарио А2 2071–2100.

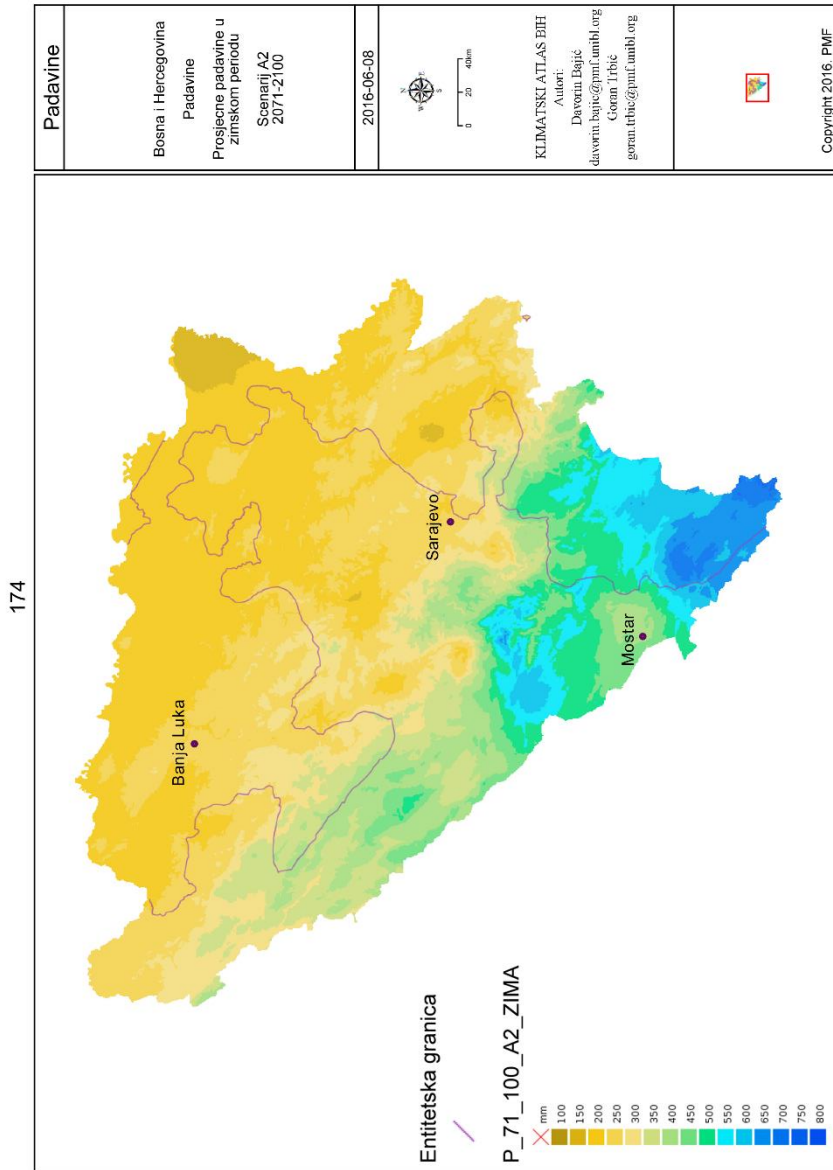
Fig. 15.147. Average precipitation in the spring, scenario A2 2071–2100.



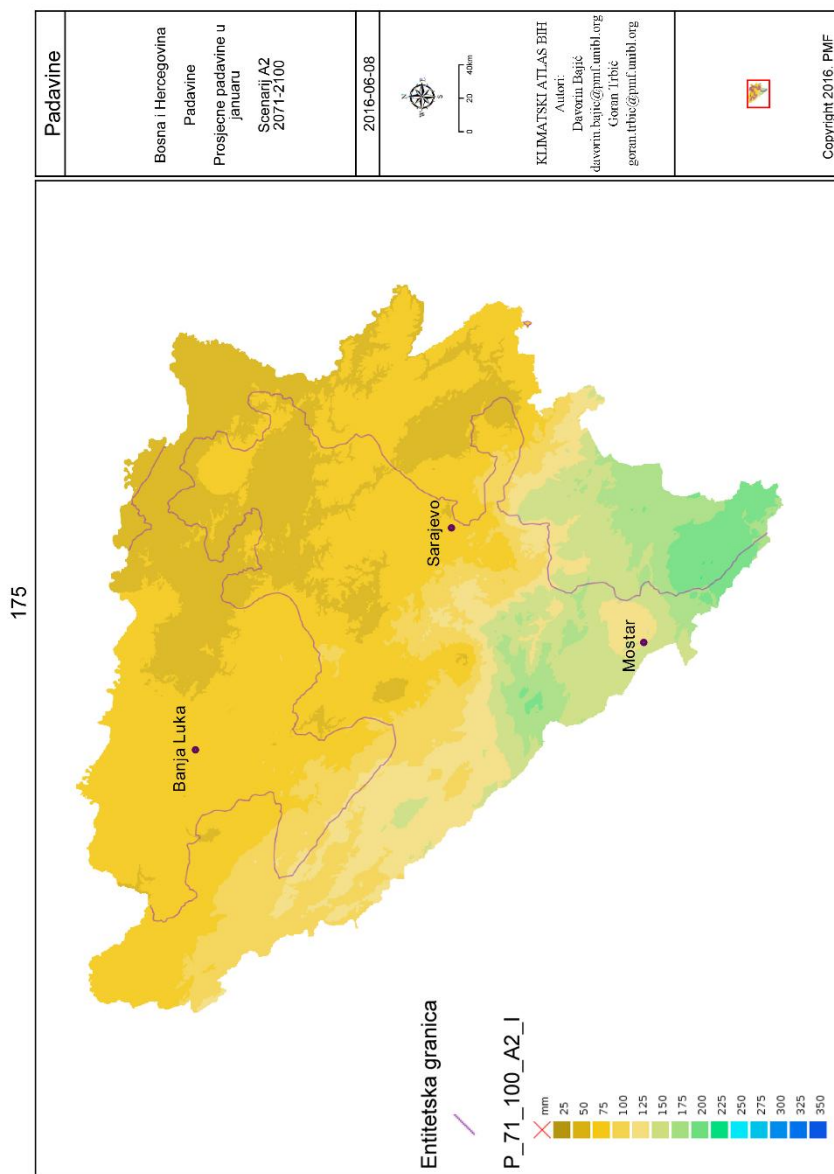
Сл. 15.148. Просјечне падавине у лјетном периоду, сценарио А2 2071–2100.
 Fig. 15.148. Average precipitation in the summer, scenario A2 2071–2100.



Сл. 15.149. Просјечне падавине у јесењем периоду, сценарио А2 2071–2100.
 Fig. 15.149. Average precipitation in the autumn, scenario A2 2071–2100.

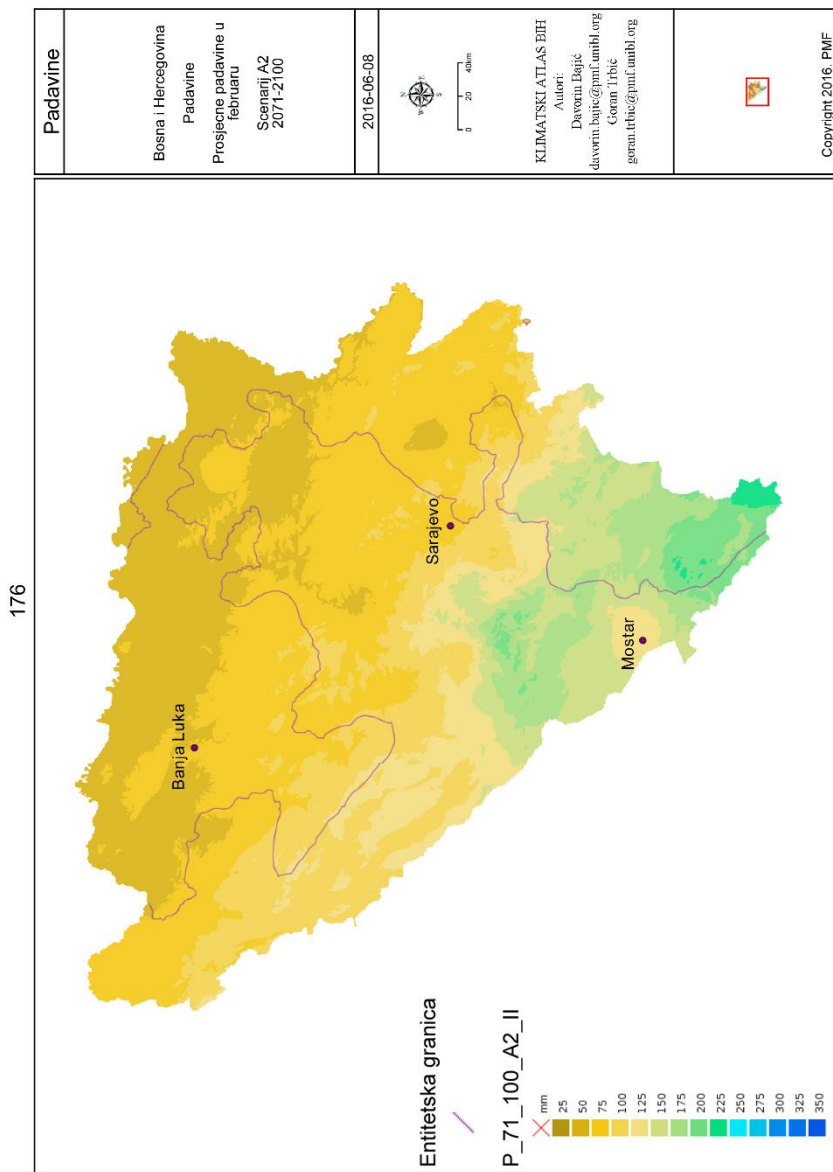


Сл. 15.150. Просјечне падавине у зимском периоду, сценарио А2 2071–2100.
 Fig. 15.150. Average precipitation in the winter, scenario A2 2071–2100.



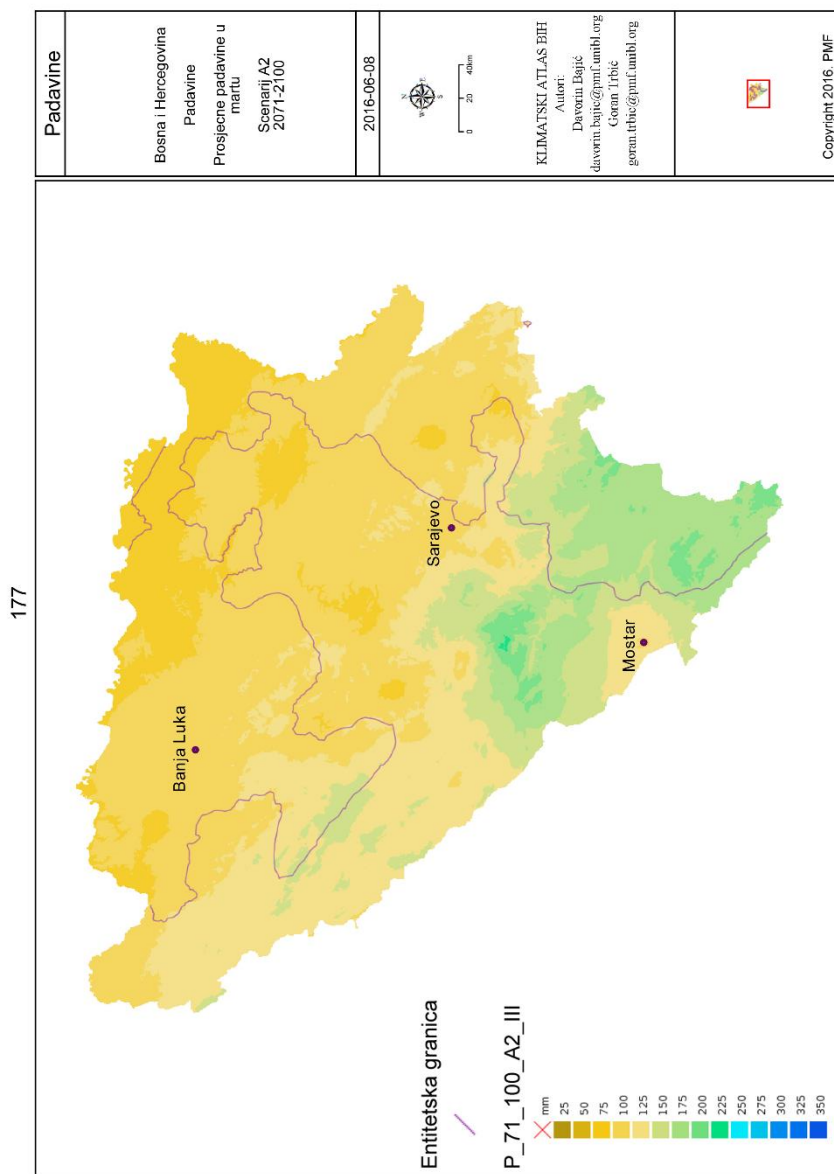
Сл. 15.151. Просјечне падавине у јануару, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.151. Average precipitation in January, scenario A2 2071–2100.



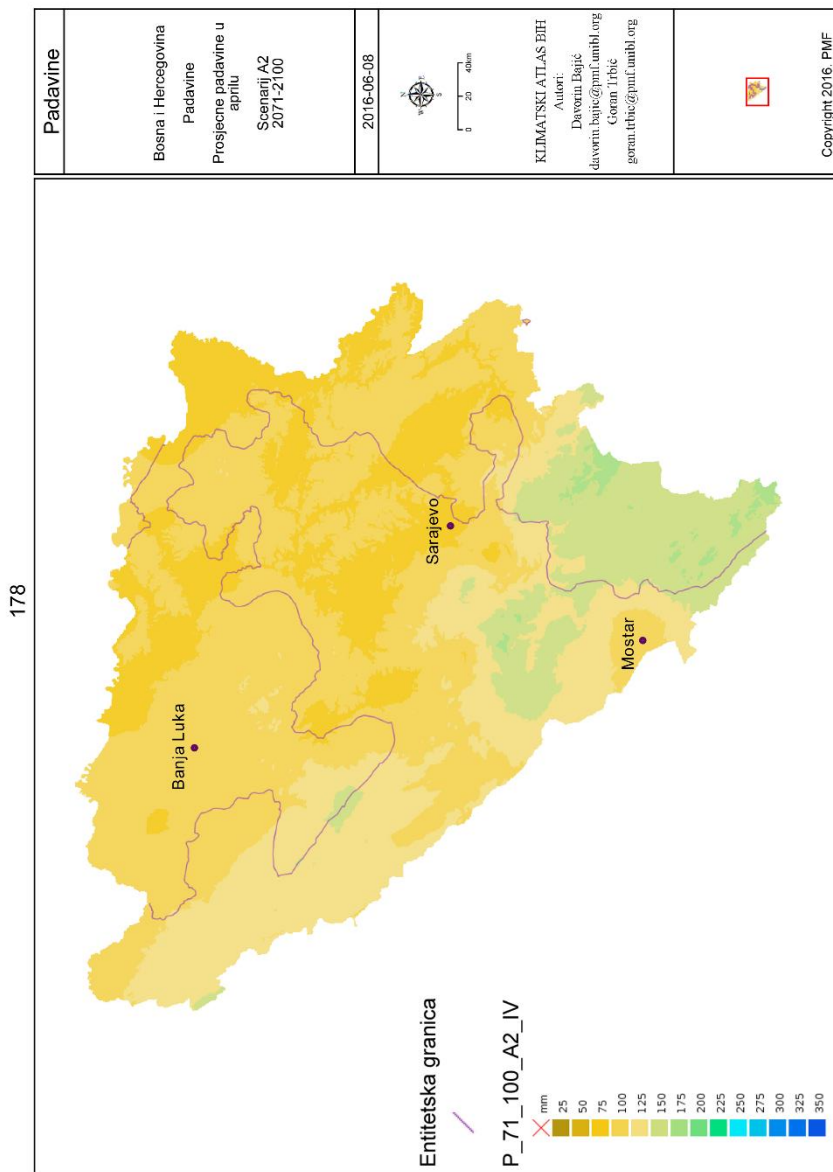
Сл. 15.152. Просјечне падавине у фебруару, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.152. Average precipitation in February, scenario A2 2071–2100.



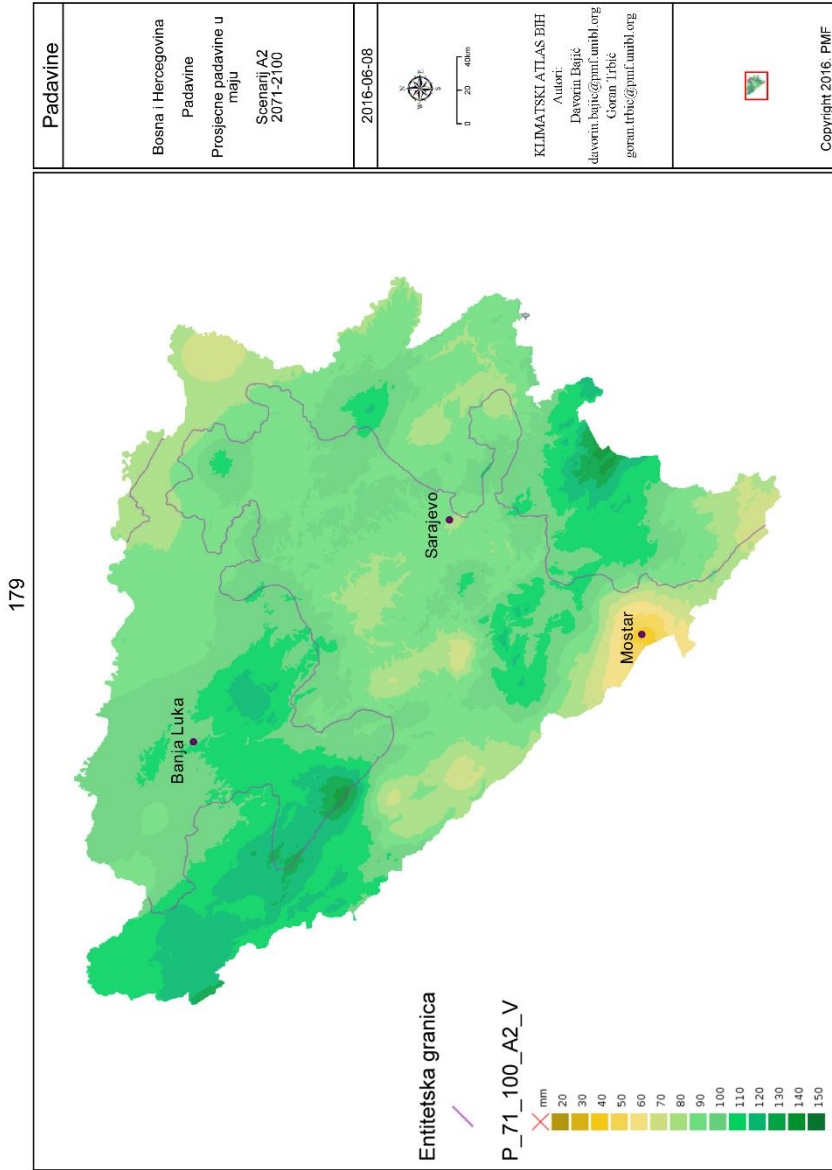
Сл. 15.153. Просјечне падавине у марту, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.153. Average precipitation in March, scenario A2 2071–2100.



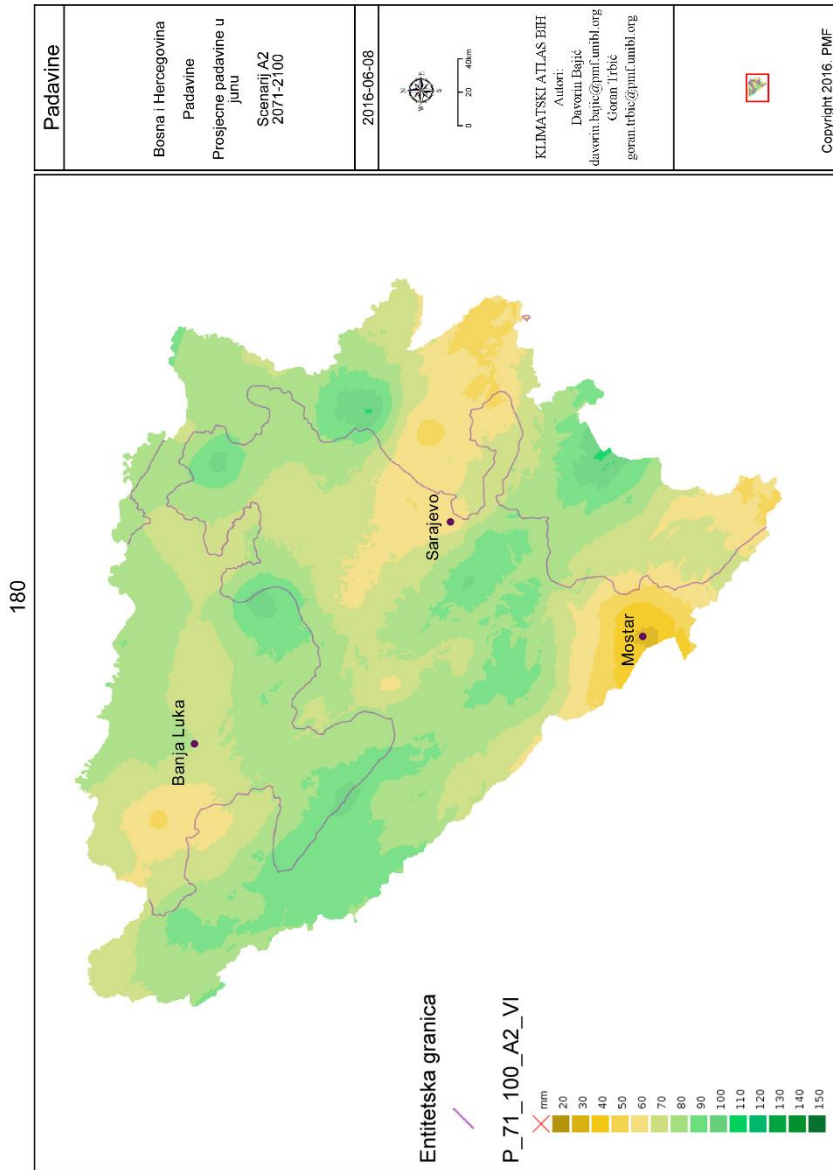
Сл. 15.154. Просјечне падавине у априлу, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.154. Average precipitation in April, scenario A2 2071–2100.



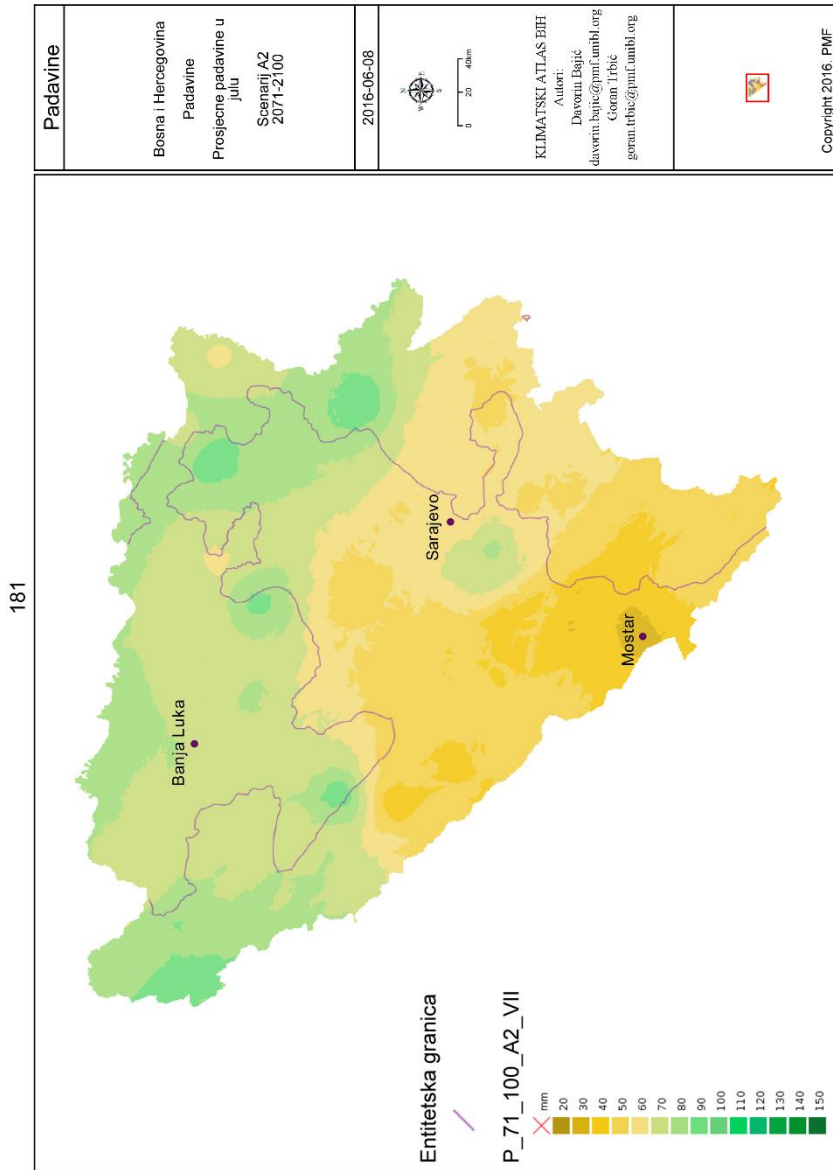
Сл. 15.155. Просјечне падавине у мају, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.155. Average precipitation in May, scenario A2 2071–2100.



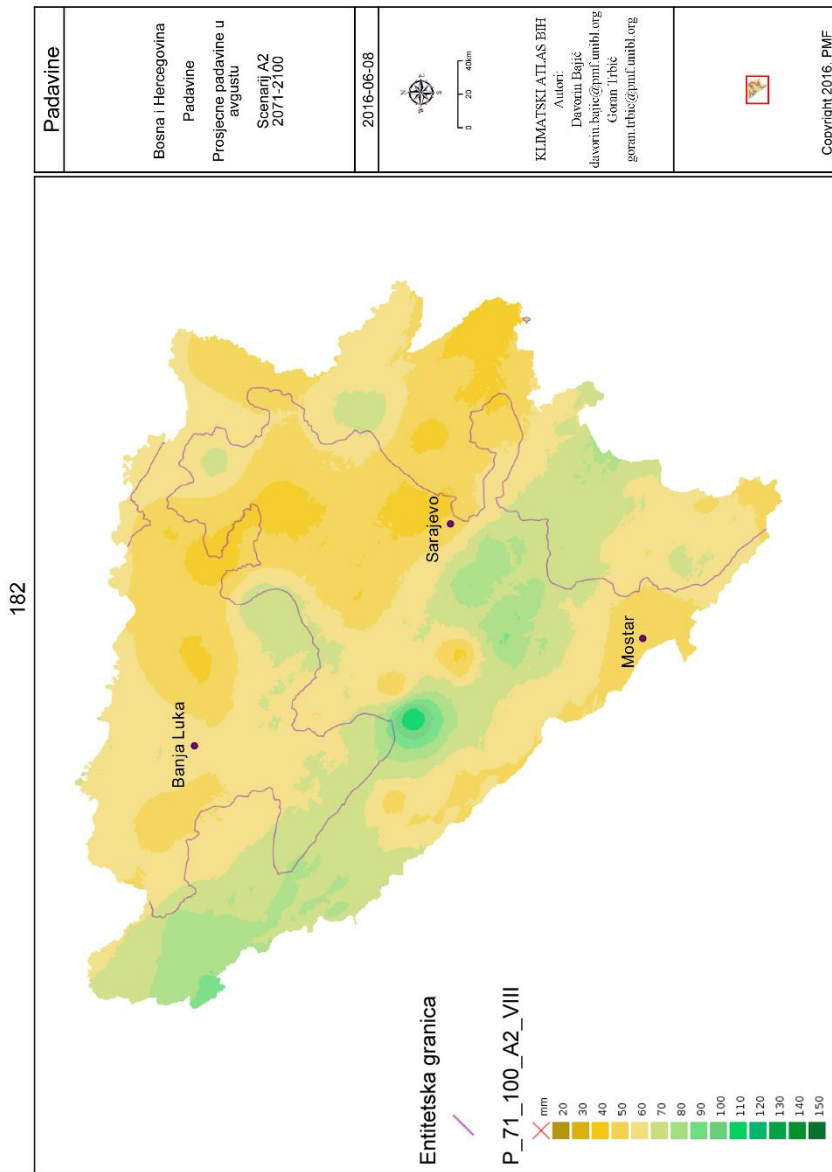
Сл. 15.156. Просјечне падавине у јуну, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.156. Average precipitation in June, scenario A2 2071–2100.



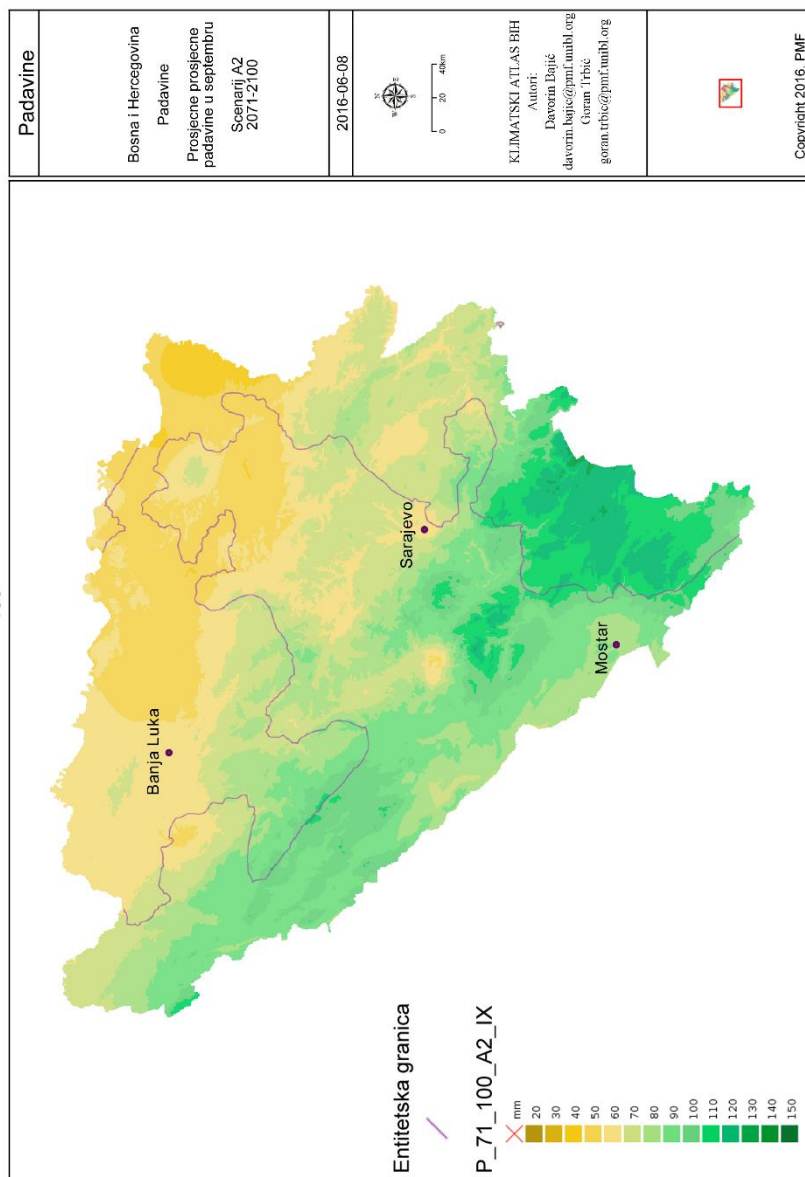
Сл. 15.157. Просјечне падавине у јулу, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.157. Average precipitation in July, scenario A2 2071–2100.

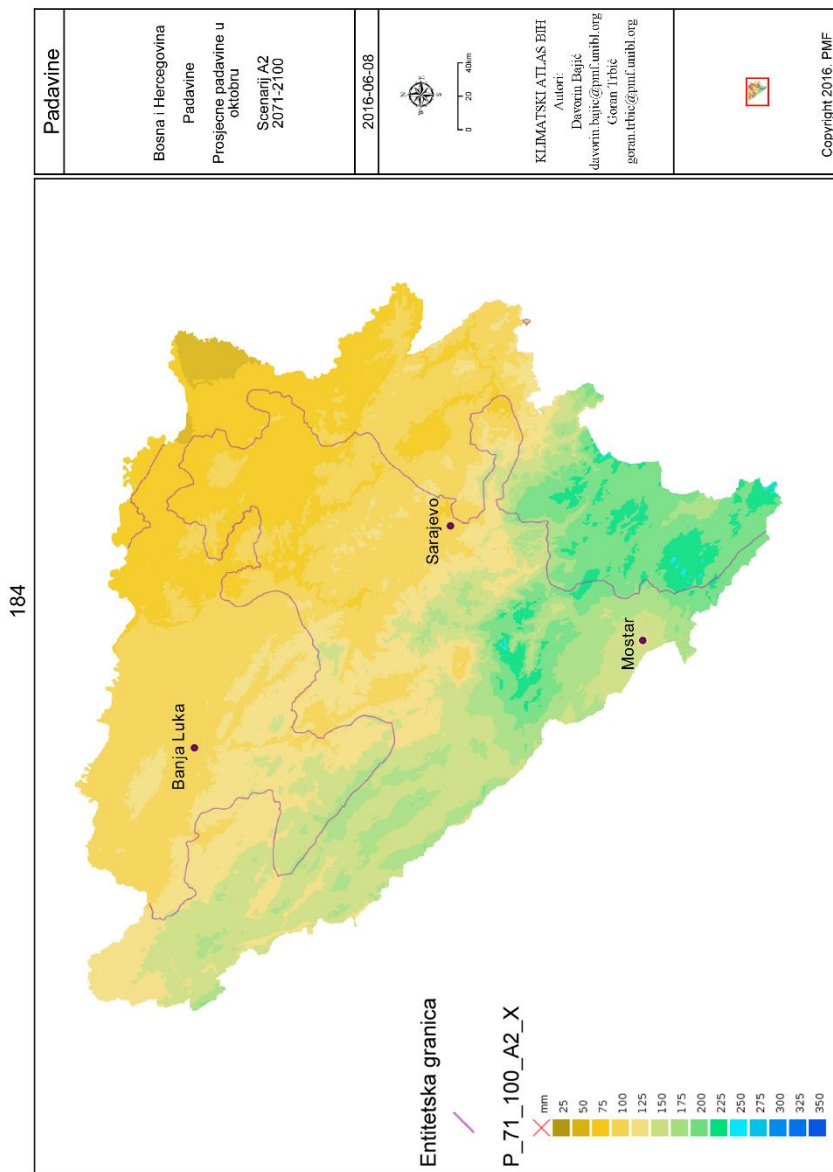


Сл. 15.158. Просјечне падавине у августу, сценарио А2 2071–2100.
 Fig. 15.158. Average precipitation in August, scenario A2 2071–2100.

183

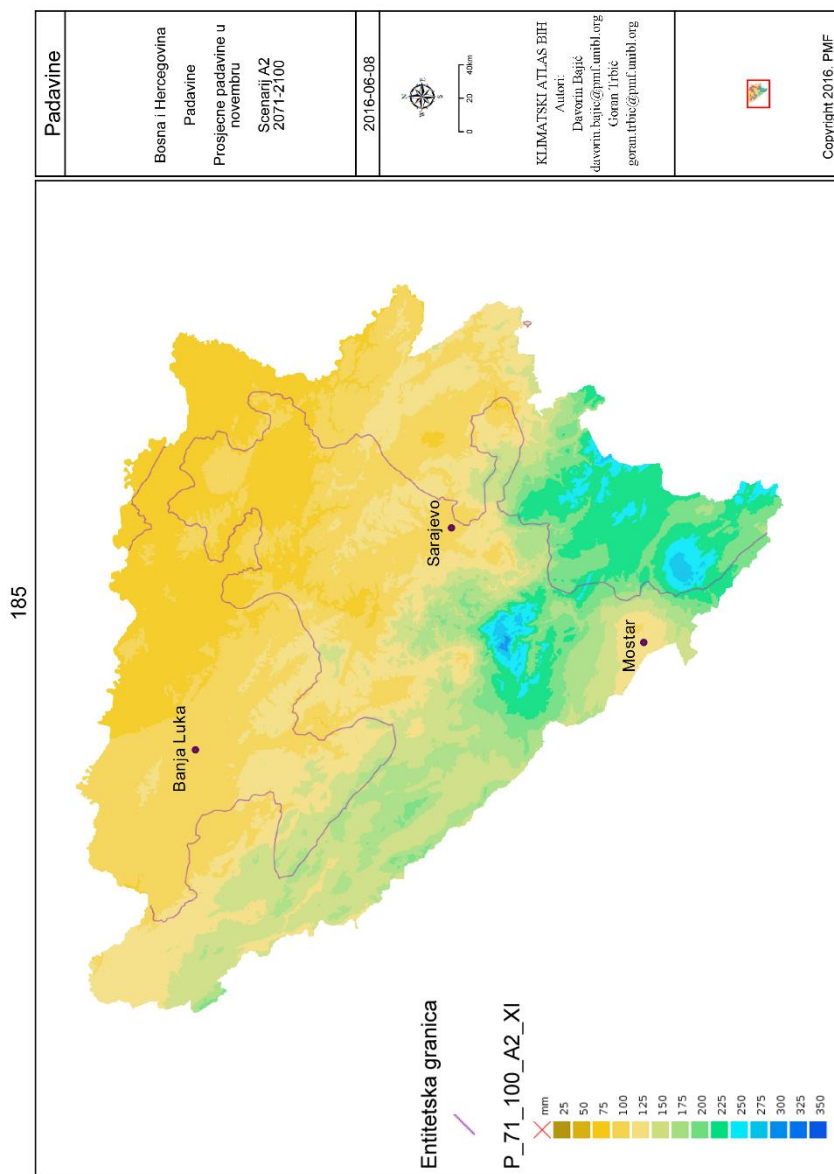


Сл. 15.159. Просјечне падавине у септембру, сценарио А2 2071–2100.
Fig. 15.159. Average precipitation in September, scenario A2 2071–2100.



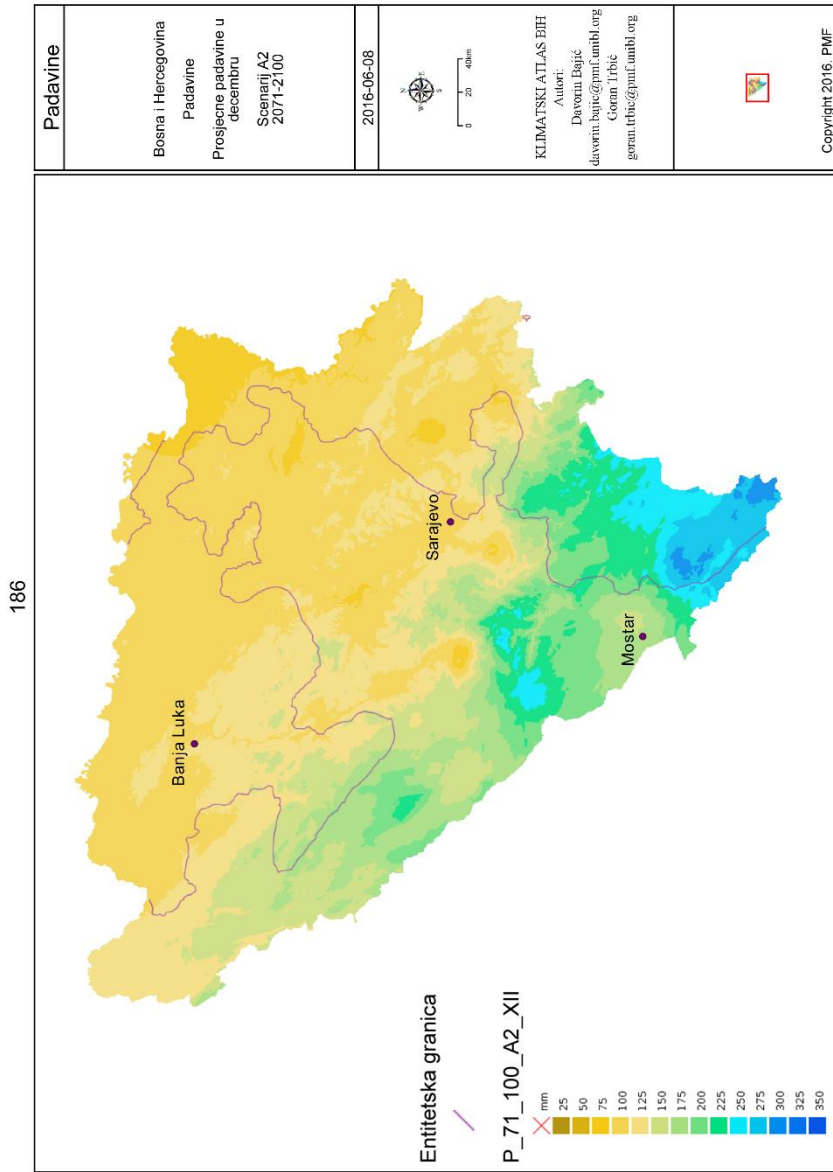
Сл. 15.160. Просјечне падавине у октобру, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.160. Average precipitation in October, scenario A2 2071–2100.

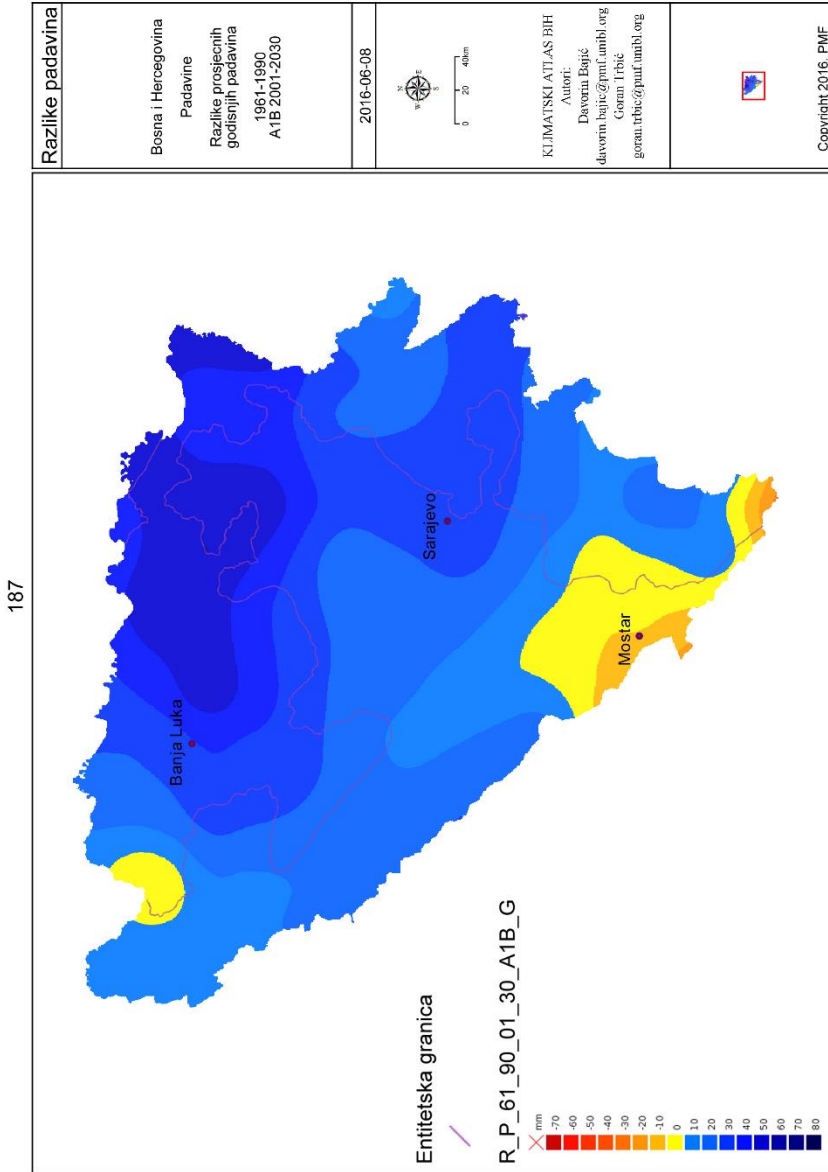


Сл. 15.161. Просјечне падавине у новембру, сценарио А2 2071–2100.

Fig. 15.161. Average precipitation in November, scenario A2 2071–2100.

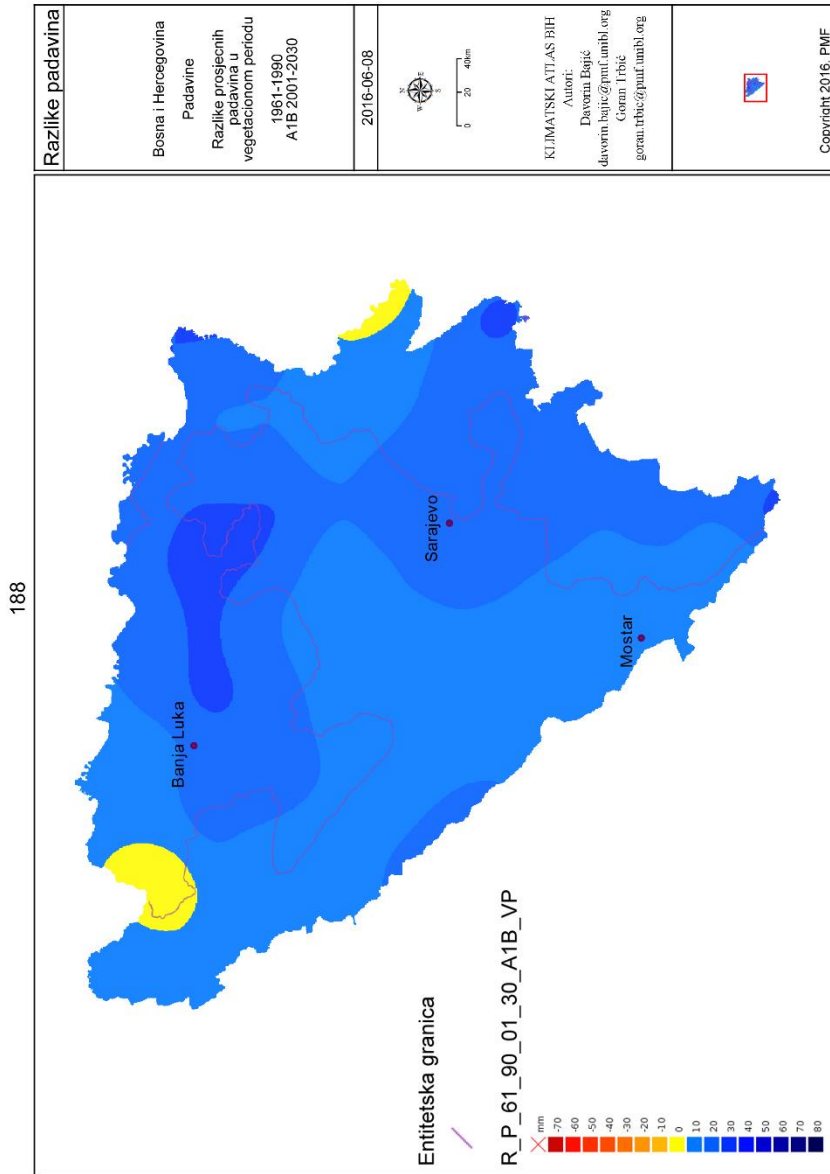


Сл. 15.162. Просјечне падавине у децембру, сценарио А2 2071–2100.
Fig. 15.162. Average precipitation in December, scenario A2 2071–2100.



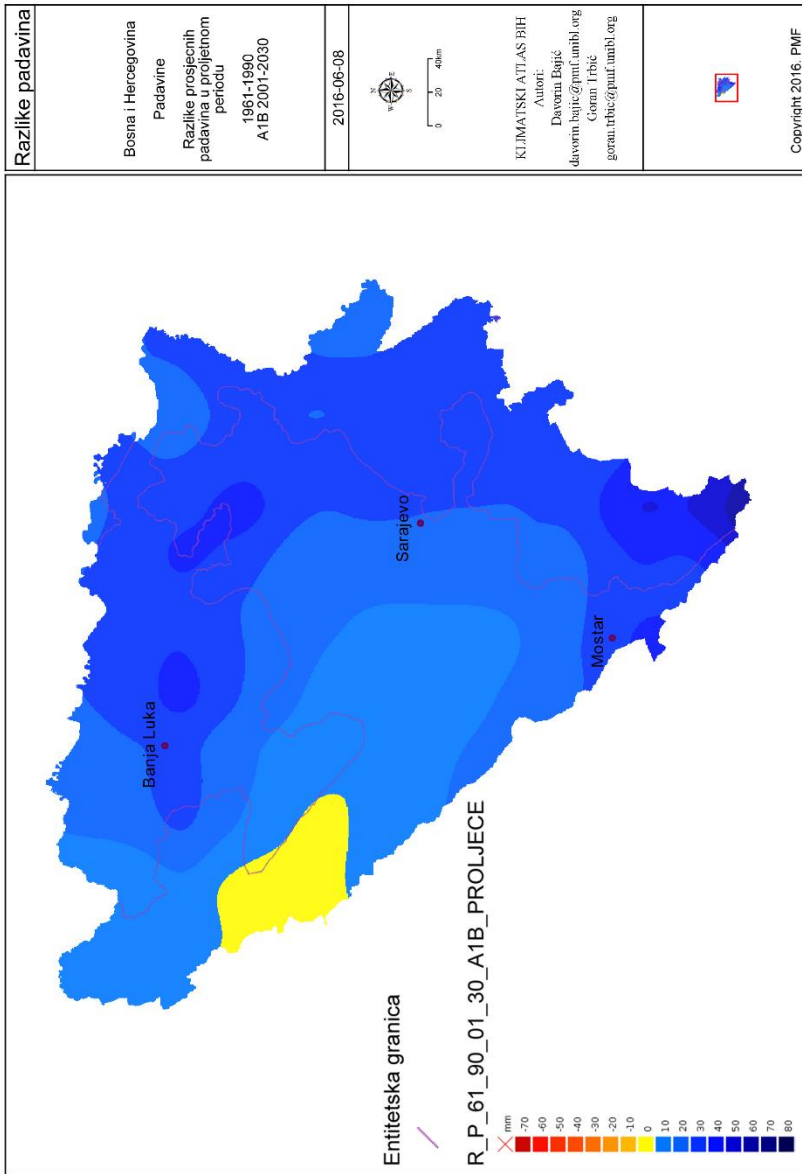
Сл. 15.163. Разлике просјечних годишњих падавина 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.163. Differences in average annual precipitation 1961–1990. A1B 2001–2030.



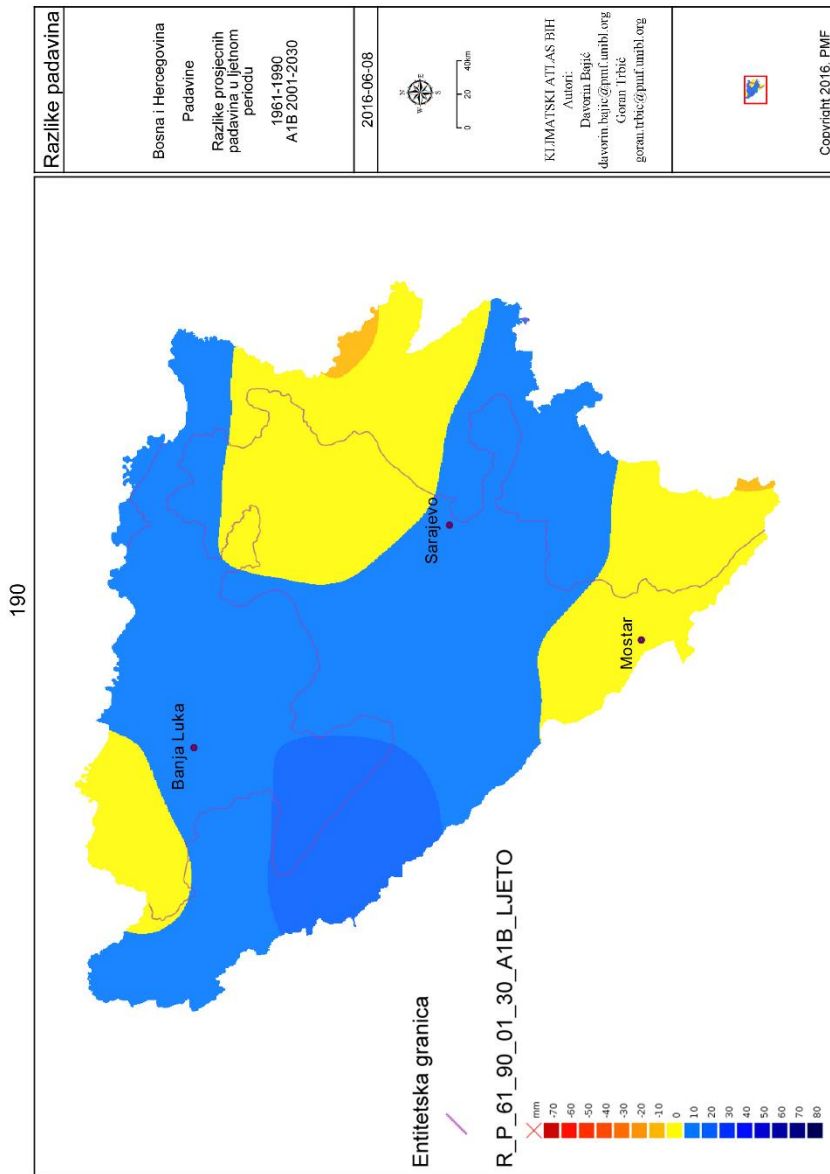
Сл. 15.164. Разлике просјечних падавина у вегетационом периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.164. Differences in average precipitation during growing season 1961–1990. A1B 2001–2030.



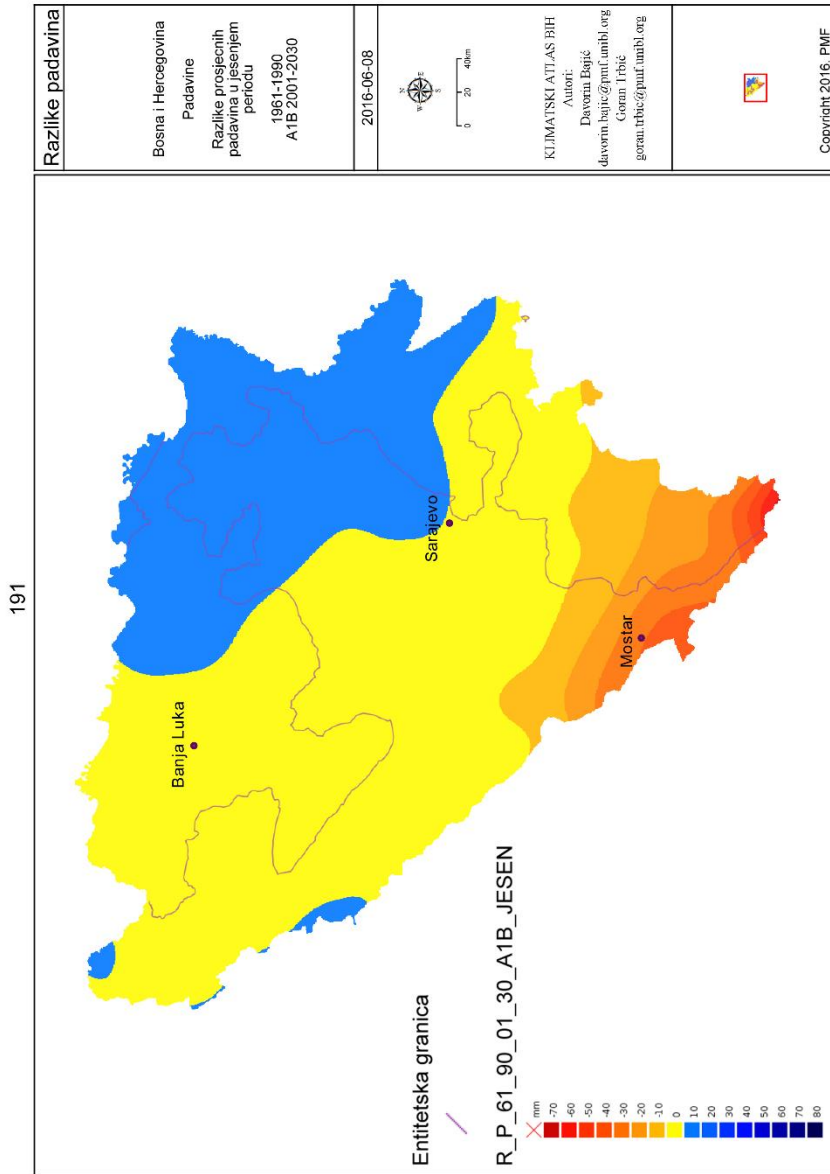
Сл. 15.165. Разлике просјечних падавина у прољетном периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.165. Differences in average precipitation in the spring 1961–1990. A1B 2001–2030.



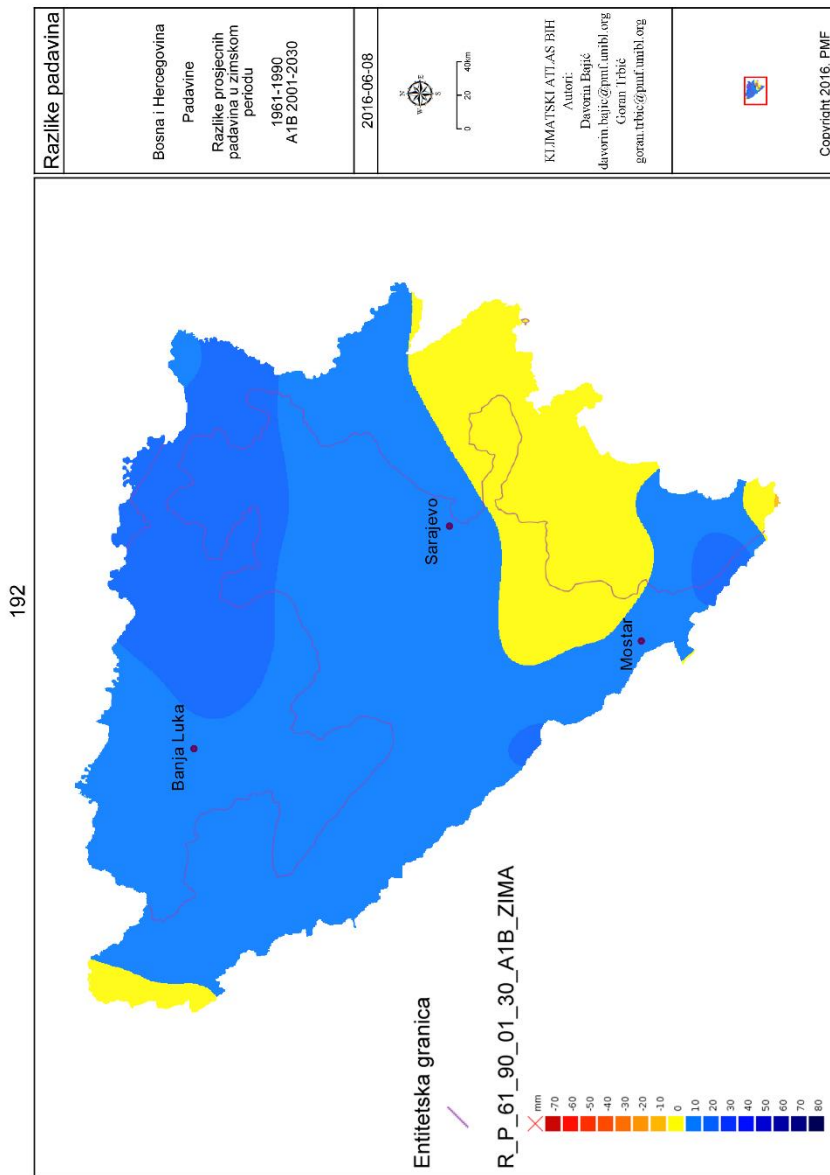
Сл. 15.166. Разлике просјечних падавина у љетном периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.166. Differences in average precipitation in the summer 1961–1990. A1B 2001–2030.



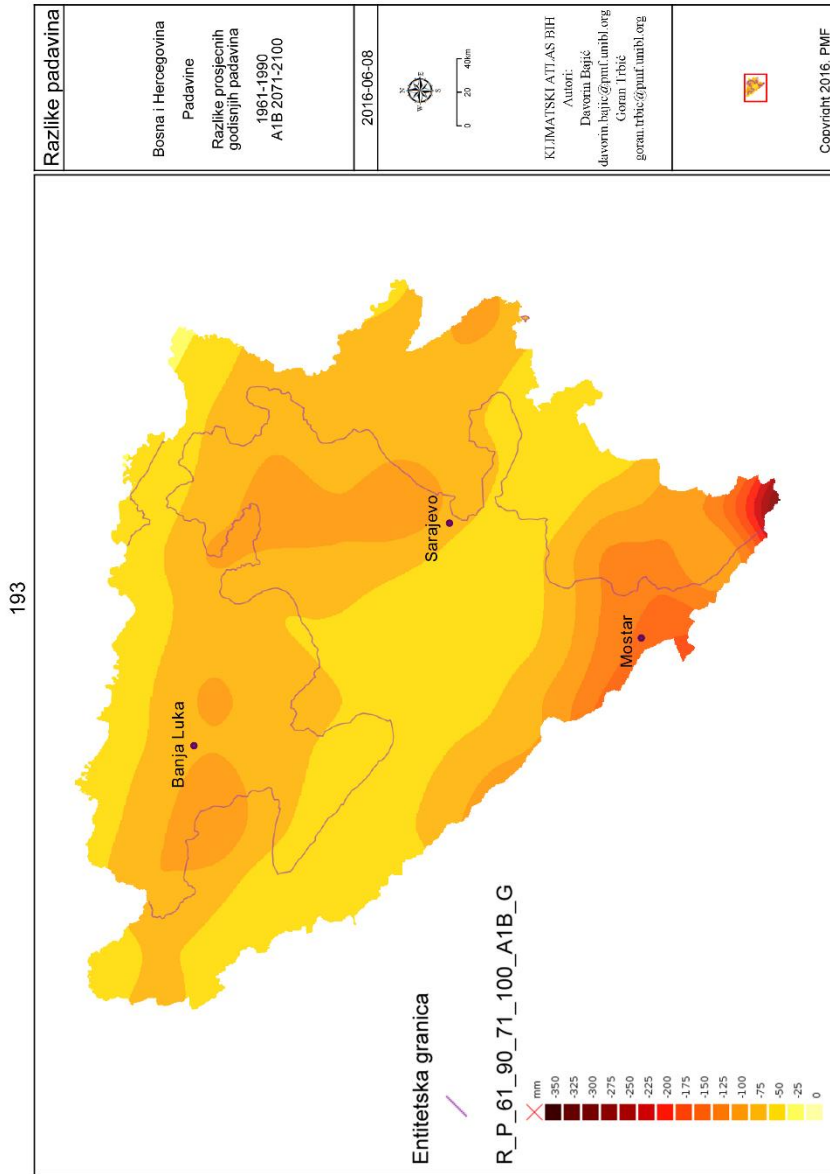
Сл. 15.167. Разлике просјечних падавина у јесењем периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.167. Differences in average precipitation in the autumn 1961–1990. A1B 2001–2030.



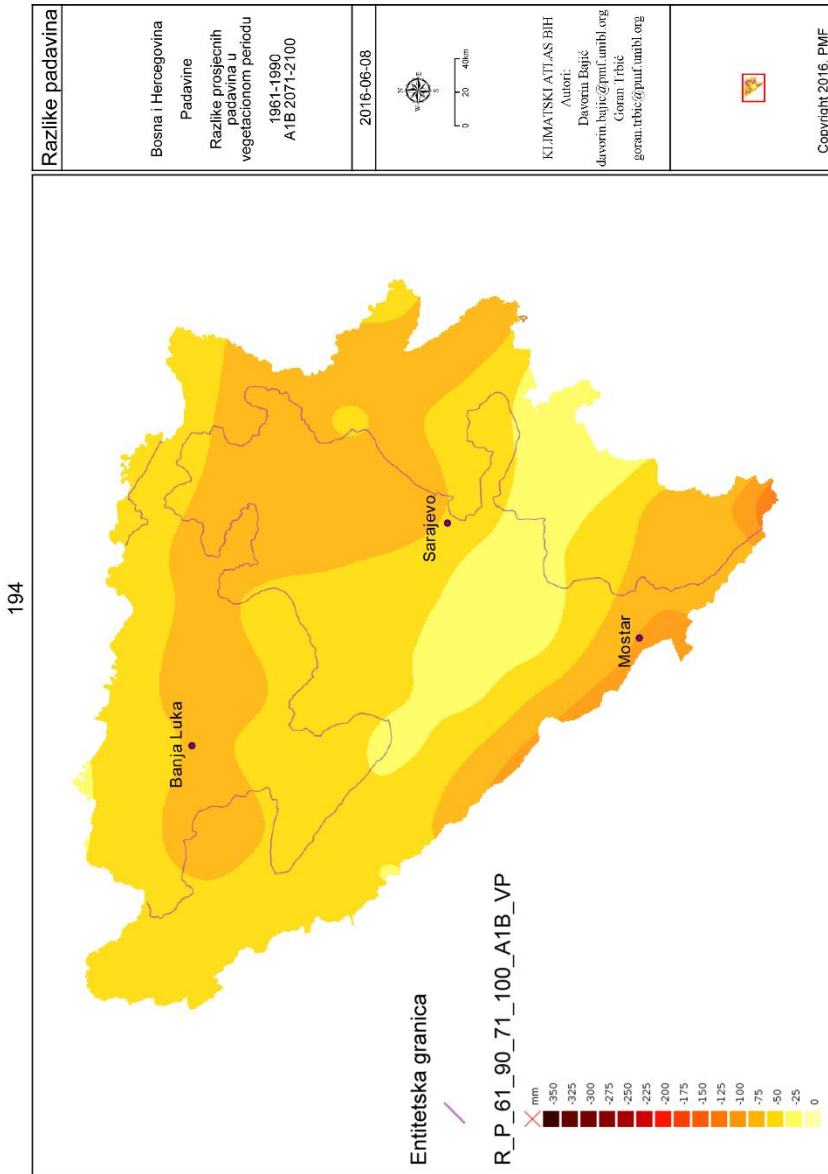
Сл. 15.168. Разлике просјечних падавина у зимском периоду 1961–1990. А1В 2001–2030.

Fig. 15.168. Differences in average precipitation in the winter 1961–1990. A1B 2001–2030.



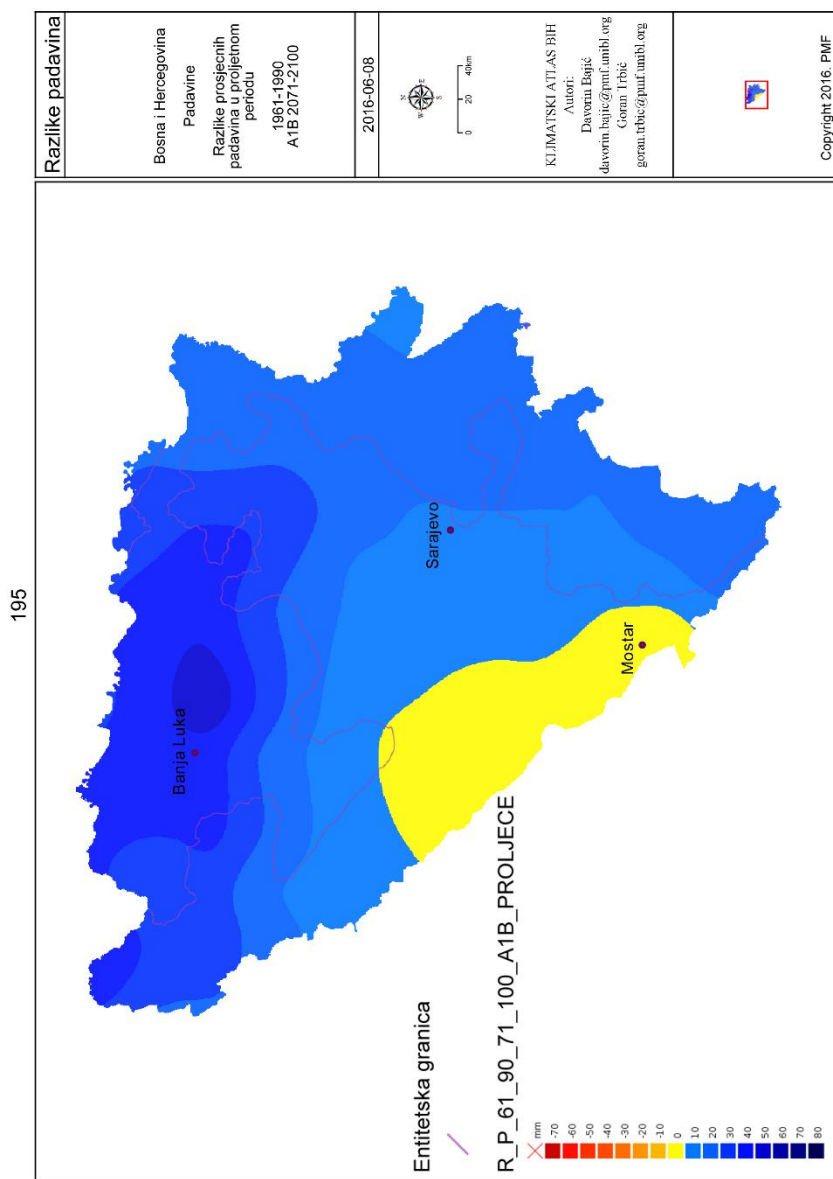
Сл. 15.169. Разлике просјечних годишњих падавина 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.169. Differences in average annual precipitation 1961–1990. A1B 2071–2100.



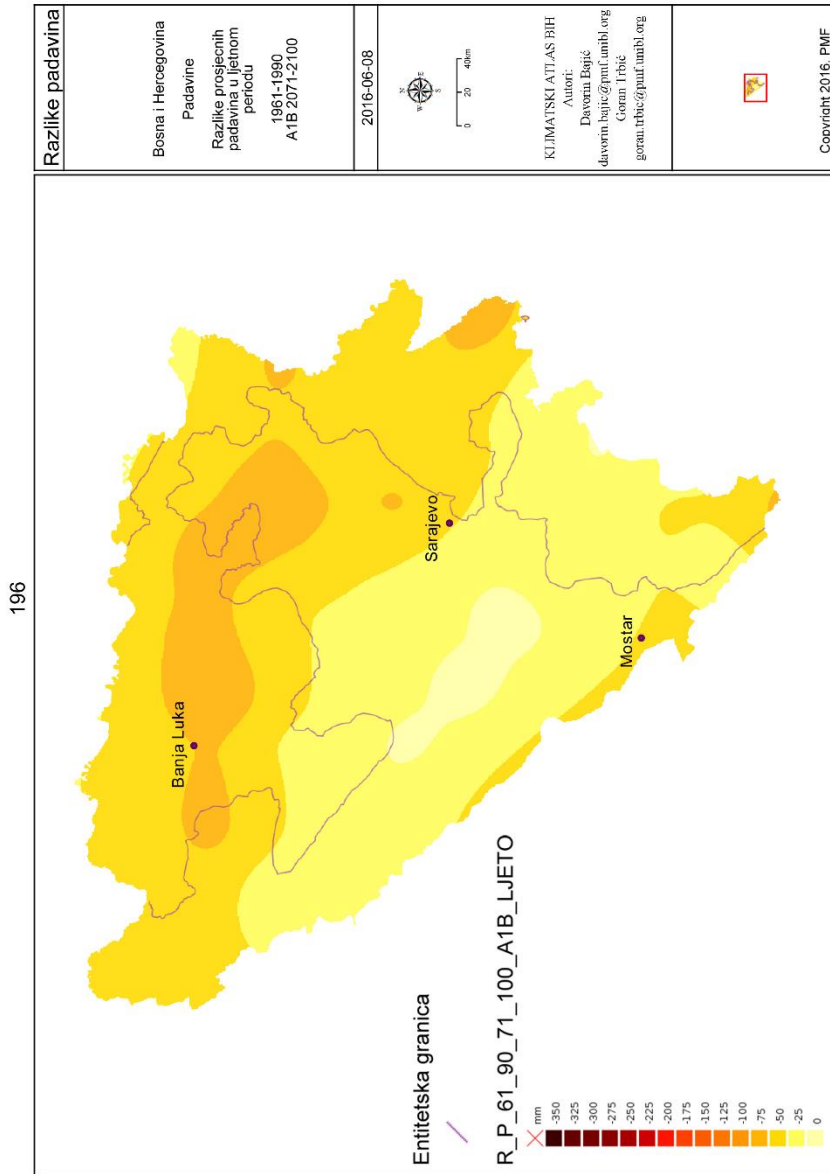
Сл. 15.170. Разлике просјечних падавина у вегетационом периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.170. Differences in average precipitation during growing season 1961–1990. A1B 2071–2100.



Сл. 15.171. Разлике просјечних падавина у прољетном периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

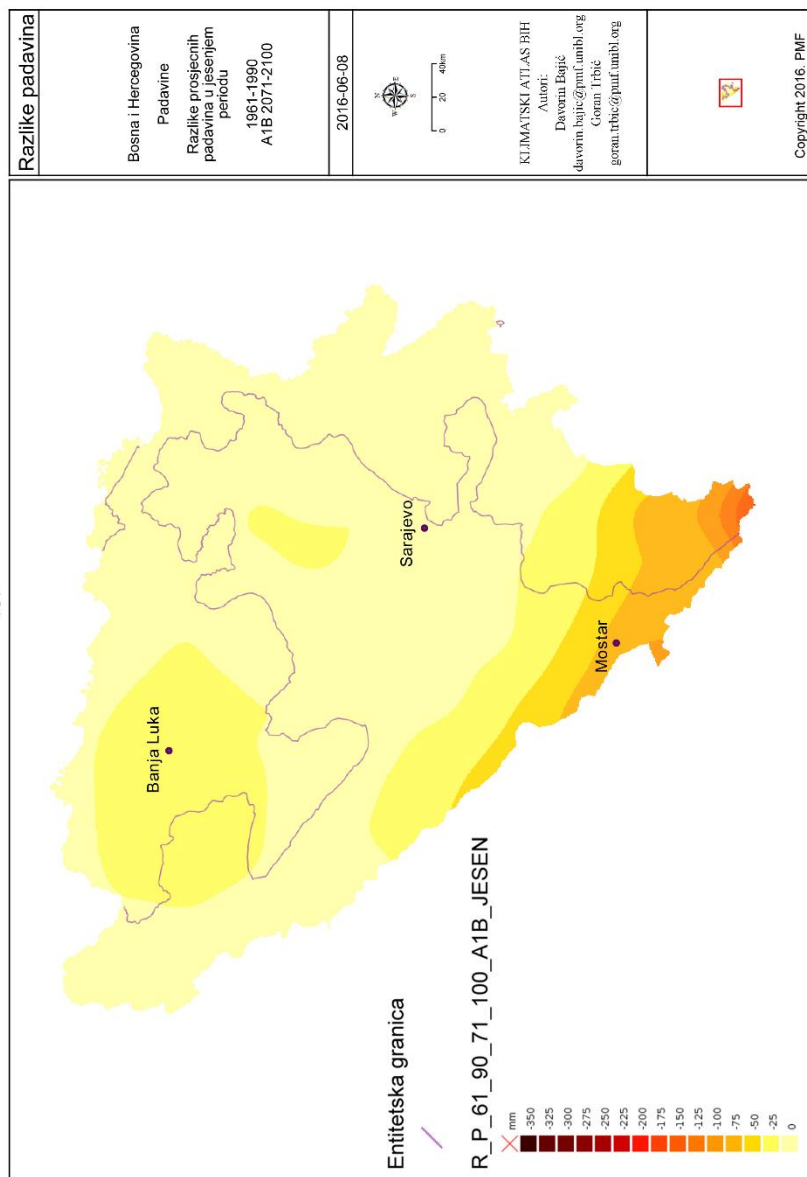
Fig. 15.171. Differences in average precipitation in the spring 1961–1990. A1B 2071–2100.



Сл. 15.172. Разлике просјечних падавина у љетном периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

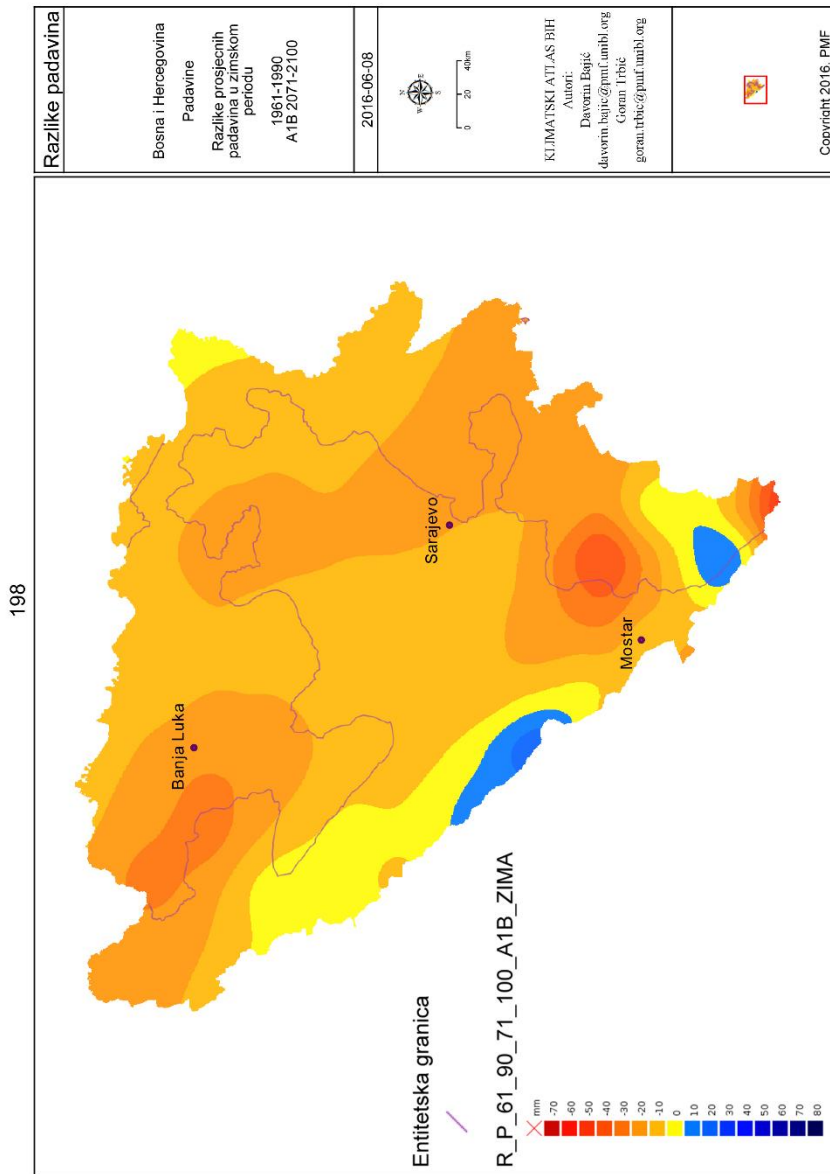
Fig. 15.172. Differences in average precipitation in the summer 1961–1990. A1B 2071–2100.

197



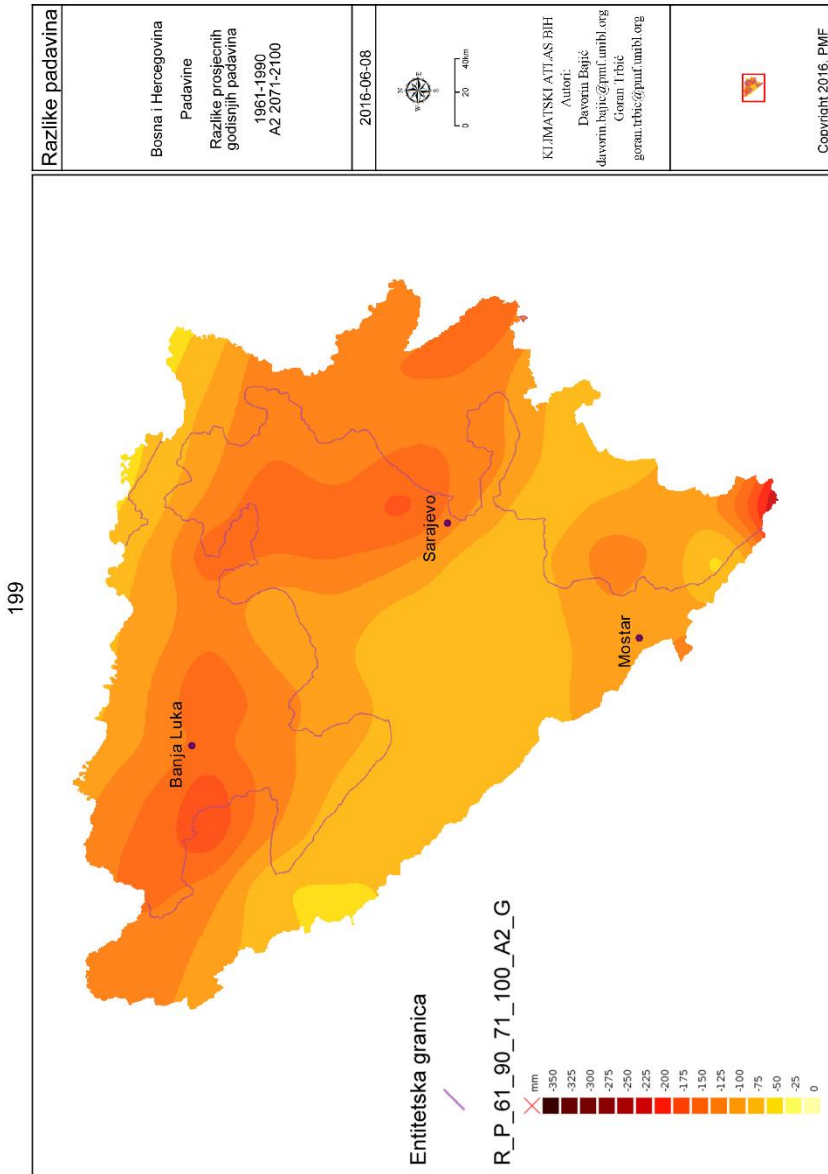
Сл. 15.173. Разлике просјечних падавина у јесењем периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.173. Differences in average precipitation in the autumn 1961–1990. A1B 2071–2100.



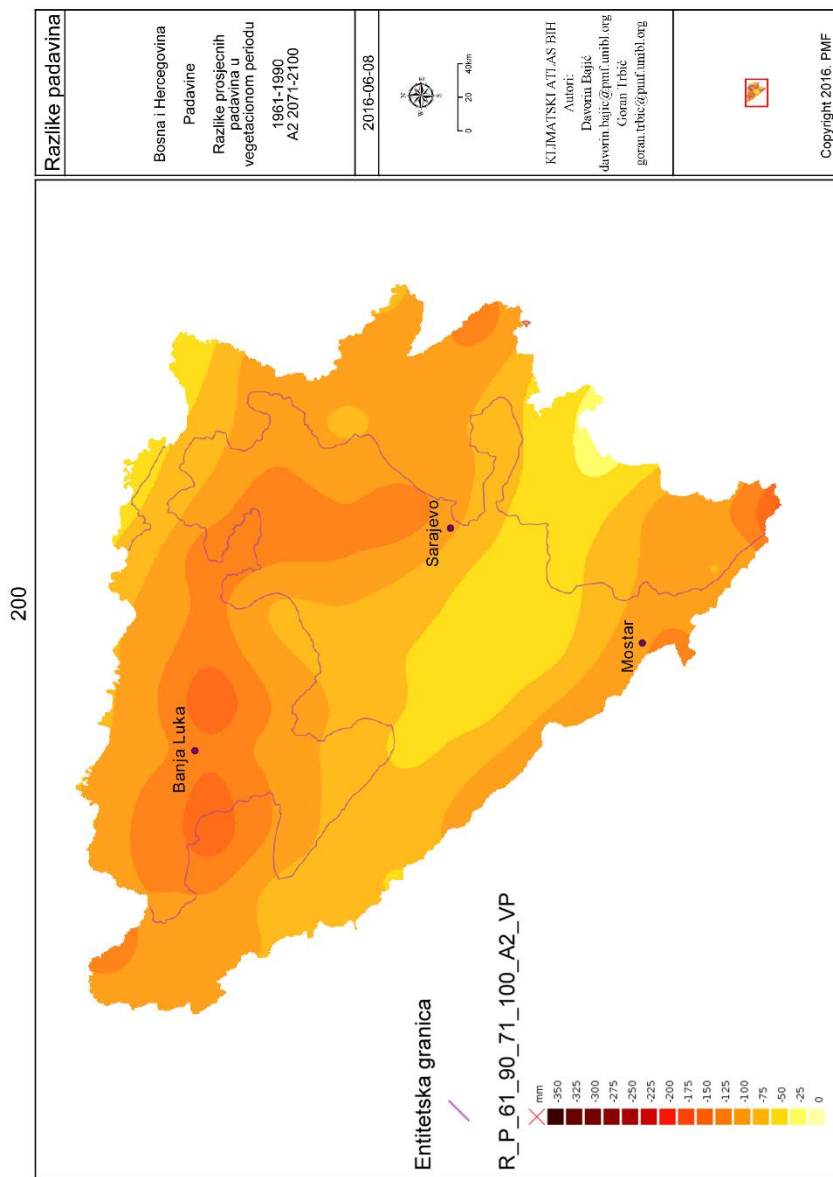
Сл. 15.174. Разлике просјечних падавина у зимском периоду 1961–1990. А1В 2071–2100.

Fig. 15.174. Differences in average precipitation in the winter 1961–1990. A1B 2071–2100.



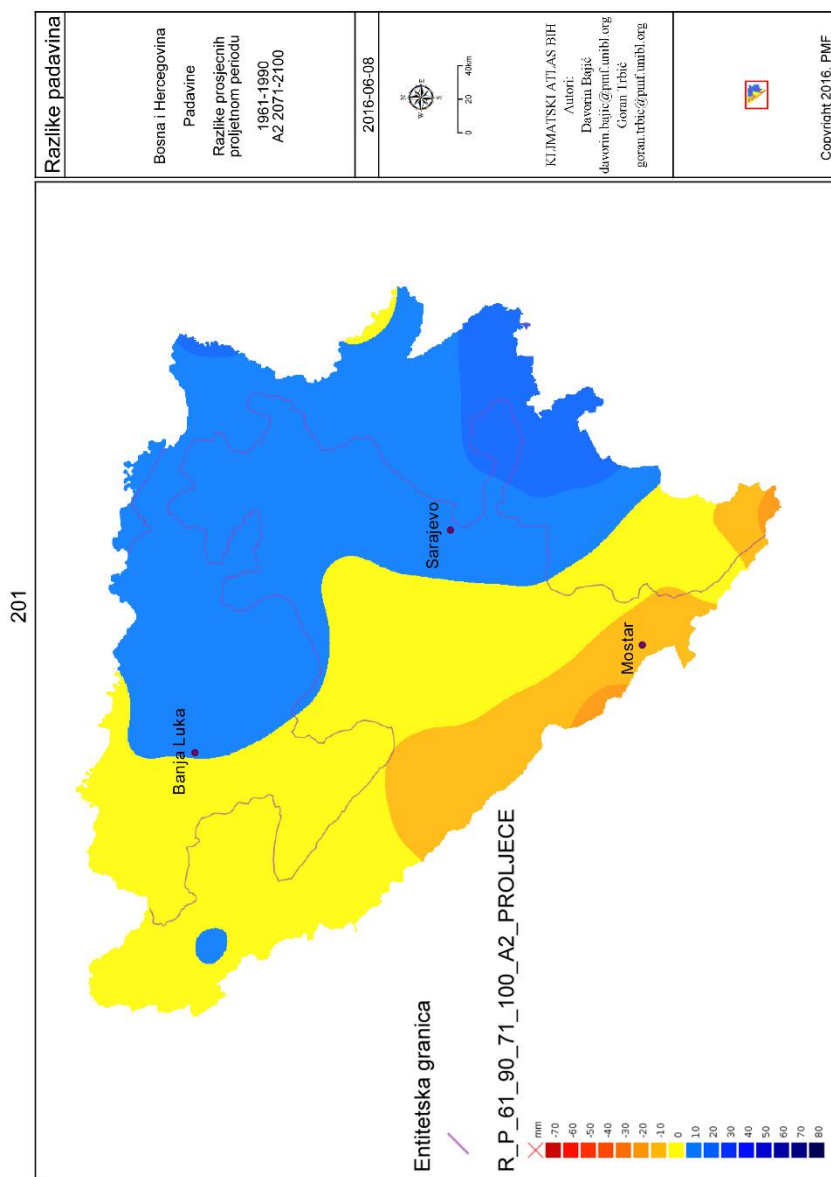
Сл. 15.175. Разлике просјечних годишњих падавина 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.175. Differences in average annual precipitation 1961–1990. A1B 2071–2100.



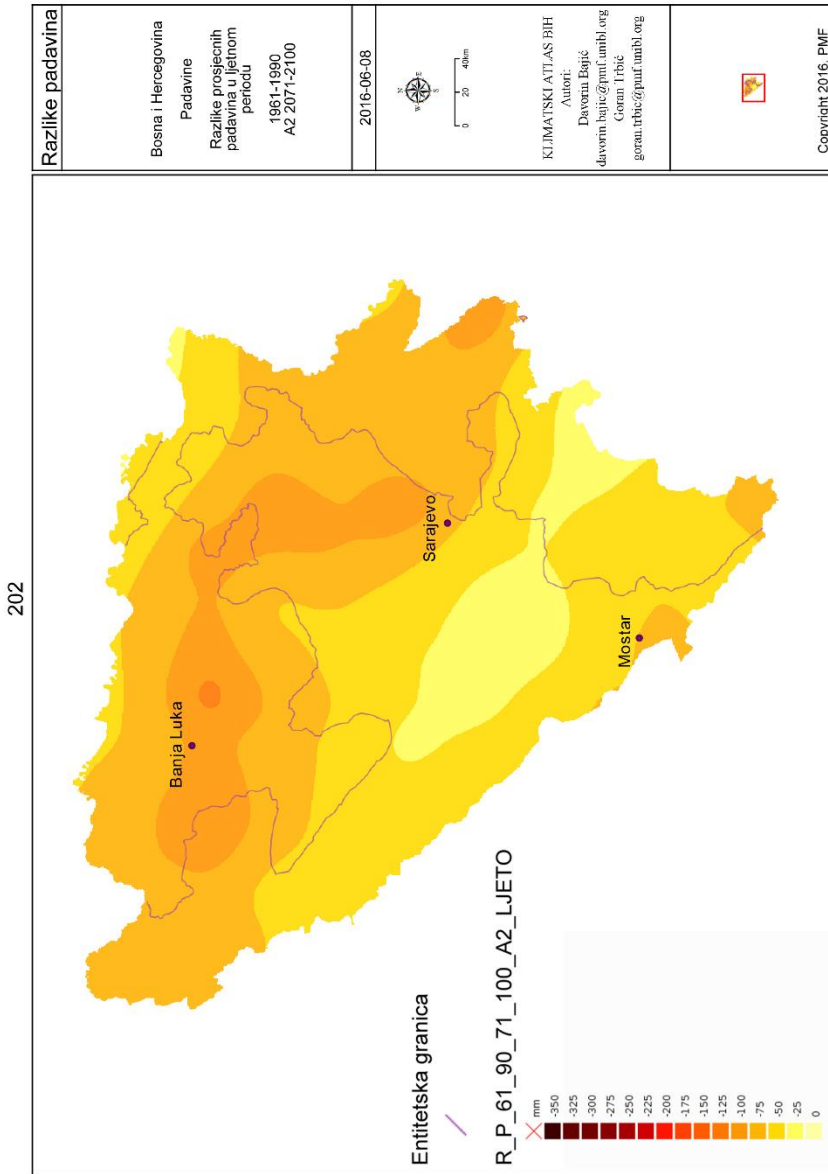
Сл. 15.176. Разлике просјечних падавина у вегетационом периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.176. Differences in average precipitation during growing season 1961–1990. A1B 2071–2100.



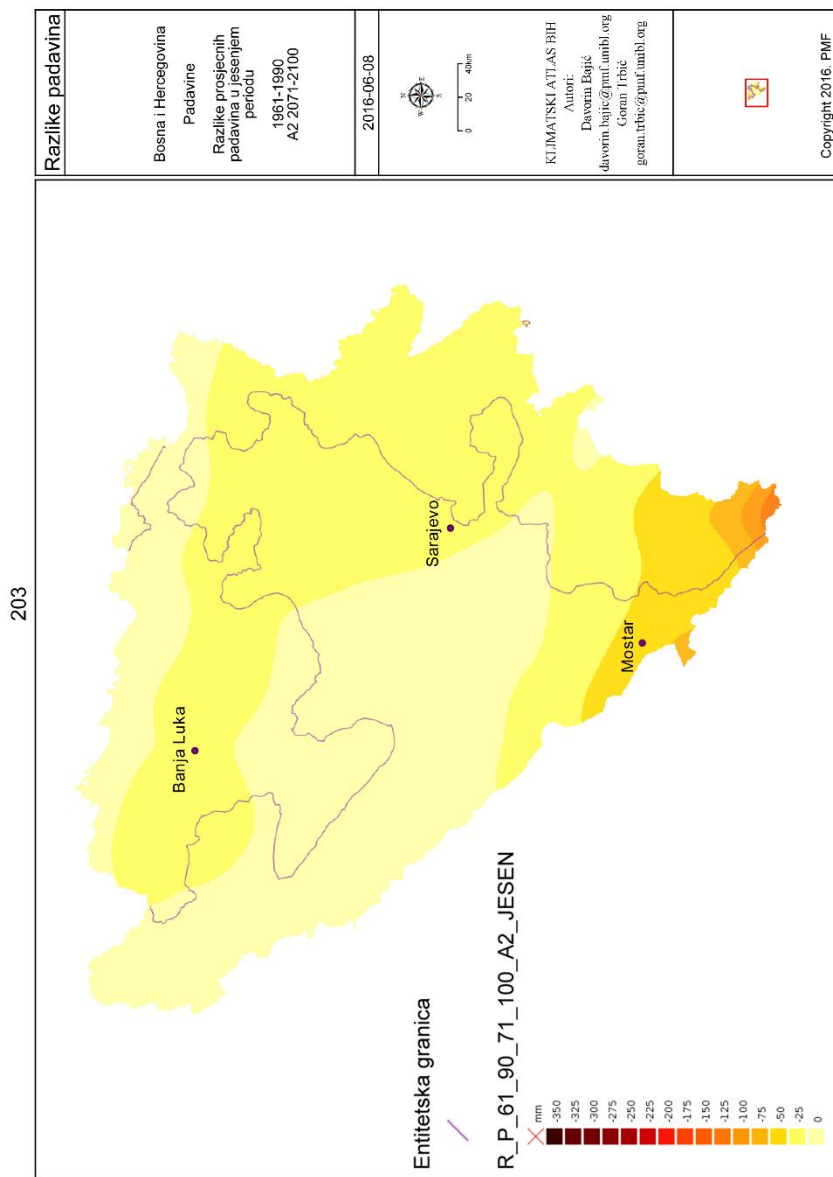
Сл. 15.177. Разлике просјечних падавина у прољетном периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.177. Differences in average precipitation in the spring 1961–1990. A1B 2071–2100.



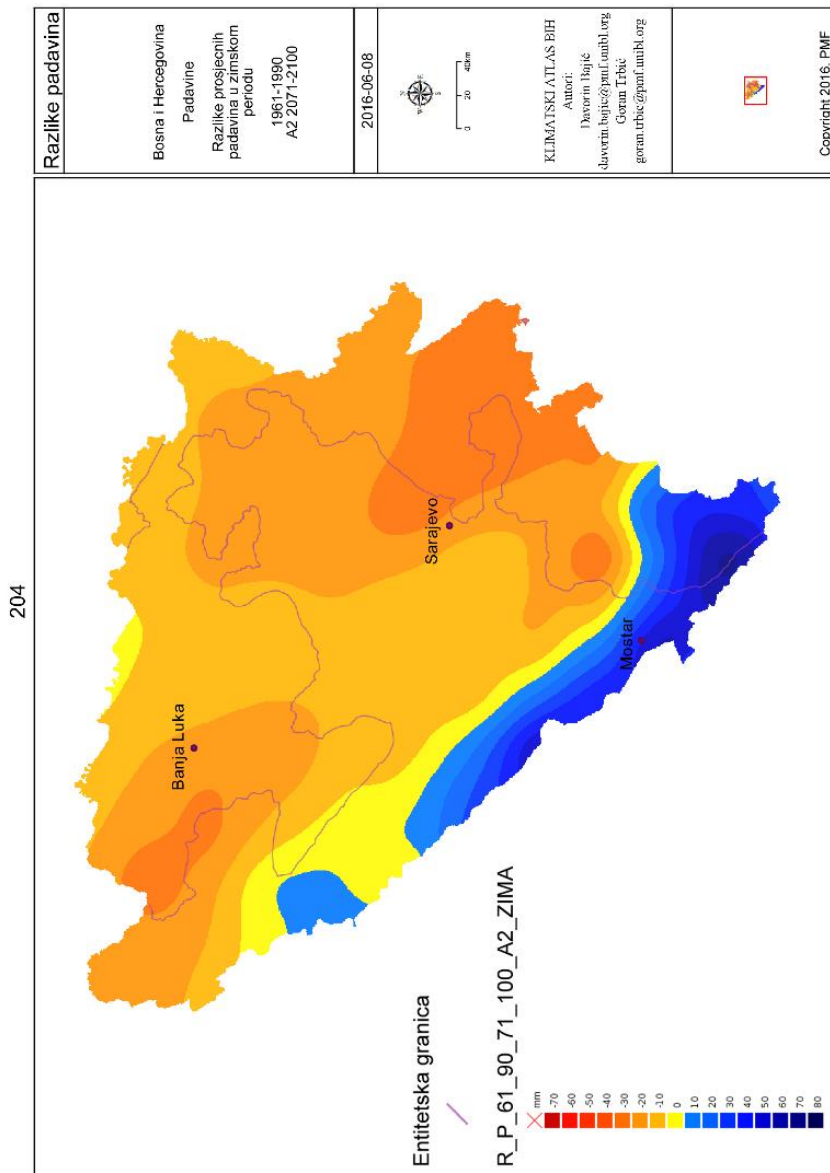
Сл. 15.178. Разлике просјечних падавина у љетном периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.178. Differences in average precipitation in the summer 1961–1990. A1B 2071–2100.



Сл. 15.179. Разлике просјечних падавина у јесењем периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.179. Differences in average precipitation in the autumn 1961–1990. A1B 2071–2100.



Сл. 15.180. Разлике просјечних падавина у зимском периоду 1961–1990. А2 2071–2100.

Fig. 15.180. Differences in average precipitation in the winter 1961–1990. A1B 2071–2100.

Литература

- Бајић Д, Трбић Г (2011) Примјена ГИС-а и регресионих модела у моделовању промјена температура ваздуха на примјеру Републике Српске. Гласник/Herald 14:91–99. doi.10.7251/HER1014091B
- Bajic D, Trbic G, Matic D, Lastric I, Ivanisevic M (2015) Geographic Information Management System for Review and Reporting of Ecological Risks to the Environment. 3rd International Conference on Sustainable Solid Waste Management, July 02 – 04, 2015, Tinos Island, National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering, Unit of Environmental Science and Technology, Municipality of Tinos, Università degli studi di Verona, Centre for Research and Technology Hellas, Chemical Process and Energy Resources Institute, http://uest.ntua.gr/tinos2015/proceedings/pdfs/bajic_et_al.pdf
- Bajic D, Trbic G (2016) Klimatski atlas Bosne i Hercegovine. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci. Доступно на: http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/, Приступљено: 10. септембар 2018
- Vemić M (1954) O klimi Bosne i Hercegovine. III Kongres geografa Jugoslavije, Geografsko društvo NR BiH, Sarajevo
- Dobesch H, Dumolard P, Dyras I (2007) Spatial Interpolation for Climate Data: The Use of GIS in Climatology and Meteorology. ISTE Ltd., London, pp 302
- Liu J (2009) A GIS-Based Tool for Modelling Large-Scale Crop-Water Relations. Environmental Modelling & Software 24(3):411–422. doi.10.1016/j.envsoft.2008.08.004
- Liu DL, Mo J, Fairweather H, Timbal B (2009) A GIS Tool to Evaluate Climate Change Impact: Functionality and Case Study. In: Anderssen RS, Braddock RD, Newham LTH (eds) 18th World IMACS/MODSIM Congress, July 13–17, 2009, Cairns, Australia, pp 1936–1942. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc.
- Milosavljević R (1973) Klima Bosne i Hercegovine. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo
- Републички хидрометеоролошки завод Републике Српске (1961–2010) Документација и материјали 1961–2010. Републички хидрометеоролошки завод, Бања Лука
- Савезни хидрометеоролошки завод СФРЈ (1963–1988) Метеоролошки годишњак I 1961–1985. Савезни хидрометеоролошки завод, Београд
- Shujun Li, Tarboton DG, McKee M (2008) GIS-Based Temperature Interpolation for Distributed Modeling of Reference Evapotranspiration. Hydrology Days 2003. Доступно на: http://hydrology.usu.edu/arcet/docu/HydrologyDays_Poster_Li.pdf, Приступљено: 7. септембар 2009
- Трбић Г, Дуцић В, Рудан Н (2010) Регионалне промјене количина падавина у Републици Српској. Гласник/Herald 13:66–72. doi.10.7251/HER0913071T

- Трбић Г (2011) Екоклиматска рејонизација Перипанонског обода Републике Српске. Географско друштво Републике Српске, Бања Лука, стр 182
- Трбић Г, Бајић Д (2011) Специфичности промјене климе Републике Српске и могућности адаптације. У: Гњато Р (уредник) Зборник радова „Трећи конгрес српских географа са међународним учешћем“, стр 149–157. Географско друштво Републике Српске, Српско географско друштво, Природно-математички факултет Универзитета у Бањој Луци и Географски факултет Универзитета у Београду
- Трбић Г, Бајић Д, Попов Т, Опрашић С (2013) Проблеми суше у Босни и Херцеговини. Гласник/Herald 17:103–120. doi.org/10.7251/HER1714103T
- Trbic G, Ducic V, Rudan N, Majstorovic Z, Lukovic J (2010) Regional Changes of Precipitation Amount in Bosnia and Herzegovina. Global Changes and Regional Development – 6th International Scientific Conference Dedicated to the International Earth Day, April 16 – 17, 2010, Sofia, „St. Kliment Ohridski“ University of Sofia, Faculty of Geology and Geography, pp 62–64
- Федерални хидрометеоролошки завод ФБиХ (1961–2010) Документација и материјал 1961–2010. Федерални хидрометеоролошки завод, Сарајево

Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina

Davorin Bajić, Goran Trbić, Dragutin Adžić

Summary

The chapter presents the Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina with 180 thematic maps. The digital interactive Climate Atlas was created for the first time for the needs of the Third National Communication of Bosnia and Herzegovina and was published in 2016. The publisher was the Faculty of Natural Sciences and Mathematics of the University of Banja Luka, and the climatological maps are displayed in the form of a WEB interactive climate atlas. The interactive climate atlas can be accessed via the link: http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/. By decision of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics of the University of Banja Luka number: 19/3.1370/16 from May 18, 2016 the Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina by authors Davorin Bajić and Goran Trbić was approved to be published as a scientific publication. In this monograph, the Climate Atlas is published for the first time in a printed edition.

The Climatic Atlas of Bosnia and Herzegovina consists of sets of digital climatological maps related to two climatological parameters, air temperature and precipitation, displayed by month, season, growing season and year. Climate maps were made for three climatological periods, namely: the observed period 1961–1990, and the periods 2001–2030 and 2071–2100, which refer to scenarios A1B and A2. Climate maps for the period 1961–1990 were made based on the interpolation of climate parameters from 45 meteorological stations in Bosnia and Herzegovina.

Keywords: Climate atlas, Bosnia and Herzegovina, air temperatures, precipitation, climate projections

Умјесто закључка

Горан Трбић, Татјана Попов, Драгољуб Мирјанић

Монографија *Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена* књига је едиције *Одрживи развој и управљање природним ресурсима у Републици Српској*, чији је издавач Академија наука и умјетности Републике Српске. У писању појединих поглавља учествовали су бројни универзитетски професори и други научни радници из Републике Српске и региона. Теме за поједина поглавља пажљиво су биране, а намјера је била да се широј читалачкој публици укаже на трендове климатских промјена као и на потребе за ублажавањем емисија гасова са ефектом стаклене баште, коришћење обновљивих извора енергије, те на могућности прилагођавања. У монографији су отворена бројна питања и понуђени одговори на који начин је могуће управљати природним ресурсима у ери изражених климатских промјена и неизвјесне климатске будућности.

Посљедњих деценија климатске промјене на глобалном и регионалном нивоу углавном су негативно утицале на животну средину и друштвену заједницу на просторима свих континената, а самим тим обухватиле су и географско подручје југоисточне Европе. Интензитет климатских екстрема, као и њихове посљедице, постају све израженији. Издвајамо најзначајније: топли и хладни таласи, суше, поплаве изазване екстремним падавинама, шумски пожари, циклони и друго. Ови екстреми изазивају велику рањивост и изложеност природних екосистема и антропогених цјелина (градови, насеља, индустријска постројења и друго). Као посљедица оваквих климатских екстрема, долази до промјена у животној средини, поремећаја у производњи хране и водоснабдијевању, оштећења инфраструктуре и насеља, повећаног морбидитета и морталитета становништва, али и до негативног утицаја по ментално здравље и општу добробит људи. Наведене екстремне појаве као посљедица климатских промјена (топли и хладни таласи, суше и поплаве) веома су карактеристичне за јужну и југоисточну Европу, па самим тим и за територију Републике Српске и Босне и Херцеговине.

На основу истраживања водећих међународних институција, као што су Национална метеоролошка служба Уједињеног Краљевства Велике Британије и Сјеверне Ирске (*Met Office*) и Међувладин панел за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), у посљедњих неколико деценија уочава се интензиван тренд пораста температуре ваздуха, а нарочито је то изражено од почетка осамдесетих година XX вијека. Пораст температуре на сјеверној хемисфери у односу на тридесетогодишњи референтни период

(1961–1990) износи и до 1,5 °C и појављује се у другој декади XXI вијека. Са друге стране, кретање годишње висине падавина на глобалном нивоу у посљедњих нешто више од 100 година показује веће осцилације.

Климатски модели указују да ће се у Европи трендови температуре и падавина у XXI вијеку наставити у истом смјеру као и током друге половине XX вијека. То значи да ће температура и даље највише расти у зимском периоду у сјеверној Европи, а током љетњег периода у јужној Европи. Са друге стране, падавине показују већу регионалну и сезонску варијабилност, с тим да ће у сјеверној Европи расти, а у јужној Европи опадати висина падавина. Такође, на основу досадашњих истраживања пројектује се пораст екстремних догађаја у Европи, нарочито у виду топлих таласа, суша и интензивних падавина. Евидентна је тенденција пораста броја топлих таласа и интензивних падавина током XXI вијека на основу модела који су базирани на репрезентативним путевима концентрације еквивалентног CO₂ (*Representative Concentration Pathway, RCP*).

Исто тако, пројекције EURO-CORDEX иницијативе сугеришу да ће температуре ваздуха широм европског копненог подручја наставити да се бржим темпом од глобалног просјека повећавају током XXI вијека. Предвиђа се да ће се температура ваздуха изнад копненог дијела у различитим европским регионима додатно повећати у интервалу од 1,4 °C до 4,2 °C према сценарију RCP4.5, односно за 2,7 °C до 6,2 °C према сценарију RCP8.5 (до периода 2071–2100. године, у поређењу са периодом 1971–2000. године).

Квалитативни процес урбанизације у просторном, временском и одрживом смислу веома је важан за разумијевање промјенљивих и сложених интеракција између глобалних климатских промјена и раста и развоја урбаних средина. С обзиром на веома интензиван ниво урбанизације на глобалном нивоу, све већи дио свјетске популације (односно више од половине укупног броја становника) биће изложен директним утицајима климатских промјена у урбанизованим срединама. Такође, процес урбанизације модификује физичко-географске карактеристике локалне средине кроз низ измијењених природних појава, које могу резултирати микро или локалним стресовима у животној средини. Истовремено, својства грађевинског материјала објеката утичу на стварање специфичних режима урбане микроклиме. То укључује и појаву урбаних острва топлоте или појаве микро или локалних плављења (након интензивних падавина), које климатске промјене могу погоршати. Због тога, кључно је разумјети непосредну међусобну интеракцију процеса урбанизације, тренутних локалних промјена у животној средини и убрзавања климатских промјена. Урбанизација (од микро до мезо нивоа) може интензивирати и проширити утицај урбаног острва топлоте, мијењајући микроклиматске

процесе, као што је смјер и јачина вјетра са копна и мора, затим утицај катабатских вјетрова и слично.

Феномен урбаних острва топлоте јавља се у бројним градовима свијета и настаје као посљедица људских измјена површинских и атмосферских особина и процеса које подразумијева урбани развој. Наведени феномен добио је назив „острво“ јер су изотермне вриједности изнад града веће од изотермних вриједности хладније околине, која представља „море“ хладнијег ваздуха. Усљед тога, острво топлоте је дефинисано на основу разлика у температури ваздуха између градске и природне или сеоске средине. Вишак топлоте у градовима може да има позитивне или негативне утицаје у зависности од макроклиматских карактеристика региона у коме се град налази. У градовима који се налазе у хладнијим климатима, или током хладнијих годишњих доба, острва топлоте могу имати позитивне утицаје као што су: јефтиније гријање станова и кућа, побољшан спољашњи термални комфор, рјеђа појава поледице на путу или магле, бољи услови за развој биљака и животиња итд. Међутим, острва топлоте у градовима који се налазе у топлијим климатима или током топлијих сезона (љетни период) могу имати негативне утицаје као што су: повећан дискомфор и топлотни стрес становништва у спољној средини, повећана стопа морталитета становништва, већа потрошња енергије за хлађење станова и кућа, већа потрошња воде и слично. Урбана острва топлоте могу да утичу и на вјеродостојност климатских истраживања и коришћених података. Уколико се за анализу историјских промјена температуре ваздуха користе подаци са станица које су некада биле изван града, а сада се налазе унутар града (као посљедица урбанизације), забиљежене вриједности могу бити измијењене под утицајем урбанизације. Осим тога, уколико се у анализи узима већи број градских станица него што је потребно у односу на укупну градску површину на свијету, такође се може доћи до упитних закључака.

Веза између интензитета урбанизације и процеса климатских промјена има важне импликације на еколошку одрживост. Климатске промјене могу да убрзају еколошке стресове у урбанизованим срединама, као и да интензивирају већ постојеће урбане еколошке, економске и политичке стресове. Током урбанизације долази до модификације површине земљишта, односно генерално смањује се еколошки нетакнуто земљиште и фрагментише се преостало земљиште, што смањује капацитете за станишта различитих животињских врста, а повећава се вјероватноћа даље еколошке деградације. Са друге стране, процесом адаптације урбаних средина омогућава се постепена трансформација која пружа отпорност на климатске промјене и интензивира одрживи развој. Овакав процес може се реализовати кроз ефикасно административно управљање, затим усклађивањем политика и подстицаја, ојачаним капацитетима за прилагођавање локалне управе и

заједнице, синергијама са приватним сектором и одговарајућим финансирањем и институционалним развојем. Слични проблеми, када се говори о интеракцији урбанизације и климатских промјена, као и капацитета локалних заједница да реализују адаптивне процесе, јављају се и за најзначајније градове у државама Западног Балкана. На овим просторима након почетка процеса демократизације и развоја (у посљедњих тридесетак година) започео је процес интензивне урбанизације и ширења највећих градова и њихова трансформација из некадашњег социјалистичког уређења у савремени урбанистички оквир. Усљед тих интензивних процеса, минимална пажња је посвећена очувању или унапређењу урбане животне средине или одрживом развоју. Самим тим, као посљедица, све чешће и интензивније појављују се термални ризици, који су пријетња становништву и инфраструктури.

Да би се мјере адаптације, односно прилагођавања могле примијенити што ефикасније у будућности, неопходна су интензивна и константна истраживања климатских и других карактеристика урбаних средина на подручју Западног Балкана.

Соларна енергетика је савремена област енергетике у којој се енергија Сунчевог зрачења помоћу одређених уређаја претвара у топлотну и електричну енергију. За претварање Сунчевог зрачења у топлотну енергију користе се топлотни колектори без концентратора или са концентраторима Сунчевог зрачења. За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (до 100 °C) користе се равни колектори са водом и ваздухом, док се за средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења (100–400 °C) користе колектори са концентраторима Сунчевог зрачења. За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (400–4.000 °C) користе се хелиостати и параболични концентратори Сунчевог зрачења.

Приликом претварања Сунчевог зрачења у електричну енергију користе се фотонапонски системи, који се састоје од соларних ћелија, акумулатора, претварача једносмјерног у наизмјенични напон итд. Данас се у свијету соларне ћелије углавном праве од монокристалног и поликристалног силицијума и нешто мање од аморфног силицијума, CdTe, GaAs и других материјала. Сваким даном се у свијету фотонапонски системи све више користе за добијање електричне енергије у приватним домаћинствима и соларним електранама. За истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори. За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се стамбени и други објекти који су изграђени у складу са принципима соларне архитектуре.

У нискотемпературној конверзији Сунчевог зрачења за израду равних колектора са водом и ваздухом користе се алуминијум, бакар, стакло, гума,

полиуретан итд. и технологије које не загађују животну средину. У току експлоатације равни колектори са водом и ваздухом не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене. У средњетемпературној конверзији Сунчевог зрачења користи се Винстонов параболични колектор, цилиндрично-параболични колектор, цијевно-вакуумски колектор, спирално-фокусирајући колектор, трапезоидно-фокусирајући колектор и соларне пећнице, за чију израду се користе гвожђе, алуминијум, стакло итд. Наведени колектори Сунчевог зрачења у току експлоатације не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене. За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се сферни и параболични концентратори Сунчевог зрачења, хелиостати, соларне пећи и соларне термоелектране. Концентратори за високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења израђују се од материјала који не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене. Послије употребе од 20 до 30 година системи за фото-термалну конверзију Сунчевог зрачења рециклирају се технологијама које немају негативан утицај на животну средину и климатске промјене.

Један од највећих српских научника Милутин Миланковић тачно је израчунао интензитет осунчавања и унаприједио математичку теорију описујући климатске зоне. Он је извршио прорачун осунчавања за поједине упореднике идући од полутара до Земљиних обртних полова. Милутин Миланковић је настојао да изгради интегралну математичку теорију која ће повезати топлотне услове на планетама и њиховим кретањем око Сунца. Дакле, Миланковић је инсистирао на вјековним промјенама које су у небеској механици познате као секуларне промјене елемената планетских путања. Сматрао је да се све промјене могу обухватити математичким обрасцима и успјешно пратити у прошлост и будућност. Да би нашао везу између осунчавања Земље и температура на њој, Миланковић се ослања на физичке законе по којима Сунчеви зраци допиру до Земље. Таква теорија важила би за све планете Сунчевог система. Миланковић је наставио испитивати климу далеке прошлости, када су елементи Земљине путање били другачији од данашњих, и тиме је ријешио проблем ледених доба.

Идеја о утицају астрономских фактора на климатске промјене била је прави пут којим је кренуо Миланковић. Климатске промјене у прошлости и ледена доба постали су важно научно питање које је занимало бројне научнике. Миланковићев *Канон осунчавања Земље* и његова примјена на проблем ледених доба једно је од најзначајнијих научних дјела свјетске науке. Дјело је у издању Српске краљевске академије објављено на њемачком језику на 626 страница. Миланковић је знатно допринио разумијевању дугорочних климатских варијација калоријске инсолације коришћењем астрономских параметара за реконструкцију климе у прошлости. Тиме је дао врхунски

допринос палеоклиматологији у разумијевању дугорочних климатских варијација у посљедњих милион година.

Климатски услови попут температуре, падавина, влажности, инсолације и вјетра имају кључну улогу у одвијању физиолошких процеса биљака (фотосинтезе, дисања, раста, развоја итд.) и фенофаза у животном циклусу биљака, те у одређивању граница распрострањења биљних врста и њихових заједница. Брзе антропогене климатске промјене утичу на биљни свијет и екосистеме у цјелини кроз промјене средњих климатских услова и промјене варијабилности климатских екстрема.

Савремене антропогене климатске промјене постају доминантна пријетња за биљни свијет и екосистеме током посљедњих неколико деценија, утичући на биодиверзитет Земље промјеном распрострањења врста, промјеном њихове бројности, премјештањем биљних заједница и измјеном њиховог састава, реструктурирањем прехранбених мрежа и трансформацијом појединих функција екосистема. Климатске промјене утичу на врсте на различитим скалама од гена и индивидуа до популација, док на нивоу станишта и екосистема доводе до промјена интеракција међу врстама (компетиције, предаторства, паразитизма, опрашивања или преношења болести), састава заједница, функција екосистема и структуре екосистема.

Многе копнене и водене биљне врсте већ су реаговале на климатске промјене помјерањем области распрострањења по надморској висини (или по дубини у океану) и нарочито по географској ширини, пратећи помјерање изотерми усљед глобалног загријавања климатског система. Све раније одвијање фенофаза у прољеће, кашњење у јесенским, те посљедично продужено трајање вегетационог периода представљају важне фенолошке реакције биљака на глобално загријавање. Баријере које онемогућавају распрострањење врста у нове области са повољнијим климатским условима, разлике у способности врста да прате одговарајуће климатске услове и подносе екстремне климатске догађаје (суше, поплаве, топлотне таласе, мегапожаре и циклоне) и привремена заостајања у реакцији врста на промијењене климатске услове доводе до промјена у композицији заједница, знатно смањујући таксономску, функционалну и филогенетску разноликост и реорганизујући локалне заједнице, што потенцијално у будућности може довести до стварања „нове“ заједнице. Синергија брзих промјена климатских услова и других неклиматских притисака и утицаја у екосистему (нарочито фрагментације и уништавања станишта) може довести до поремећаја (несинхроности) интеракција међу врстама у заједници на истом или сусједним трофичким нивоима унутар екосистема и до стварања новог састава врста, јер врсте, у складу са својим еколошким потребама и физиолошким могућностима,

различито реагују на наведене спољашње притиске и промјене у животној средини. Иако је тек неколико савремених изумирања врста формално и јасно приписано савременим климатским промјенама, фосилни записи говоре да брзе климатске промјене могу бити кључни покретач масовног изумирања, због чега расте забринутост због адаптивног потенцијала врста на текуће и будуће промјене климе.

Климатске промјене такође могу проузроковати нагле и неповратне (или тешко реверзибилне) промјене екосистема уколико дјеловање пређе преко критичних прагова: на примјер, смањење ледничког покривача и ледника доводи до смањења ријечних протицаја током сезоне љето са нелинеарним утицајима на биодиверзитет; загријавање и закисељавање океана доводи до деградације екосистема тропских коралних гребена и негативно утиче на друге морске организме; синергијске интеракције између крчења шума и суша подстичу пожаре, што доводи до замјене шума вегетацијом типа саване или секундарним шумама заштићеним од пожара итд.

У окружењу које се мијења и у простору и у времену, биљне врсте могу преживјети климатске промјене и избјећи изумирање промјеном географског распрострањења тако да прате у простору те исте повољне климатске услове, прилагођавањем новонасталим климатским условима у простору тренутног распрострањења или комбинацијом ових стратегија.

Утицај климатских промјена на примарну пољопривредну производњу, понајвише биљну производњу, проучава се већ неколико деценија широм свијета, било да се користе подаци измјерених климатских параметара или подаци регионалних климатских модела. Све анализе упућују на то да ће се климатске промјене манифестовати преко повишених температура ваздуха и нарушеног режима и суме падавина. Посљедице наведених поремећаја манифестоваће се учесталим појавама суша, поплава, олуја, пожара итд, што ће се негативно одразити на плодност земљишта и плодношење. Извјештај Европске комисије наводи седам главних пријетњи које узрокују деградацију земљишта у Европи: ерозија земљишта, пад садржаја органског угљеника, збијање, нарушавање биодиверзитета земљишта, заслањивање, загађење и стварање плужног ђона. Ова становишта потврђују истраживачи из других дијелова свијета.

У сваком климатском подручју степен утицаја и манифестације су другачији. Тако, на примјер, у аридним, семиаридним и сувим субхумидним условима угроженост земљишта се јавља усљед синергијског утицаја суше, смањене покривености биљним покривачем и екстремним падавинама, које стварају ризик од ерозије земљишта, затим повећане салинизације, смањења органске материје и нарушавања физичких особина земљишта. У семихумидним и

хумидним условима, јавља се проблем ерозије усљед великих количина падавина, превлажености, збијања земљишта, губитка органске материје усљед повећаног разлагања изазваног повећаном биљном продуктивношћу и присуства довољно количина воде, самим тим и нарушавања плодности земљишта.

Због својих географских, топографских и климатских карактеристика, земљишта Републике Српске изложена су бројним ризицима. У сјеверном дијелу Републике Српске, у условима умјереноконтиненталних климатских услова, земљишта су изложена превлаживању усљед високих водостаја ријека и сливања вода са виших терена, као и вишкова воде усљед обилних падавина, затим све чешће појаве екстремних суша, што доводи до збијања земљишта и губитка органске материје. Кроз историју, климатски и земљишни услови утицали су на примарну пољопривредну производњу, у којој је доминирало сточарство и узгој ратарских култура (пшенице, кукуруза, крмног биља попут дјетелине и луцерке, затим кромпира), а у мањој мјери повртарство, воћарство и виноградарство. Изградњом насипа за регулисање ријечних токова и система за одводњавање, које је започето још у XIX вијеку, а интензивније послје Другог свјетског рата, обезбијеђен је повољнији водно-ваздушни режим земљишта, а самим тим и бољи услови за развој пољопривредне производње.

Наводњавање у климатским условима какви владају на подручју Републике Српске и какви се предвиђају у скорој и даљој будућности (до краја XXI вијека) и даље ће представљати опциону мјеру, јер се биљна производња може и моћи ће се релативно успјешно одвијати на средње дубоким и дубоким земљиштима у условима природне снабдјевености водом, посебно када се говори о најважнијим ратарским културама, попут кукуруза, пшенице, јечма, луцерке и других травнатих врста које имају дубок и разгранат коријенов систем, као и воћних засада, попут шљиве, вишње, ораха. Повртарски топлољубиви усјеви (парадајз, краставац, паприка, купусњаче) и савремени воћњаци захтијеваће наводњавање.

Развој наводњавања ће бити нови потенцијални ризик уколико се не буду примјењивале адекватне агротехничке мјере (контрола квалитета и количине воде и унос органске материје), у циљу постизања добре структурности земљишта, конзервације влаге и повољног топлотног режима. Наводњавањем се из земљишта много интензивније врши минерализација органске материје, па је оно подложно осиромашењу и претварању у пустиње. Да би се то спријечило, неопходно је заоравати жетвене остатке, или гајити специјалне, бујне усјеви (попут слачице) који се заоравају или обезбиједити унос стајњака. Оптималну количина стајњака по хектару обезбјеђују 2 грла крупне стоке (говече, коњ). Европски просјек је једно грло, док је у Републици Српској свега

0,7 условних грла по хектару. Дакле, да би се земљишта очувала и смањило ризик од дезертификације, паралелно са наводњавањем потребно је одржати или побољшати ниво сточарства, посебно у близини заливних поља. Нажалост, посљедње деценије примјећује се мали, али из године у годину стални пад сточарске производње, што значи и унос мање органске материје у земљиште.

Многобројни аутори истичу значај стратешких и планских докумената у процесу одговора и адаптације на климатске промјене. Због вишеструких посљедица климатских промјена, све је присутнија и потреба за адекватним моделима и приступима за развој стратегија адаптација. Просторно планирање представља прилику за повећање отпорности на климатске промјене у осјетљивим подручјима путем интеграције планирања и прилагођавања клими, при чему ће такве активности утицати на побољшање благостања људи. Како се наводи, посљедице климатских промјена не могу се предвиђати са потпуном извјесношћу, али се већ зна довољно да се могу разматрати ризици у домену повећања температуре ваздуха, доступности пијаће воде, смањења биодиверзитета, квалитета хране, односно укупних услова живљења и утицаја на људско здравље. Нека од бројних истраживања указују на висок ниво рањивости и ризика природних ресурса, на првом мјесту пољопривреде и шумских ресурса на промјене климе у будућности, што може битно утицати на квалитет и здравље становништва, те се као неопходне мјере намећу мјере адаптације кроз планску и законодавну регулативу.

Савремене климатске промјене и екстремне временске појаве изражене су и у Црној Гори. Током претходних двадесет година регистровани су рекорди температуре, падавина и вјетра на простору Црне Горе. Промјене количине облачности у Црној Гори доводе се у везу са варијацијама атмосферских и океанских телеконекција. Климатске пројекције за југ (Подгорица) и сјевер (Колашин) Црне Горе указују да до краја XXI вијека треба рачунати на даљи тренд пораста температуре и чешће временске екстреме. Пројекције сума падавина за Црну Гору се разликују, али не указују на значајне промјене. Резултати истраживања потврђују тезу да је моделовање падавина далеко сложеније у односу на температуру и да треба очекивати знатне регионалне разлике. У сваком случају, IPCC истиче да се регија Медитерана, укључујући подручје југоисточне Европе и Блиског истока, сматра потенцијалним жариштем климатских промјена. То се потврђује чињеницом да је регија Медитерана од средине XX вијека једна од најрањивијих у свијету на климатске промјене, односно да је већ постала знатно топлија, ариднија и са чешћим екстремним временским појавама (високе температуре, суше, јаке краткотрајне кише, поплаве итд.) у односу на просјечно глобално стање. Висока осјетљивост Медитерана на климатске промјене, али и уочена просторна и временска варијабилност атмосферских и хидролошких услова на том простору,

највјероватније је у вези са његовим положајем (површ барометарског дисконтинуитета) и топографијом обода његовог басена. Из тог разлога, од значаја је истраживање мањих просторних цјелина – подрегија и појединих локација Медитерана.

Топлотни таласи су једна од највећих пријетњи људском здрављу у вези са климом, али често не изазивају исту пажњу као друге видљивије катастрофе као што су олујне непогоде или поплаве. Топлотни таласи, као опасност, често имају негативан ефекат, изазивајући топлотни стрес у људском тијелу. Већина студија о процјени топлотних таласа темељи се првенствено на једном метеоролошком параметру, најчешће максималној температури ваздуха, међутим, на људски организам који борави у природном окружењу не утиче само температура ваздуха већ цијели комплекс датог окружења, а то подразумијева утицај више метеоролошких параметара заједно. Јаснију интерпретацију о утицају климатских екстрема на човјека дају хумана биометеоролошка и биоклиматска истраживања, јер поред температуре ваздуха узимају у обзир и друге метеоролошке параметре као што су релативна влажност ваздуха, брзина вјетра и зрачење. Од свих наведених параметара, дуготаласно и краткоталасно зрачење, сажето као средња температура зрачења (*Mean Radiant Temperature*, MRT), има највећи утицај на субјективни топлотни осјећај, а често се не узима у обзир у истраживањима. На субјективну перцепцију времена, нарочито у урбаним срединама, утичу и карактеристике изграђеног окружења као што су отворено небо, хладовина, саобраћај, зелене површине и друго. Поред наведених метеоролошких параметара важну улогу имају и физиолошки параметар метаболичке стопе и изолација од одјеће. Међусобна интеракција компоненти времена у атмосфери које се динамички мијењају и физиолошки процеси у човјеку суштински су важни за однос човјека и околине. Будући да се већина људских активности одвија напољу и да је људско тијело у сталној интеракцији са спољашњом околином, његове физичке (тјелесне) активности, рекреација и неке врсте одмора налазе се под физиолошким околностима размјене топлоте са околином.

Температура ваздуха, температура зрачења, влажност ваздуха и кретање ваздуха четири су основне промјенљиве у непосредном окружењу човјека које утичу на одговор тијела на спољашње окружење у којем се налази. У комбинацији са метаболичком енергијом генерисаном физичком активношћу и одјећом коју носи особа, оне чине шест основних параметара који дефинишу човјеков топлотни баланс са околином. На темељу Фангерове фундаменталне поставке једначине размјене топлоте са околином, у посљедњих двадесетак година појавило се неколико биоклиматских модела који дефинишу термофизиолошке биоклиматске индексе или сложене биоклиматске

индексе помоћу којих се одређује термички комфор. Неки од тих индекса су између осталог: физиолошка еквивалентна температура (PET), која се често примјењује посљедњих двадесетак година, затим физиолошко оптерећење (PhS) и физиолошка субјективна температура (PST) из Менекс модела, универзални термални климатски индекс (UTCI) и други. Један од најчешће коришћених биоклиматских топлотних индекса у посљедњих десет година јесте UTCI индекс, који има широку просторну примјену у различитим географским регијама, различитим климатским зонама и у различитим урбаним подручјима, па и у Републици Српској и региону Западног Балкана.

Због напредујућег глобалног загријавања оправдано је анализирати биоклиматске услове и спољашњи термички комфор за референтне тридесетогодишње периоде у урбаним срединама за које се претпоставља да су веома рањиве на пораст глобалне температуре.

Основна предност обновљиве енергије у односу на остале видове енергије јесте њихова нешкодљивост према природи и човјеку, односно заштита животне средине приликом њихове експлоатације. Како климатске промјене пријете да угрозе планету, примјена обновљивих извора енергије у односу на све комерцијалне изворе енергије је најприхватљивија. Као водећи извори обновљиве енергије на основу степена искоришћености у свијету издвајају се: енергија биомасе, соларна енергија, енергија вјетра, хидропотенцијал и геотермална енергија. У групу мање искоришћених обновљивих извора енергије спадају: енергија плиме и осеке, енергија морских таласа и струја, као и енергија биогаса.

Могућности коришћења геотермалних ресурса у новије вријеме придаје се све већи значај (посебно у смислу могућности производње електричне и топлотне енергије). У свијету је примјетно знатно увећање капацитета за производњу електричне енергије из геотермалних извора, посебно од седамдесетих година прошлог вијека до данас. Оно што овај извор енергије чини посебним јесте чињеница да геотермална енергија представља обновљив извор енергије, по чему се и разликује од најчешће коришћених фосилних горива (угаљ, нафта, гас, битуминозне стијене) и нуклеарних сировина (уранијум, торијум), чије су резерве ограничене и необновљиве. Посебно се наглашава еколошка и економска оправданост улагања и коришћења геотермалне енергије, што значи да коришћење није временски ограничено, а има повољан утицај на човјекову – животну средину, што најбоље доказују данашњи трендови повећања учешћа обновљивих и еколошки чистих извора енергије у укупној енергетској производњи.

Резултати досадашњих, прије свих геолошких истраживања, указују на знатно присуство лежишта геотермалне енергије на територији Републике Српске,

нарочито у њеном сјеверном дијелу. Подаци о геотермалним параметрима, односно индикације геотермалне потенцијалности дијелова територије Републике Српске добијени су након бројних геолошких, геофизичких, нафтногеолошких, хидрогеолошких и других истраживања, понекад сасвим споредно. И поред значајне констатоване геотермалне потенцијалности, коришћење потенцијала се до данас своди углавном на балнеолошко-туристичке сврхе. Стога је битно указати на велику апликативност овог вида енергије, која се може користити комплексно и каскадно у различите сврхе. Најраширенија примјена геотермалне енергије, тренутно код нас и у региону, јесте у сврху загријавања, тј. топлификације простора, балнеолошке сврхе, сврхе узгајања агрокултура и аквакултура, у индустријске сврхе као и у сврхе развоја бањског и рекреативног туризма.

Екстремне појаве изазване климатским промјенама не утичу искључиво на доступност воде и њен квантитет, већ у знатној мјери доводе и до погоршања квалитета воде. У сушном периоду смањује се количина воде, услед чега се повећава концентрација суспендованих и свих других материја присутних у води, што има за посљедицу знатно нарушавање њеног квалитета. У случају интензивних падавина, а нарочито кад дође до плављења околних површина, без обзира на то што је присутна већа количина воде него што је уобичајено па је и разблажење веће, спирањем околног земљишта у површинске воде уноси се велика количина честица. Поред тога што се повећава концентрација суспендованих материја, на овај начин у воде доспијевају и загађујуће материје различитог поријекла, ђубрива, пестициди, излива се канализациони садржај итд, што такође доводи до детериорације како површинских, тако и подземних вода. Притом треба напоменути да у постојећим климатским моделима унос загађења у водене системе, инфилтрацијом у аквифере или емисијом у водене токове, није поуздано симулиран, а знатно утиче на квалитет како површинских, тако и подземних вода.

Пораст температуре ваздуха доводи до загријавања воде, што има за посљедицу интензивнији развој алги и цијанобактерија. Долази до промјена у фенологији и помјерању слатководних врста према сјеверу. Повишена температура воде утиче и на промјену времена прољећног цвјетања алги и цијанобактерија, што даље утиче не само на рибљи фонд већ и на погоршање квалитета воде у цјелини. Дакле, климатске промјене, поред тога што могу довести до погоршања квалитета и смањења квантитета воде, посредно утичу и на биоценозе које насељавају водене екосистеме.

Симулациони модели нарочито издвајају два проблема који у свијету све више долазе до изражаја, а то су суша и недостатак воде. Обје појаве знатно утичу не само на квалитет воде већ и на стабилност како водених, тако и

копнених екосистема који у потпуности зависе од доступне воде. Поред утицаја на екосистеме, суша и недостатак воде имају и низ негативних економских посљедица, при чему су највише угрожени пољопривреда, снабдијевање становништва водом за пиће и сектор енергетике. Усљед климатских промјена рашће и потреба за водом. У неким областима, нарочито оним са високим демографским растом, потребна количина воде за наводњавање ће се знатно повећати, при чему се њена доступност може осјетно смањити. Климатске промјене условљавају да су потребе за водом високо зависне од прилагођавања у новим условима, а повећање конфликта између корисника воде (домаћинства, пољопривреда и индустрија) с временом ће бити све израженије.

У поређењу са европским земљама и шире, Република Српска располаже знатним водним ресурсима. У хидрографском смислу, површинске воде Републике Српске припадају сливовима Црног мора и Јадранског мора. Базни реципијент ријека које припадају црноморском сливу је ријека Сава, док су главни реципијенти јадранског слива ријеке Требишњица и Неретва. Иако је Република Српска релативно богата водним ресурсима, постојање неравномјерне просторне и временске расподјеле вода усљед неравномјерне дистрибуције падавина знатно утиче на њену расположивост. Просјечне годишње падавине у сјеверним дијеловима Републике Српске релативно су ниске и износе 750–850 мм годишње, при чему се највећа количина падавина јавља у прољетним мјесецима. Плувиометријски режим у Републици Српској доста је измијењен, што има за посљедицу да у току исте године долази и до појаве поплава и до суше. Период након 2000. године карактеришу смјене веома или екстремно сувих година и година у којима су забиљежене екстремне поплаве.

Промјене климе, које укључују повећање температуре и атмосферског CO₂ и учесталост и интензитет екстремних временских флукуација, као што су суша и поплаве, утичу како на појаву и ширење разних врста штетних организама, тако и на отпорност биљака домаћина према њима. Промјене у овим климатским варијаблама могу преобликовати отпорност домаћина, као и интеракције биљака домаћин – штетни организам, те на тај начин битно утицати како на просторни и временски развој епидемија болести, тако и на појаву пренамножења и ширења штеточина. Због тога је разумијевање ефеката климатских промјена на динамику појаве штетних организама кључно за усвајање одговарајућих мјера за њихово сузбијање, укључујући и програм оплемењивања биљака према овим организмима.

Из свих ових разлога, изузетно је важна анализа фактора који ће указати да ли ће у будућности штетни организми имати већи или мањи негативан утицај на развој пољопривреде и шумарства, биодиверзитет гајених и аутохтоних

биљних врста, као и заштиту животне средине на локалном, регионалном и међународном нивоу. Већ данас је евидентно да су глобалне климатске промјене постале значајан фактор који има утицаја на саме штетне организме, њихову интеракцију, реакцију биљке домаћина и интеракцију штетни организам – биљка домаћин. Резултати ових анализа ће указати, не само на поједине ризике настале усљед климатских промјена, већ ће истовремено бити основа за побољшање постојећих или изналажење нових технолошких, оплемењивачких и других мјера за сузбијање штетних организама да би се обезбиједила одржива пољопривреда и довољно хране за стално нарастајућу популацију људи у свијету.

Климатске промјене повећавају ризик да штеточине и патогени пронађу повољније климатске услове за даља ширења у нова подручја. Такође, узгој нових биљних врста или нових сорти и хибрида у оквиру већ постојећих врста у условима климатских промјена може додатно олакшати интродукцију, дистрибуцију и утицај штетних организама у таквим областима, посебно имајући у виду непостојање механизма отпорности, који настају усљед коеволуције или коегзистенције домаћина и штетног организма током времена. Промјене у популацијама штетних инсеката и патогена присутних у Србији праћене су интензивнијом интродукцијом кукуруза, промјенама климе, посебно у погледу распореда падавина у току вегетације кукуруза, начина гајења и асортимента хибрида у корист отпорнијих према појединим патогенима и штетним инсектима. Све ове промјене имале су знатног утицаја на варирање приноса зрна и биомасе кукуруза у другој половини XX вијека. Осим тога, процјена је да половина свих новонасталих интродукција штетних организама у нова подручја настаје усљед њиховог преноса глобалним транспортом и трговином, чији се обим утростручио током посљедње деценије, док су временске прилике други најважнији фактор за њихово настајање. Стога, већа пажња посвећена анализама ризика од проузроковача биљних болести и штеточина у условима климатских промјена може помоћи у заштити здравља биљака, биодиверзитета и безбједности хране.

Најефикаснији начин да се спријечи и ограничи међународно ширење болести и штеточина биљака кроз трговину и кретање путника јесте регулисање њиховог кретања фитосанитарним мјерама и обезбјеђење примјене добре пољопривредне праксе како би се појава штетних организама свела на што нижи ниво.

Дендроклиматологија, која је настала из дендрохронологије, постала је данас важан инструмент за анализу вишегодишњих климатских колебања и промјена. Територија Републике Српске је у знатном проценту покривена шумама (са присуством стабала велике старости), па на њеном подручју

постоји низ предности, али и одређена ограничења, за дендроклиматолошка истраживања.

Прва дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске вршили су шумарски стручњаци и она су се углавном заснивала на анализи еколошког утицаја средине на дебљински прираст стабала. Ова истраживања су показала да годишње суме падавина утичу на дебљински прираст стабала алепског бора (*Pinus halepensis* Mill.) и црног бора (*Pinus nigra* Arnold) на подручју Требиња. У истраживањима која су услједила, више пажње је посвећено динамици раста и природној регенерацији (црни бор и муника), без успостављања дугих хронологија. Заједничким истраживањима стручњака са Шумарског и Природно-математичког факултета из Бање Луке на простору планине Козаре, добијена је хронологија дуга 88 година и идентификовано је пет позитивних и девет негативних година. Корелациона анализа показала је да падавине имају статистички значајан утицај на радијални прираст стабала, посебно за период април–мај. Такође је утврђена и статистички значајна повезаност радијалног прираста и индекса аридности. Истраживањима спроведеним на стаблима мунике са планине Орјен, добијена је хронологија дуга 487 година, а за реконструкцију су коришћени стабилни изотопи. Најбоља корелација је добијена са количином падавина за период јун–август. Резултати ове студије показују да реконструкција на основу стабилних изотопа прецизније прати варијабилност климе од стандардног приступа анализи ширине година.

Климатске промјене постају све већа пријетња и један од највећих изазова по здравље са којим се човјечанство суочава. Већ је уочен веома неповољан утицај на најважније здравствене факторе: храну, ваздух и воду. Дуготрајни топлотни таласи са високим температурама ваздуха, затим олује, поплаве и суше узрок су смрти десетине хиљада људи сваке године, док је милионима људи широм свијета угрожена егзистенција због климатских промјена. Климатске промјене утичу на људске животе и здравље на различите начине. Оне угрожавају основне састојке доброг здравља – чист ваздух, безбједну воду за пиће, снабдијевање храном и сигурно склониште – и имају потенцијал да наруше вишедеценијски напредак у глобалном здрављу. Осим тога, климатске промјене већ штете здрављу кроз загађење ваздуха, болести, екстремне временске прилике, присилно расељавање, несигурност хране и притиске на ментално здравље.

Екстремне врућине, поплаве, суше, шумски пожари и урагани током 2021. и 2022. године оборили су многе рекорде. Посљедице по здравље су реалне, све више изражене и често разорне. Климатске промјене утичу на здравље у свим земљама, али најтеже погађају људе у земљама са ниским и средњим приходима.

Многе важне болести врло су осјетљиве на промјене температуре ваздуха и падавина. То укључује честе болести које се преносе инсектима, као што су маларија и тропска грозница. Климатске промјене већ придоносе глобалном појављивању болести, а очекује се да ће се тај утицај повећавати у будућности. Утицај климе на људско здравље неће се једнако манифестовати у цијелом свијету. Земље у развоју су једне од најрањивијих. Усклађене мјере за јачање кључних фактора здравственог система и промоција здравих начина развоја могу ојачати јавно здравље и смањити подложност климатским промјенама у будућности.

Главни узроци озбиљног нарушавања здравља људи у Републици Српској и Босни и Херцеговини које проузрокују екстремне промјене климе јесу топлотни удари. Статистички значајан тренд повећања температуре ваздуха на простору Републике Српске и Босне и Херцеговине већ је детерминисан у неколико научних радова. Топлотни таласи утичу и на повећање смртности, док ће погоршање климатских услова довести до учесталијих промјена и погоршања здравствене ситуације код најтежих болесника. Ријеч је о обољењима са кардиоваскуларним и неуролошким ризицима, алергијским реакцијама и другим акутним реакцијама на високе дневне температуре ваздуха, а могу се јавити и други здравствени проблеми као што су болести изазване бактеријама у храни и води, болести које преносе комарци и птице и друго.

У непосредној будућности неопходно је функционално прилагођавање јавног здравља у Републици Српској и Босни и Херцеговини на климатске промјене. Оно подразумијева унапређење превенције, те ефикасности здравственог система и одговор на све брже и екстремније климатске догађаје. Приоритетне интервенције укључују боље управљање еколошким детерминантима здравља (као што су водоснабдијевање и санитарна заштита), праћењем постојећих и нових заразних болести, те повећање отпорности здравствених система на екстремне временске и климатске догађаје. Такође, смањење сиромаштва и друштвено-економски развој неопходан је предуслов за успјешну адаптацију.

У Републици Српској и Босни и Херцеговини у другој половини XX и на почетку XXI вијека присутни су позитивни трендови средњих, максималних и минималних годишњих и сезонских температура ваздуха (најизраженији у сезони љето, а најслабији у сезони), као и сезонски и регионално веома промјенљиви трендови падавина различитог знака. Слични обрасци промјена присутни су и у другим дијеловима региона Западног Балкана.

Пројекције климатских промјена показују да ће се до краја XXI вијека промјене климатских услова интензивирати. Према резултатима за климатски сценарио RCP8.5, на територији Републике Српске и Босне и

Херцеговине очекиване промјене за период 2016–2035. крећу се у интервалу од 0,5 °C до 1,5 °C. Најмања промјена се може очекивати за сезону зима, док су промјене за остале сезоне и за годишње средње вриједности приближно сличне. За други анализирани период (средина вијека, 2036–2065), промјене се крећу у интервалу од 1,5 °C до 3 °C. За посљедњи период (2081–2100), очекивани пораст температуре је у интервалу од 2,5 °C до 5 °C, за све сезоне, међу којима се посебно истиче пораст температуре за сезону љето, када је он у већем дијелу земље већи од 5 °C. Осим тога, запажа се да су промјене температуре веће у планинским областима, што је јасно уочљиво у случају промјена за посљедњи анализирани период, 2081–2100. године. Сезона коју карактерише најмање одступање је прољеће. Према резултатима за климатски сценарио RCP8.5, очекује се дефицит падавина и до -10% у појединим дијеловима земље. Сезона са највећим губитком падавина биће љето, у којем је током посљедњег периода (2081–2100) могуће смањење падавина и до 40% на југу земље. Овај дефицит љетних падавина очигледно је и главни допринос негативној промјени укупних падавина на годишњем нивоу. Занимљиво је да се у сезони зима очекује позитивна промјена падавина на највећем дијелу територије Републике Српске и Босне и Херцеговине, као и да је она најизраженија за посљедњи анализирани период и сценарио RCP8.5. За преостале двије сезоне, прољеће и јесен, промјена падавина је промјенљива и најчешће је у распону од -10% до +10%, у зависности од сезоне и дијела територије. За сезону прољеће уочљива је карактеристика да јужни дијелови територије углавном имају негативне промјене, док сјеверни имају позитивне, што указује да ће јужни дијелови имати већу вјероватноћу да током ове сезоне имају дефицит падавина. Сличне пројекције климатских промјена до краја 21. вијека дате су и у Климатском атласу Босне и Херцеговине за периоде 2001–2030. и 2071–2100. године према сценаријима А1В и А2.

Овакви климатски трендови и промјене указују на озбиљан проблем чешће и интензивније појаве суше и дефицита воде, те на потребу за бољим интегрисањем климатских промјена у планске и стратешке документе. Свакако, неопходна су и будућа истраживања, у која је потребно укључити и пројекције климатских индекса, а нарочито температурних екстрема и интензивних падавина које могу условити појаву флувијалних и бујичних поплава.

С обзиром на присутне трендове и на пројекције промјена до краја XXI вијека неопходна су континуирана истраживања утицаја измијењених климатских услова на природне ресурсе Републике Српске, како би се обезбиједила њихова адекватна заштита и одржива експлоатација.

Монографија

УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА У ЕРИ КЛИМАТСКИХ ПРОМЈЕНА

Издавач

Академија наука и умјетности Републике Српске
78000 Бања Лука, Ул. Бана Лазаревића 1

За издавача

Академик Рајко Кузмановић

Лектор

Драгомир Козомара

Дизајн корица

Академик Миливоје Унковић
Академик Ново Пржуљ

Графичко обликовање

Даниел Грујић

Штампа

Графомарк Лакташи

За штампарију

Јелена Милинчић

Тираж

250 примјерака

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

551.583:502.21(082)

УПРАВЉАЊЕ природним ресурсима у ери климатских промјена : монографија / главни уредник Рајко Кузмановић ; одговорни уредник Драго Бранковић ; уредник Бранко Шкундрић ; уредници монографије Горан Трбић, Татјана Попов, Драгољуб Мирјанић. - Бања Лука : Академија наука и умјетности Републике Српске, 2023 (Лакташи : Графомарк). - XXXII, 813 стр. : илустр. ; 24 см. - (Едиција Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске) (Научне монографије ; књ. 54, Одјељење природно-математичких и техничких наука. Одбор за биотехничке науке ; књ. 52)

На спор. насл. стр.: Natural resources management in a changing climate. - Тираж 250. - Подаци о ауторима текстова у монографији = Contributors contact details: стр. IX-XVI. - Напомене и библиографске референце уз текст. - Библиографија уз поглавља. - Summaries.

ISBN 978-99976-42-57-8

ISSN 2831-1132

COBISS.RS-ID 138943745

Одлуком број 01-678-4/22 од 12. новембра 2022. године Одбор за издавачку дјелатност Академије наука и умјетности Републике Српске дао је сагласност да се штампа монографија *Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена*.

Публиковање ове монографије финансијски су подржали Академија наука и умјетности Републике Српске, Министарство за научнотехнолошки развој, високо образовање и информационо друштво у Влади Републике Српске, Фонд за заштиту животне средине и енергетску ефикасност Републике Српске и Развојни програм Уједињених нација (UNDP) Босне и Херцеговине.

Аутори појединих поглавља одговорни су за садржај текста који су написали.