



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM
SADU



mr Branislava B.Matić

**UTICAJ REŽIMA PADAVINA
NA RETENCIONI KAPACITET
I UPRAVLJANJE VODAMA NA SLIVU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2019



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

| | |
|--|---|
| Редни број, РБР: | |
| Идентификациони број, ИБР: | |
| Тип документације, ТД: | Monografska dokumentacija |
| Тип записа, ТЗ: | Tekstualni štampani materijal |
| Врста рада, ВР: | Doktorska disertacija |
| Autor, AU: | mr Branislava B.Matić |
| Mentor, MN: | dr Milan Dimkić, naučni savetnik, profesor Univerziteta u penziji |
| Naslov rada, NR: | UTICAJ REŽIMA PADAVINA NA RETENCIONI KAPACITET I UPRAVLJANJE VODAMA NA SLIVU |
| Jezik publikacije, JP: | Srpski |
| Jezik izvoda, JL: | Srpski/Engleski |
| Zemlja publikovanja, ZP: | Republika Srbija |
| Uže geografsko područje, UGP: | Autonomna Pokrajina Vojvodina |
| Godina, GO: | 2019 |
| Izdavač, IZ: | Autorski reprint |
| Mesto i adresa, MA: | Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad |
| Fizički opis rada, FO: (poglavlja/strana/ citata/tabela/slika/grafika/priloga) | 7/ 172/ 141/ 25/ 64 / 0 /5 |
| Naučna oblast, NO: | Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu |
| Naučna disciplina, ND: | Inženjerstvo zaštite životne sredine |
| Predmetna odrednica/Ključne reči, PO: | indikator retencionog kapaciteta sliva, NWRM, uticaj NWRM na retencioni kapacitet sliva, upravljanje vodama |
| UDK | |
| Čuva se, ČU: | Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka |
| Važna napomena, VN: | |
| Izvod, IZ: | Osnovni cilj istraživanja je razvoj metodologije za okvirno vrednovanje uticaja režima padavina na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama. Formulirana je originalna jednačina za indikator retencionog kapaciteta neizlučenog sliva, u funkciji kratkotrajnih jakih kiša i prirodnih karakteristika čiji je uticaj na brzinu i količinu oticaja sa sliva moguće nedvosmisleno kvantifikovati. Ovo je omogućilo vrednovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva, lociranje i procena uticaja različitih mera na vrednost indikatora, kao i procenu uticaja predloženih mera na sintetičke jedinične hidrograme. Praktičnost metodologije se ogleda u efikasnosti sagledavanja uticaja predloženih mera, donošenju odluka o njihovoj lokaciji na slivu i primeni. Na ovaj način, dobijen je koristan alat za dobijanje informacija od značaja za donošenje odluka u sektoru voda i ostalim sektorima. |
| Datum prihvatanja teme, DP: | 12.jul 2016.godine |
| Datum odbrane, DO: | |
| Članovi komisije, KO: | |
| | Predsednik: dr Mirjana Vojinović Miloradov, profesor emeritus |
| | Član: dr Srđan Kolaković, redovni profesor |
| | Član: dr Zorica Srđević, redovni profesor |
| | Član: dr Aleksandar Đukić, docent |
| | Član, mentor: dr Milan Dimkić, Naučni savetnik, prof.univ. u penziji |
| | Potpis mentora |



KEY WORDS DOCUMENTATION

| | |
|--|--|
| Accession number, ANO : | |
| Identification number, INO : | |
| Document type, DT : | Monograph documentation |
| Type of record, TR : | Textual printed material |
| Contents code, CC : | Ph.D. Thesis |
| Author, AU : | Branislava B.Matić, M.Sc. |
| Mentor, MN : | Milan Dimkić, Ph.D., Scientific Advisor and retired University Professor |
| Title, TI : | RAINFALL IMPACT ON RIVER BASIN RETENTION CAPACITY AND WATER MANAGEMENT |
| Language of text, LT : | Serbian |
| Language of abstract, LA : | Serbian/English |
| Country of publication, CP : | Republic of Serbia |
| Locality of publication, LP : | Autonomous Province of Vojvodina |
| Publication year, PY : | 2019 |
| Publisher, PB : | Author's reprint |
| Publication place, PP : | Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad |
| Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes) | 7/ 172/ 141/ 25/ 64 / 0 /5 |
| Scientific field, SF : | Environmental Engineering and Occupational Health and Safety |
| Scientific discipline, SD : | Environmental Engineering |
| Subject/Key words, S/KW : | river basin retention capacity indicator, NWRM, NWRM effects on river basin retention capacity, water management |
| UC | |
| Holding data, HD : | Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad |
| Note, N : | |
| Abstract, AB : | The main goal of this research is methodology development for assessment of the rainfall impact on river basin retention capacity and water management. The original equation is developed for the ungauged river basin retention capacity indicator in terms of short-term heavy rainfall and natural features whose influence on the speed and the amount of surface runoff from the basin can be clearly quantified. This enabled the evaluation of the retention capacity indicator, location and evaluation of the effect of different NWRM scenarios, as well as the assessment of the impact of the proposed NWRM to synthetic unit hydrograph. Methodology convenience is reflected in the efficiency of identifying the impact of the proposed measures, decisions on their location in the basin and implementation. In this way, there has been a useful tool obtained for providing the information relevant to decision-making in the water sector and other sectors. |
| Accepted by the Scientific Board on, ASB : | July 12, 2016 |
| Defended on, DE : | |
| Defended Board, DB : | |
| President: | Mirjana Vojinović Miloradov, Ph.D., Professor Emeritus |
| Member: | Srđan Kolaković, Ph.D., Professor |
| Member: | Zorica Srđević, Ph.D., Professor |
| Member: | Aleksandar Đukić, Ph.D., Assistant Professor |
| Member, Mentor: | Milan Dimkić, Ph.D., Scientific Advisor, retired Professor |
| | Mentor's sign |

APSTRAKT

Uloga i značaj retencionog kapaciteta sliva za vodni režim i upravljanje vodama su višestruki. Zbog eksplicitne veze oticaja i retencionog kapaciteta, u zavisnosti od prirodnih karakteristika sliva, njegova funkcija u režimu direktnog površinskog oticaja sa malih bujičnih slivova je najočiglednija i dobro dokumentovana u naučnoj i stručnoj literaturi, sa posebnim naglaskom na formiranje naglih oticaja sa izraženim pikovima usled kratkotrajnih jakih kiša. Povećanje retencionog kapaciteta sliva dobija sve više na značaju u savremenom upravljanju vodama, zbog pozitivnog uticaja na ostvarivanje ciljeva održivog razvoja i integralnog upravljanja vodnim resursima. Usled ovoga, raste interes za mere koje doprinose povećanju retencionog kapaciteta sliva (NWRM) a važno istraživačko pitanje je procena njihove efikasnosti. Iako je u literaturi dokumentovan značajan napredak u izučavanju učinka primene mera za povećanje retencionog kapaciteta sliva, nedostaje metodološki okvir za razvoj indikatora retencionog kapaciteta, manjih neizučениh slivova. Istraživanja sprovedena u ovoj disertaciji primenom prihvaćenih statističkih i hidroloških metoda, alata ArcGIS i višekriterijumske analize, omogućila su testiranje postavljenih hipoteza i razvoj metodologije za formulisanje originalne jednačine za indikator retencionog kapaciteta sliva, u funkciji kratkotrajnih jakih kiša i prirodnih karakteristika čiji je uticaj na brzinu i količinu oticaja sa sliva moguće nedvosmisleno kvantifikovati. Razvijena metodologija primenjena je na slivu akumulacije Vrutci na kome su evidentni problemi koji ukazuju na nedovoljan retencioni kapacitet sliva da zadrži padavine, (erozije, bujice). Primena metodologije omogućila je procenu uticaja odabranih komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva na karakteristike sintetičkih jediničnih hidrograma, vrednovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva, lociranje i procenu uticaja različitih alternativa mera na vrednost indikatora retencionog kapaciteta sliva, kao i procenu uticaja predloženih mera na sintetičke jedinične hidrograme. Metodologija je primenjiva na neizučene slivove jer prikazuje neke od najznačajnijih procesa koji utiču na retencioni kapacitet sliva. Praktičnost metodologije se ogleda u efikasnosti sagledavanja uticaja predloženih mera, donošenju odluka o njihovoj lokaciji na slivu i primeni. Na ovaj način, dobijen je koristan alat za dobijanje informacija od značaja za donošenje odluka u sektoru voda i ostalim sektorima.

KLJUČNE REČI: *indikator retencionog kapaciteta sliva, NWRM, uticaj NWRM na retencioni kapacitet sliva, upravljanje vodama*

ABSTRACT

The function and significance of the river basin retention capacity for water regime and water management are manifold. Due to straightforward link between surface runoff and retention capacity depending on the basin natural features, this is the most evident and well documented in scientific and technical literature for small torrential drainage areas, in particular to flush floods and peak flows generated by short - duration extreme rainfall events. It is the basin retention capacity increasing that gets more and more importance in contemporary water management due to its favourable contribution to sustainable development and integrated water resources goals achievement. Consequently, there is a growing interest in Natural Water Retention Measures (NWRM) and an important research question how to assess their effectiveness. Although the literature documents significant progress in the study of the impact of the NWRM implementation, there is a lack of a methodological framework for the development of retention capacity indicators, of smaller ungauged basins. This thesis research was conducted by using accepted statistical and hydrological methods, ArcGIS tools and multi-criteria analysis, enabling the testing of hypotheses and development of a methodology to produce original equation for the river basin retention capacity indicator in terms of short-term heavy rainfall and natural features whose influence on the speed and the amount of surface runoff from the basin can be clearly quantified. The developed methodology was applied to the Vrutci reservoir drainage area where there are evident problems pointing out to an insufficient natural retention capacity that generates erosion, torrent floods, etc. The methodology application has enabled the impact of river basin retention capacity indicator components being appraised to the characteristics of the synthetic unit hydrograph, the evaluation of the retention capacity indicator, location and evaluation of the effect of different NWRM scenarios , as well as the assessment of the impact of the proposed NWRM to synthetic unit hydrograph. The methodology is applicable to ungauged basins because it indicates some of the most important processes that influence the retention capacity of the basin. Methodology convenience is reflected in the efficiency of identifying the impact of the proposed measures, decisions on their location in the basin and its implementation. In this way, there has been a useful tool obtained for providing the information relevant to decision-making in the water sector and other sectors.

KEY WORDS: *river basin retention capacity indicator, NWRM, NWRM effects on river basin retention capacity, water management*

ZAHVALNOST

Ovom prilikom želim da se zahvalim svima koji su doprineli izradi ove disertacije, uz nadu da nikoga nisam izostavila. Na prvom mestu zahvalnost dugujem mom mentoru, prof. dr *Milanu Dimkiću* na podršci tokom istraživanja koja me je motivisala, što je delio svoja naučna i stručna iskustva, savetima i sugestijama koji su doprineli da disertacija dobije svoj konačni oblik, kao i na pruženoj šansi da učestvujem u izradi interne skripte i nastavi za predmet osnovni principi upravljanja vodama na FTN u Novom Sadu. Takođe, zahvaljujem se prof. dr *Edward A. McBean - u*, mom mentoru na magistarskim studijama u Kanadi zato što je takav kakav jeste i uzor, prof. dr *Prvoslavu Marjanoviću* za svu potrebnu pomoć prilikom formulisanja teme istraživanja i razmenu mišljenja tokom istraživanja koja su mi puno značila, a posebno docentu dr *Ratku Bajčetiću* na ogromnoj pomoći u primeni višekriterijumske analize.

Zahvalnost dugujem svim članovima komisije prof. dr *Zorici Srđević*, profesoru emeritus dr *Mirjani Vojinović-Miloradov*, prof. dr *Srđanu Kolakoviću* i docentu dr *Aleksandru Đukiću*, koji su svojim profesionalnim integritetom podržali ovo istraživanje, davali dragocene savete i sugestije i ohrabivali me kada je bilo potrebno.

Divnim koleginicama i kolegama *Zoranu Simiću, Svetlani Vargi, Dragici Vulić, Milici Milovanović, Vesni Zuber – Radenković, Miodragu Milovanoviću, Vesni Koprivici, Vladimiru Lukiću Stanki Dišić*, iz Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi", neizmerno sam zahvalna zbog ogromne ljudske podrške, stručnih saveta i pomoći kad god je trebalo.

Mojoj **porodici i prijateljima** se bezgranično zahvaljujem na ljubavi koja mi je davala snagu i oslonac, kao i na razumevanju što nisam uvek bila uz njih kada sam im trebala.

Dostojevski je rekao da u životu nema ništa uzvišenije, jače, zdravije i korisnije po budućnost od dragih uspomena i ljudi koji su deo njih, zbog toga je ova disertacija posvećena na prvom mestu mojim roditeljima **Ljubinki (Rackov) i Blagoju Matić**, zbog nesebične ljubavi i bezrezervne podrške kojima su me obasipali tokom njihovih života. Takođe i velikim stručnjacima i ljudima prof. dr Stevanu Bruku, Dragutinu – Bati Jovanoviću, dr Radisavu Pavloviću i prof. dr Vujici Jevđeviću na podršci u mom profesionalnom razvoju.

Zbog toga što budućnost pripada onima koji veruju u lepotu svojih snova, a nadasve, zbog sreće i ponosa koje unose u moj život, disertaciju posvećujem Vladislavi, Strahinji, Mariji, Mili, Zoji, Vukašinu, Iliji, Dušanu, Nefeli, Veljku, Petru, Katarini, Marku, Kristini, Tijani, Tamari, Eni, Đordiju, Igoru, Moniki, Viktoru, Valentini, Nikoli, Davidu, Marti, Luki, Ani, Đorđu, Maši, Jovanu, Mariu, Juliji i svoj deci ovog sveta zato što su oni budućnost.

SADRŽAJ

| | |
|---|----------|
| APSTRAKT | I |
| ABSTRACT..... | II |
| ZAHVALNOST | III |
| SPISAK SLIKA..... | VII |
| SPISAK TABELA..... | X |
| LISTA SKRAĆENICA | XI |
| 1. UVODNI DEO | 1 |
| 1.1 UVODNA RAZMATRANJA..... | 1 |
| 1.2 CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA | 4 |
| 1.3 PODELA DOKTORSKE DISERTACIJE PO POGLAVLJIMA..... | 5 |
| 1.4 ULOGA PRIRODNOG RETENCIONOG KAPACITETA SLIVA I MERA ZA NJEGOVO POBOLJŠANJE U UPRAVLJANJU VODAMA | 6 |
| 1.5 POJAŠNJENJE POJMOVA KORIŠĆENIH U DISERTACIJI | 7 |
| 1.5.1 Režim padavina i padavine | 7 |
| 1.5.2 Retencioni kapacitet sliva..... | 7 |
| 1.5.3 Prirodni činioci indikatora retencionog kapaciteta sliva | 7 |
| 1.5.4 Indikator – rezultanta | 7 |
| 1.5.5 Scenarija | 7 |
| 2. PREGLED LITERATURE I AKTUELNIH STAVOVA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA..... | 8 |
| 2.1 PRISTUPI I METODOLOGIJE ANALIZE REŽIMA PADAVINA I BILANSA VODA NA SLIVU | 8 |
| 2.1.1 Hidrološki ciklus i bilans voda | 8 |
| 2.1.2 Režim padavina i kratkotrajne jake kiše | 10 |
| 2.1.3 Retencioni kapacitet sliva i direktan površinski oticaj | 12 |
| 2.1.4 Aktuelni stavovi analiza režima padavina i uticaja na upravljanje vodama..... | 16 |
| 2.2 UPRAVLJANJE VODAMA NA SLIVU | 21 |
| 2.2.1 Faze razvoja i savremeni pristup upravljanju vodama | 21 |
| 2.2.2 Ciljevi upravljanja vodama zakonodavni okvir za njihovo dostizanje..... | 25 |
| 2.2.3 Mere koje doprinose ostvarivanju ciljeva upravljanju vodama | 27 |
| 2.3 RETENCIONI KAPACITET SLIVA I UPRAVLJANJE VODAMA | 28 |
| 2.3.1 Hidrološke usluge ekosistema..... | 28 |
| 2.3.2 Značaj retencionog kapaciteta sliva za hidrološke usluge ekosistema | 31 |
| 2.3.3 NWRM za zadržavanje voda i poboljšanje retencionog kapaciteta sliva koje doprinose integralnom upravljanju vodama..... | 33 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.4 | INDIKATORI I UPRAVLJANJE VODAMA | 35 |
| 2.4.1 | Primena indikatora u savremenom upravljanju vodama..... | 35 |
| 2.4.2 | Primena višekriterijumske analize za određivanje težinskih koeficijenata | 37 |
| 2.5 | PRETHODNE STUDIJE NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA | 39 |
| 2.5.1 | Elaborat o zonama sanitarne zaštite akumulacije Vrutci..... | 39 |
| 2.5.2 | Prikupljanje podataka i izrada analiza i dokumentacije za sanaciju akumulacije „Vrutci“ – faza I i II, 2014-2015 | 41 |
| 2.5.3 | Proučavanje bujičnih slivova i bujičnih tokova..... | 44 |
| 3. | TEORIJSKE OSNOVE I METODE ISTRAŽIVANJA | 45 |
| 3.1 | METODE ZA ANALIZU REŽIMA OSMOTRENIH MAKSIMALNIH DNEVNIH PADAVINA I KRATKOTRAJNIH ČASOVNIH KIŠA JAKOG INTENZITETA | 48 |
| 3.1.1 | Metode za formiranje nizova maksimalnih dnevnih kiša | 48 |
| 3.1.2 | Metode za analizu jakih kiša..... | 49 |
| 3.1.3 | Računske časovne kiše jakog intenziteta | 51 |
| 3.2 | METODE ZA ANALIZU TRENDOVA I GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA | 53 |
| 3.2.1 | Linerana regresija..... | 53 |
| 3.2.2 | Neparametarski Mann- Kendall test..... | 53 |
| 3.2.3 | Box – Whisker Dijagrami (Box-Whisker Plots) | 55 |
| 3.3 | KRITERIJUMI I METODE ZA ODREĐIVANJE KOMPONENTI IRKS | 55 |
| 3.3.1 | Prirodni činioci koji utiču na retencioni kapacitet sliva | 58 |
| 3.3.2 | Metodologija za određivanje odnosa padavine – oticaj na slivovima | 60 |
| 3.4 | METODE ZA ODREĐIVANJE ZNAČAJA KOMPONENTI IRKS I IZBOR NWRM | 68 |
| 3.4.1 | Određivanje težinskih koeficijenata komponenti indikatora i predloženih mera | 68 |
| 3.4.2 | Klasni intervali i normalizacija podataka | 72 |
| 3.4.3 | Metode i kriterijumi za odabir NWRM | 73 |
| 4. | ANALIZE I REZULTATI | 74 |
| 4.1 | PODRUČJE ISTRAŽIVANJA (SLIV AKUMULACIJE VRUTCI) | 74 |
| 4.2 | ANALIZA REŽIMA PADAVINA | 79 |
| 4.2.1 | Rezultati analize kratkotrajnih kiša jakog intenziteta..... | 80 |
| 4.2.2 | Rezultati analiza trendova u režima padavina | 83 |
| 4.3 | ANALIZE I REZULTATI ZA KOMPONENTE IRKS | 89 |
| 4.3.1 | Rezultati analiza prirodnih komponenti indikatora retencionog kapaciteta | 89 |
| 4.3.2 | Rezultati proučavanja vodno-zemljišnih i hidroloških karakteristika istraživanja..... | 92 |
| 4.3.3 | Verifikacija procene činilaca hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač..... | 99 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4 | REZULTATI PRIMENE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE U ODREĐIVANJU ZNAČAJA KOMPONENTI IRKS | 101 |
| 4.4.1 | Rezultati analiza težinskih koeficijenata komponenti IRKS..... | 101 |
| 4.4.2 | Rezultati utvrđivanja klasnih intervala za kvantifikovanje IRKS..... | 104 |
| 4.4.3 | Analiza scenarija prirodnih mera za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva | 106 |
| 4.5 | REZULTATI OKVIRNOG KVANTIFIKOVANJA I UTICAJA MERA NA IRKS | 107 |
| 4.5.1 | Rezultati određivanja indikatora retencionog kapaciteta sliva..... | 107 |
| 4.5.2 | Uticaj NWRM na IRKS i mapiranje njihovih lokacija na slivu | 110 |
| 4.5.3 | Uticaj primene mera na režim oticaja za odabrane podslivove..... | 120 |
| 4.6 | Primena metodologije na odabranom slivu | 123 |
| 5. | ZAKLJUČNA RAZMATRANJA | 126 |
| 6. | LITERATURA | 132 |
| 7. | PRILOZI | 143 |
| | <i>PRILOG I – Hidrogeološka karta područja istraživanja</i> | 144 |
| | <i>PRILOG II - Rezultati analiza kratkotrajnih jakih kiša po matematičkom modelu Jankovića</i> | 146 |
| | <i>PRILOG III - Brojevi krivih oticaja i maksimalnog retencionog kapaciteta sliva (S)</i> | 149 |
| | <i>PRILOG IV - Komponente IRKS za T_k 1 sat i povratni period od 5 godina za sva tri uslova prethodne vlažnosti tla</i> | 151 |
| | <i>PRILOG V –Uticaj mera na indikator retencionog kapaciteta sliva</i> | 155 |

SPISAK SLIKA

- Slika 2.1** Razni vidovi kretanja i stacioniranja vode. Izvor: Jevđević, 1956.
- Slika 2.2** Uprošćen oblik površinskih procesa kopnene faze hidrološkog ciklusa za jedinstven vodni sistemu – sliv. Modifikovala B.Matić na osnovu Chow i saradnici, 1986.
- Slika 2.3** Uticaj odabranih karakteristika sliva na oblik hidrograma na izlaznom profilu sliva. Prilagodila B.Matić na osnovu: Simonović, 2012.
- Slika 2.4** Šematski prikaz komponenti globalnog klimatskog sistema. Modifikovala B.Matić na osnovu: IPCC, 2001.
- Slika 2.5** Šematski prikaz IWRM. Modifikovala B.Matić na osnovu: Mayfield i saradnici, 2004.
- Slika 2.6** Ciljevi upravljanja vodama. Za grafički prikaz oblikovala B. Matić na osnovu: Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034, 2017.
- Slika 2.7** Okvir za celovitu procenu i vrednovanje funkcija, dobara i usluga ekosistema. Prilagodila B.Matić na osnovu: De Groot i drugi, 2002.
- Slika 2.8** Šematski prikaz zajedničkog uticaja hidroloških procesa i usluga hidroloških ekosistema (HUES) na upravljanje vodama. Prilagodila B.Matić na osnovu: STELLA Consulting – NWRM Final Report, 2012.
- Slika 2.9** Pregled odabranih HUES (retencioni kapacitet sliva) sa pozitivnim uticajem na upravljanje vodama. Za vizuelni prikaz prilagodila B.Matić na osnovu: Maes i dr., 2011.
- Slika 2.10** Informaciona piramida – indikatori kao alat za dobijanje informacija. Modifikovala B. Matić na osnovu: Veljković, 2006.
- Slika 2.11** Ekonomska moć i dostupnost vodnih resursa kao indikator upravljanja vodama. Izvor: Dimkić i saradnici, 2013
- Slika 2.12** Kvalitet vode akumulacije, period 2004 -2012 godine za odabrane parametre. Izvor: Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi“, 2015.
- Slika 2.13** Procentualno učešće pritoka u eksternom opterećenju akumulacije. Izvor: Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi“, 2015.
- Slika 2.14** Kategorije erozije na slivu akumulacije Vrutci. Izvor: Drobnjak, 2016.
- Slika 3.1.** Šematski prikaz metodologije za ocenu uticaja kratkotrajnih jakih kiša na retencioni kapacitet i upravljanje vodama na slivu.
- Slika 3.2** Opadajući niz osmotrenih maksimalnih dnevnih padavina za godišnje maksimume i pikove godišnjeg prevazilaženja za meteorološku stanicu Zlatibor
- Slika 3.3** Kriterijumi za razvoj indikatora na slivu. Za grafički prikaz oblikovala B. Matić na osnovu: Chaves i Alipaz, 2007.
- Slika 3.4** Šematski prikaz metode za određivanje komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva
- Slika 3.5** Podela slivova prema obliku. Izvor : Gavrilović, 1972.
- Slika 3.6** Primer podloge za određivanje ponderisanog broja krive oticaja (CN)
- Slika 3.7** Aproksimacije sintetičkog jediničnog hidrograma trouglom.
Izvor: Jovanović,1990.
- Slika 3.8** Šematski prikaz hijerarhije problema u AHP-u. Izvor: Srđević i saradnici, 2009.

Slika 4.1 Geografski položaj područja istraživanja

Slika 4.2 Prostorni raspored zemljišnog pokrivača i korišćenja zemljišta na području istraživanja. Izvor: CLC 2012(fondovska dokumentacija Instituta za vodoprivredu Jaroslav Černi)

Slika 4.3 Geološka karta i hidrološka grupa zemljišta na području istraživanja. Grafički prikaz B.Matić na osnovu: Drobniak, 2016.

Slika 4.4 Pedološka karta za područje istraživanja. Prilagodila B.Matić na osnovu: Drobniak, 2016.

Slika 4.5 Grafički prikaz vremenskih serija godišnjih maksimuma dnevnih suma padavina za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanici Zlatibor

Slika 4.6 Grafički prikaz analiza kratkotrajnih kiša jakog intenziteta za dva vremenska perioda

Slika 4.7 Grafički prikaz analize trenda u nizu suma godišnjih padavina za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

Slika 4.8 Grafički prikaz analize trenda u nizu godišnjih suma broja dana bez kiše za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

Slika 4.9 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 10 mm za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

Slika 4.10 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 20 mm za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

Slika 4.11 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 5 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor

Slika 4.12 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 10 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor

Slika 4.13 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 20 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor

Slika 4.14 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 20 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor

Slika 4.15 Šematski prikaz analiza komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva

Slika 4.16 Digitalni model terena i podela na 6 podslivova područja istraživanja

Slika 4.17 Podela područja istraživanja na 17 podslivova i hidrografska mreža

Slika 4.18 Koeficijent pošumljenosti i oblika sliva za podslivove

Slika 4.19 Grafički prikaz opsega nagiba sliva (I_{sl}) za sve podslivove

Slika 4.20 Vrednosti S u funkciji CN za različite uslove prethodne vlažnosti tla i dva pristupa dekompozicije područja istraživanja

Slika 4.21 Komparacija Q_{max} za odabrane podslivove za normalne prethodne uslove vlažnosti i različite A, K_s i I_{sl} , povratni period 5 godina i trajanje kiše 1 sat

Slika 4.22 Grafički prikaz korelacije Q_{max}/km^2 i koeficijenta oblika sliva A za povratni period 5 godina i trajanje kiše 60 minuta

Slika 4.23 Grafički prikaz zavisnosti vremena kašnjenja TSJH (t_o) i nagiba sliva (I_{sl})

Slika 4.24 Korelacije zapremine vode nereguliranih dnevnih proticaja i zapremine sume dnevnih padavina na izlaznom profilu područja istraživanja za odabrane dnevne sume pada

Slika 4.25 Šematski prikaz višekriterijumske analize za određivanje težinskih koeficijenata i analizu osjetljivosti indikatora retencionog kapaciteta primenom AHP

Slika 4.26 Matrica odlučivanja za težinske koeficijente komponenti IRKS

Slika 4.27 Analiza osjetljivosti težinskih vrednosti za komponente IRKS

Slika 4.28 Rezultati primene metodologije za kvantifikovanje IRKS za sva tri uslova prethodne vlažnosti tla i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat

Slika 4.29 Rezultati analize razlike IRKS za sva tri uslova prethodne vlažnosti tla i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat

Slika 4.30 Mapiranje lokacija mera obuhvaćenih alternativom 1(SC1)

Slika 4.31 Uticaj predloženih mera za SC1 na indikator retencionog kapaciteta sliva i prikaz poređenja vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva bez i sa primenom mera za sva tri scenarija prethodnih uslova vlažnosti tla

Slika 4.32 Mapiranje lokacija mera obuhvaćenih alternativom 2 (SC2)

Slika 4.33 Uticaj predloženih mera za SC2 na indikator retencionog kapaciteta sliva i prikaz poređenja vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva bez i sa primenom mera za sva tri scenarija prethodnih uslova vlažnosti tla

Slika 4.34 Mapiranje lokacija mera obuhvaćenih scenariom 3

Slika 4.35 Uticaj predloženih mera za SC3 na indikator retencionog kapaciteta sliva i prikaz poređenja vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva bez i sa primenom mera za sva tri scenarija prethodnih uslova vlažnosti tla

Slika 4.36 Odnos IRKS i $IRKS_{max}$ za sva tri scenarija mera i normalne uslove vlažnosti

Slika 4.37 Grafički prikaz uticaja primene mera na normalizovane sintetičke jedinične hidrograme za 17 podslivova, normalne prethodne uslove vlažnosti i kišne epizode povratnog perioda 5 godina za trajanje kiše 1 sat

Slika 4.38 Uticaj primene mera za Scenario 2 na odabrane sintetičke jedinične hidrograme za normalne prethodne uslove vlažnosti i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina za trajanje kiše 1 sat

Slika 4.39 Hidrološki kompleks zemljište pokrivač za sliv II

Slika 4.40 Prostorni raspored potencijalnih mera na Slivu II za Scenario 2

Slika 5.1 Rezultati primene metodologije za kvantifikovanje IRKS za sve tri razmatrane alternative usvojenih mera i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat

Slika I-1 Hidrogeološka karta područja istraživanja. Izvor: Fondovska dokumentacija Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi.

SPISAK TABELA

- Tabela 2.1** Faze korišćenja i upravljanja vodama. Za tabelarni prikaz prilagodila B.Matić na osnovu: Dimkić i saradnici, 2007.
- Tabela 3.1** Kategorizacija hidroloških grupa zemljišta za određivanje broja krive oticaja. Na osnovu Đorović (1987) i Chin(2000) prilagodila B.Matić.
- Tabela 3.2** Tabelarni prikaz postupka određivanje ponderisanog broja krive oticaja u funkciji hidrološke grupe zemljišta i klase zemljišnog pokrivača. Prilagodila za tabelarni prikaz B. Matić na osnovu: Chin, 2000.
- Tabela 3.3** Satijeva skala relativnog značaja (Saaty, 1980)
- Tabela 3.4** Kriterijumi za izbor NWRM
- Tabela 4.1** Visina sloja oticaja – Q_0 za Tk 1 sat, T 5 godina (1984 - 2015) i različite uslove prethodne vlažnosti tla
- Tabela 4.2** Upporedne vrednosti skala po Satiju (Saaty, 1980)
- Tabela 4.3** Težinske vrednosti komponenti po tri skale
- Tabela 4.4** Bodovanje komponenti IRKS za 10 klasnih intervala
- Tabela 4.5** Tabelarni prikaz odabranih mera za 3 scenarija
- Tabela 4.6** Vrednosti i razlike IRKS za šest podslivova i sva tri uslova prethodne vlažnosti tla za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanja kiše 1 sat
- Tabela 4.7** Uticaj primene mera SC1 na IRKS za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanje kiše 1 sat za sva tri scenarija prethodne vlažnosti tla
- Tabela 4.8** Uticaj primene mera SC2 na IRKS za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanje kiše 1 sat za sva tri scenarija prethodne vlažnosti tla
- Tabela 4.9** Uticaj primene mera SC3 na IRKS za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanje kiše 1 sat za sva tri scenarija prethodne vlažnosti tla
- Tabela 4.10** Zbirni prikaz razmatranih alternativa NWRM (površina/zapremina)
- Tabela 4.11** IRKS i $IRKS_{max}$ za sve tri alternative NWRM i normalne uslove vlažnosti
- Tabela II-1** Kratkotrajne jake kiše primenom matematičkog modela Jankovića
- Tabela III-1** Brojevi krivih oticaja i maksimalno potencijalnog retencionog kapaciteta za sve uslove prethodne vlažnosti tla – 17 slivova
- Tabela III-2** Brojevi krivih oticaja i maksimalno potencijalnog retencionog kapaciteta za sve uslove prethodne vlažnosti tla – 6 slivova
- Tabela IV-1** Vrednosti komponenti IRKS za TK 1 sat i povratni period od 5 godina za uslove prethodne vlažnosti tla ispod proseka
- Tabela IV-2** Vrednosti komponenti IRKS za TK 1 sat i povratni period od 5 godina za normalne uslove prethodne vlažnosti tla
- Tabela IV-3** Vrednosti komponenti IRKS za TK 1 sat i povratni period od 5 godina za uslove prethodne vlažnosti tla iznad proseka
- Tabela V -1** Uticaj mera na indikator retencionog kapaciteta sliva za SC1
- Tabela V -2** Uticaj mera na indikator retencionog kapaciteta sliva za SC2
- Tabela V -3** Uticaj mera na indikator retencionog kapaciteta sliva za SC3

LISTA SKRAĆENICA

| |
|---|
| AHP – Analitički hijerarhijski proces |
| CLC – Digitalna baza klasa pokrivača i korišćenja zemljišta) |
| CN – Broj krive oticaja |
| DEM - Digitalni model terena |
| ESS – Usluge ekosistema |
| EU BSEWR - Plan za zaštitu i očuvanje evropskih vodnih resursa |
| EUGI – Zelena infrastruktura (GI) poboljšanje evropskog prirodnog kapitala |
| FAO – Agencija UN za poljoprivredu i hranu |
| GWP – Globalno partnerstvo za vodu |
| HSG – Hydrologic soil group (hidrološka grupa zemljišta) |
| HUES – hidrološke usluge ekosistema |
| ICPDR – Međunarodna komisija za zaštitu reke Dunav |
| INBO – Organizacija međunarodnih komisija za upravljanje slivovima) |
| IPCC –Međunarodni panel za klimatske promene) |
| IRKS – indikator retencionog kapaciteta sliva |
| IWRM - Integralno upravljanje vodnim resursima |
| JČI – Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi“ |
| MAES EU – Mapiranje i procena ekosistema i njihovih usluga Evropske unije |
| NWRM – (Natural Water Retention Measures) Mere za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva koje podstiču i oponašaju prirodne procese retenziranja vode na slivu |
| ODV – Direktiva o vodama Evropske unije |
| OVR/gS/god - Godišnje količine obnovljivih vodnih resursa po glavi stanovnika |
| RSRHMZ – Republika Srbija Republički hidrometeorološki zavod |
| SDGs - Ciljevi održivog razvoja |
| SJH – sintetički jedinični hidrogram |
| SUVRS - Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034 |
| UN – Ujedinjene nacije |
| UN WWDR4 – Izveštaj (4) UN o stanju vodnih resursa na globalnom nivou |
| UNECE Konvencija - Konvencija o zaštiti i korišćenju prekograničnih vodotokova i međunarodnih jezera Ujedinjenih nacija (Konvencija o vodama) |
| UNEP – Agencija ujedinjenih nacija za zaštitu životne sredine |
| UNESCO - Agencija ujedinjenih nacija za obrazovanje, nauku i kulturu |
| USA NRCS (SCS) - Nacionalna agencija za konzervaciju zemljišta i prirodnih resursa SAD |
| WMO – Svetska meteorološka organizacija |
| ZoVRS - Zakon o vodama Republike Srbije |

1. 1. UVODNI DEO

1.1 UVODNA RAZMATRANJA

Voda se pojavljuje u odnosu na ljude u dva osnovna oblika. Jedno je šteta i opasnost po život i privredu, drugo je korist raznim vidovima upotrebe vode, pa otuda i dva pojma: odbrana od voda i težnja za vodom (Jevđević, 1946). Upravljanje vodama je složen proces, koji utiče na sve oblike ljudskih delatnosti, a zbog značaja vode kao prirodnog resursa i na opstanak i razvoj celokupne ljudske zajednice. Dimkić i saradnici (2007) definišu tri osnovne faze razvoja korišćenja i upravljanja vodama kao faze izobilja, raubovanja i održivog razvoja. Sa razvojem ljudske zajednice, pritisak na vodne resurse postajao je sve veći usled čega upravljanje vodama postaje sve kompleksnije a vodama je neophodno upravljati tako da se omogući održivi razvoj društva, socijalna pravičnost i održivost životne sredine koji čine stubove održivog razvoja kako se ističe u Agendi 21 UN (1992). Ukratko, cilj savremenog upravljanja vodama je gazdovanje ovim vitalnim resursom koje će obezbediti ravnotežu između potreba ljudske zajednice i vodnih resursa tako da se omogući njen razvoj vodeći računa o potrebama budućih generacija. Primena ovih principa zahteva integralno upravljanje vodama (IWRM), koje na nivou sliva nastoji da integriše veliki broj procesa kao što su hidrološki ciklus, prirodne karakteristike sliva, održivost životne sredine, ekonomski razvoj, institucionalni i zakonodavni okvir (Mayfield i saradnici, 2004). Imajući u vidu sve ovo kao i porast pritiska na vodne resurse, upravljanje vodama koje je adaptivno i integralno postaje veliki izazov. Koncept savremenog upravljanja vodama na slivu, kao praktične hidrološke i hidrogeološke jedinice za upravljanje vodama, integrisan je u zakonodavni okvir i strateška dokumenta Republike Srbije (ZoVRS, SUVRS do 2034), kao i međunarodne konvencije i sporazume čiji je Srbija potpisnik kao što su Konvencija o zaštiti Reke Dunav, Memorandum o razumevanju na slivu Tise, UNECE Konvencija i drugo). Na nivou Evropske Unije (EU) osnova upravljanja vodama je Okvirna Direktiva EU o vodama i ostale direktive EU o vodama. Sva prethodno pomenuta regulativa u sektoru voda zastupa pristup koji teži uspostavljanju integralnog upravljanja vodnim resursima. Pahl-Wostl (2008) ocenjuju da postoje mnogi razlozi zašto je došlo do promene paradigme upravljanja vodama zadnjih decenija i da savremeni koncept omogućava fleksibilnost i bolju adaptaciju na klimatske promene imajući u vidu visok stepen nepouzdanosti procene njihovog uticaja u budućnosti.

Dostizanje ciljeva upravljanja vodama je dug i iterativan proces koji zavisi od mnogih faktora čiji su uticaji specifični za svaku državu ili region. Dimkić i saradnici (2013) su razvili indikator koji predstavlja odnos dostupnosti obnovljivih vodnih resursa po glavi stanovnika i bruto domaćeg proizvoda (BDP) koji na jasno definisan način prikazuje kapacitet država širom sveta da primene adaptivno upravljanje vodama. Na globalnom nivou za praćenje napretka dostizanja ciljeva održivog razvoja (UN SDGs, 2015) do 2030 godine propisan je čitav set indikatora za specifične ciljeve.

Padavine su jedna od osnovnih komponenti hidrološkog ciklusa i bilansa voda jer utiču na kvantitativni i kvalitativni režim voda na slivu. Do druge polovine prošlog veka, smatralo se da su vremenske serije osmotrenih podataka stacionarne, u smislu da nema trendova i promena, kako u njihovoj prostornoj i vremenskoj raspodeli tako i u intenzitetu, te da se, u skladu sa tim, dugoročne odluke u sektoru voda mogu donositi bez analize trendova u osmotrenim serijama i razmatranja njihovog uticaja na upravljanje vodama u budućnosti. Za male slivove su naročito značajne kratkotrajne jake kiše zbog širokog dijapazona hidrološke problematike, od zaštite tla od erozije do maksimalnih protoka, na koji utiču (Srebrenović, 1986). Od sredine prošlog veka, pažnju naučne i stručne javnosti privukle su informacije o porastu temperature na globalnom nivou usled povećane koncentracije gasova staklene bašte, što utiče i na hidrološki ciklus (Houghton i dr., 2001) koji ukazuju da porast prosečne temperature, vrlo verovatno, dovodi do promene učestalosti ekstrema, kao na primer pojave intenzivnijih padavina širom sveta. Sve ovo za posledicu ima promene u vremenskoj i prostornoj raspodeli komponenti bilansa voda i utiče na režim voda kao što je intenziviranje naglih oticaja sa bujičnih slivova, povećanja erozije, učestalijih poplava, pogoršanja kvaliteta vode i drugo. Prilikom razmatranja uticaja ovih promena na upravljanje vodama još uvek postoji visok stepen nepouzdanost njihove buduće projekcije usled uticaja mnogih faktora kao što su nepouzdanosti scenarija za buduće projekcije i hidroloških modela, prostorna i vremenska rezolucija, socio - ekonomski, politički, i drugo (ICPDR, 2012, 2018).

Dostizanje ciljeva upravljanja vodama se postiže primenom najrazličitijih mera (investicione i administrativne) i aktivnosti (kao na primer institucionalni okvir koji omogućava njihovu primenu) a njihov izbor je veliki izazov zbog pritiska i nepouzdanosti u vezi budućih promena (korišćenja zemljišta, klime, socio - ekonomskih, i drugo). U izveštaju UN (WWDR 4, 2012)

istaknuto je da ostvarivanje ciljeva IWRM zahteva bolju saradnju među sektorima uz napomenu da vrednovanje usluga ekosistema (ESS) omogućava bolje razumevanje budućih odluka i pruža dobru mogućnost za uočavanje potencijalnih prioriteta u upravljanju vodama sa fokusom na ESS za koje je moguće dobiti okvirnu procenu, uglavnom primenom indikatora i indeksa. Za upravljanje vodama od posebnog značaja su regulacione usluge (regulacija oticaja, prečišćavanje voda, smanjenje bujičnih i erozionih procesa, ublažavanje posledica od poplava, prihranjivanje podzemnih voda), snabdevanje dobrima (vodom za piće) kao i usluge koje doprinose formiranju zemljišta, to jest hidrološke usluge ekosistema. Pošto sve ove usluge zavise od retencionog kapaciteta sliva, njegova procena u zavisnosti od karakteristika sliva i razmatranje mera koje ga poboljšavaju, kao i njihovog uticaja na retencioni kapacitet sliva dobija na značaju (Roo i dr., 2012; Roub i dr., Mioduszewski i dr., 2014; EEA, 2015; Vandecasteele i dr., 2016; Šatalová i Kenderessy, 2017). Da bi se podstakla primena NWRM koje doprinose povećanju retencionog kapaciteta sliva i povezivanje ciljeva različitih sektora i politika EU (za koje je neki autori navode da je nedovoljno, Evers i Nyberg, 2013; Matić i sar., 2016) EU je publikovala katalog NWRM. Ove mere nisu nove, samo su grupisane tako da se istakne njihova osnovna funkcija a to je poboljšanje retencionog kapaciteta sliva. Takođe, ovaj koncept mera na isključuje investicione (tehničke mere) i uglavnom je za njihovu primenu neohodna saradnja više sektora.

Matić i Simić (2018) napominju da je ostvaren značajan napredak u primeni principa IWRM na slivovima velikih međunarodnih reka (Dunav, Mekong, Tisa) dok to nije slučaj sa malim neizučenim slivovima lociranim u gornjim delovima velikih reka, za koje je karakteristično da padavine koje su prouzrokovale veliku vodu (kratkotrajne jake kiše)obično padaju nad celim slivom (Žugaj, 2010). Slično je i sa izučavanjem uticaja NWRM na režim voda i upravljanje vodama, a generalno nedostaje jasan metodološki okvir i indikator koji će omogućiti ocenu retencionog kapaciteta sliva i uticaj NWRM u zavisnosti od kratkotrajnih jakih kiša i prirodnih karakteristika sliva, koje direktno utiču na režim retenziranja i površinskog oticaja vode. Sve ovo ukazuje potrebu izučavanja retencionog kapaciteta neizučenih manjih slivova sa izraženim nagibima terena i nepovoljnim prirodnim karakteristikama za zadržavanje padavina, kao i razvoj metodologije, primenom prihvaćenih hidroloških metoda za neizučene slivove, radi okvirnog vrednovanja retencionog kapaciteta sliva (u zavisnosti od kratkotrajnih jakih kiša i prirodnih karakteristika sliva) i uticaj NWRM na njegovo poboljšanje i upravljanje vodama.

1.2 CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj istraživanja je razvoj metodologije za okvirno vrednovanje uticaja režima padavina na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama, sa posebnim osvrtom na različite prirodne uslove, scenarija i prirodne mere koje doprinose poboljšanju retencionog kapaciteta sliva. Pored osnovnog cilja, definisani su i uži ciljevi disertacije i neophodne analize koji doprinose ostvarivanju osnovnog cilja:

- Određivanje komponenti indikatora retencionog kapaciteta koji će omogućiti okvirno vrednovanje prirodnog retencionog kapaciteta neizučenog sliva;
- Razvoj metodologije za kvantifikovanje retencionog kapaciteta neizučenog sliva;
- Procena uticaja komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva, posebno režima padavina, na retencioni kapacitet sliva putem analize osetljivosti;
- Razmatranje prirodnih mera koje doprinose povećanju retencionog kapaciteta sliva;
- Na izabranom primeru izvršiti procenu uticaja odabranih mera na vrednosti indeksa retencionog kapaciteta sliva i upravljanje vodama.

Na osnovu ciljeva istraživanja, očekivanih rezultata koji doprinose kvantifikovanju uticaja režima padavina na retencioni kapacitet sliva, pregleda literature i aktuelnih stavova definisane su hipoteze ove disertacije:

- Moguće je razviti metodologiju koja omogućava okvirno kvantifikovanje retencionog kapaciteta sliva za različite prethodne uslove vlažnosti;
- Moguće je proceniti u kom obimu primena razmatranih mera utiče na poboljšanje prirodnog retencionog kapaciteta sliva na osnovu predložene metodologije;
- Mere koje se razmatraju mogu bitno da povećaju retencioni kapacitet sliva i doprinesu ostvarivanju ciljeva upravljanja vodama;
- Postoje trendovi u osmotrenim sumama dnevnih padavina i kratkotrajnih jakih kiša.

1.3 PODELA DOKTORSKE DISERTACIJE PO POGLAVLJIMA

Ova disertacija se sastoji od 6 poglavlja. U prvom su data uvodna razmatranja, ciljevi, hipoteze i prikaz korišćenih pojmova u disertaciji. Drugo poglavlje daje prikaz aktuelnih stavova i literature od značaja za istraživanje uticaja režima padavina na retencioni kapacitet i upravljanje vodama na slivu, sa posebnim osvrtom na aktuelne stavove u vezi promenama režima padavina i pristupa u njihovoj analizi. Pored toga, u ovom poglavlju je dat prikaz pristupa upravljanju vodama, sa osvrtom na zakonodavni okvir i vodeće principe adaptivnog i integralnog upravljanja vodama. U ovom poglavlju je prikazana uloga retencionog kapaciteta u savremenom upravljanju vodama, kao višenamenske hidrološke usluge ekosistema, sa osvrtom na mere koje doprinose povećanju prirodnog retencionog kapaciteta sliva i pristupe u razvoju indikatora kao rezultante kompleksnih procesa čija analiza zahteva multidisciplinarni pristup.

U trećem poglavlju su prikazane teorijske osnove i metode korišćene u analizama za postizanje ciljeva istraživanja i razvoja metodologije za određivanje indikatora retencionog kapaciteta sliva i kvantifikovanje njegovih komponenti.

Poglavlje četiri obuhvata prikaz rezultata analiza trendova osmotrenih dnevnih suma padavina i kratkotrajnih jakih kiša, komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva, hidrološkog kompleksa zemljište pokrivač, sintetičkih jediničnih hidrograma. Pored toga, u ovom poglavlju dat je detaljan prikaz primene metodologije za razvoj indikatora retencionog kapaciteta sliva i procene uticaja mera koje doprinose povećanju retencionog kapaciteta sliva akumulacije Vrutci. U petom poglavlju je data su zaključna razmatranja i smernice budućeg istraživanja. Šesto poglavlje daje prikaz korišćene literature za izradu doktorske disertacije. U poglavlju 7 dati su prilozi sa sveobuhvatnim rezultatima i pratećim sadržajem doktorske disertacije.

1.4 ULOGA PRIRODNOG RETENCIONOG KAPACITETA SLIVA I MERA ZA NJEGOVO POBOLJŠANJE U UPRAVLJANJU VODAMA

Najjednostavnija definicija retencionog kapaciteta neizučenog sliva je da on utiče na hidrološki režim tako da što je on veći, smanjuje se direktan površinski oticaj sa sliva, a samim tim i negativne posledice na upravljanje vodama, kao što su bujice, erozija i rizik od poplava na nizvodnim delovima sliva. Kako ističe Jevđević (1956) što je veći retencioni kapacitet sliva razlika između diskontinuiteta padavina i kontinuiteta oticaja raste.

Kao odgovor na izazove sa kojima se suočava sektor voda, uloga retencionog kapaciteta sliva dobija na značaju i prepoznata je u strategijama i planskim dokumentima jer doprinosi ostvarivanju ciljeva integralnog upravljanja vodama, boljem povezivanju različitih sektora i poboljšanju hidroloških usluga ekosistema u skladu sa preporukama UN WWDR4 (UNESCO, 2012) za upravljanje vodama.

U naučnoj i stručnoj literaturi je dokumentovan porast izučavanja uticaja retencionog kapaciteta sliva na upravljanje vodama, razmatranja mera koje daju doprinos njegovom poboljšanju (NWRM) i upravljanju vodama. Kao podršku primeni NWRM mera, EU je publikovala dokument o politici NWRM u EU (2014) i onlajn katalog mera (<http://nwrn.eu/>), koje kako se navodi, između ostalog, daju doprinos ostvarivanju ciljeva različitih politika EU kao na primer ODV, Direktive o poplavama, Akcije EU za nestašice vode i suše, EU strategije o prilagođavanju klimatskim promenama i drugo. NWRM su definisane kao mere s primarnom funkcijom unapređenja i/ili očuvanja kapaciteta zadržavanja vode prirodnih i urbanizovanih prostora i vodenih ekosistema. U skladu s tim, one isporučuju spektar usluga i višestruke koristi za ljude, a doprinose ostvarenju ciljeva različitih strategija i politika zaštite životne sredine i upravljanja vodama.

Treba naglasiti da ove mere nisu nove ni jedinstvene, nego su grupisane tako da se istakne njihova osnovna funkcija a to je pozitivan uticaj na retencioni kapacitet sliva. Prevod mera kao "prirodne mere" može da unese zabunu jer njihov koncept ne isključuje investicione mere, pa je mnogo ispravnije posmatrati ih kao mere za poboljšanje retencionog kapaciteta koje podstiču i oponašaju prirodne procese retenziranja vode na slivu. Svakako je važno napomenuti da odluka o izboru mera i njihovoj primeni, bez analize prirodnih karakteristika i hidrološkog režima sliva, vrlo verovatno neće biti dovoljno validna a procena njihove efikasnosti bez ovih analiza je diskutabilna.

1.5 POJAŠNJENJE POJMOVA KORIŠĆENIH U DISERTACIJI

1.5.1 Režim padavina i padavine

Podrazumeva u ovoj disertaciji dnevne sume osmotrenih padavina i kratkotrajne jake kiše, i režim padavina koji je prethodio kišnoj epizodi, zbog njihovog uticaja na režim retenziranja vode i formiranja oticaja sa sliva, dok se pojam padavina odnosi samo na osmotrene dnevne sume kiša i kišne epizode kratkotrajnih jakih kiša.

1.5.2 Retencioni kapacitet sliva

Odnosi se na maksimalno potencijalni prirodni retencioni kapacitet neizučenog i sliva da zadrži padavine u zavisnosti od prirodnih činilaca, hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač, vegetacionog pokrivača i kratkotrajne jake kišne epizode.

1.5.3 Prirodni činioci indikatora retencionog kapaciteta sliva

Veliki broj činilaca utiče na retencioni kapacitet i oticaj sa sliva. Pored klimatskih i antropogenih činilaca, postoji veliki prirodnih karakteristika sliva (reljef, padovi, oblik sliva, tip zemljišta, pošumljenost i drugo) za koje se u hidrološkoj literaturi mogu naći različiti pristupi za njihovo grupisanje. Jevđević (1956) i Žugaj (2010) ove činioce dele na geografske, geološke i biološke, dok Zelenhasić i Ruski (1991) ove činioce nazivaju fiziografski faktori i dele ih na dve podgrupe. U ovoj disertaciji za sve ove činioce korišćen je naziv prirodni činioci i karakteristike sliva.

1.5.4 Indikator – rezultanta

Indikatori služe za uprošćavanje i kvantifikovanje složenih pojava, da bi se izbeglo prikazivanje mnoštva podataka i informacija (Veljković, 2006), i omogućavaju njihovo bolje razumevanje i praćenje promena u sistemu koji se izučava, na primer režim retenziranja vode na neizučenom slivu. Neophodno je da za podatke, koji su komponente indikatora, postoje jasno definisani matematički izrazi (FAO, 2015) da bi se omogućilo vrednovanje indikatora i praćenje promena, kao na primer, uticaj prirodnih mera za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva na režim oticaja sa sliva.

1.5.5 Scenarija

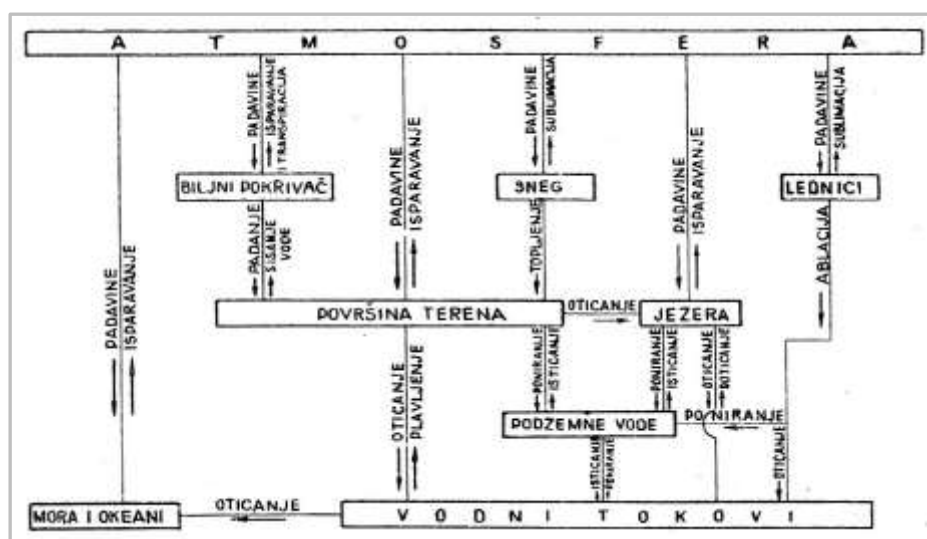
Pojam scenarija se odnosi na uslove prethodne vlažnosti tla u trenutku pojave kišne epizode i na scenarije (alternative) kojima se razmatraju različite kombinacije mera (NWRM) koje doprinose povećanju maksimalnog prirodnog kapaciteta sliva da retenzira (zadrži kratkotrajne jake kiše).

2. PREGLED LITERATURE I AKTUELNIH STAVOVA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA

2.1 PRISTUPI I METODOLOGIJE ANALIZE REŽIMA PADAVINA I BILANSA VODA NA SLIVU

2.1.1 Hidrološki ciklus i bilans voda

Hidrološki ciklus opisuje neprekidno kruženje vode koji povezuje atmosferu, kopno (biosfera) i okeane (litosferu). Mnogi procesi (padavine, infiltracija, oticaj, i drugo) utiču na kretanje vode i njeno stacioniranje kao što je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1 Razni vidovi kretanja i stacioniranja vode. Izvor: Jevđević, 1956.

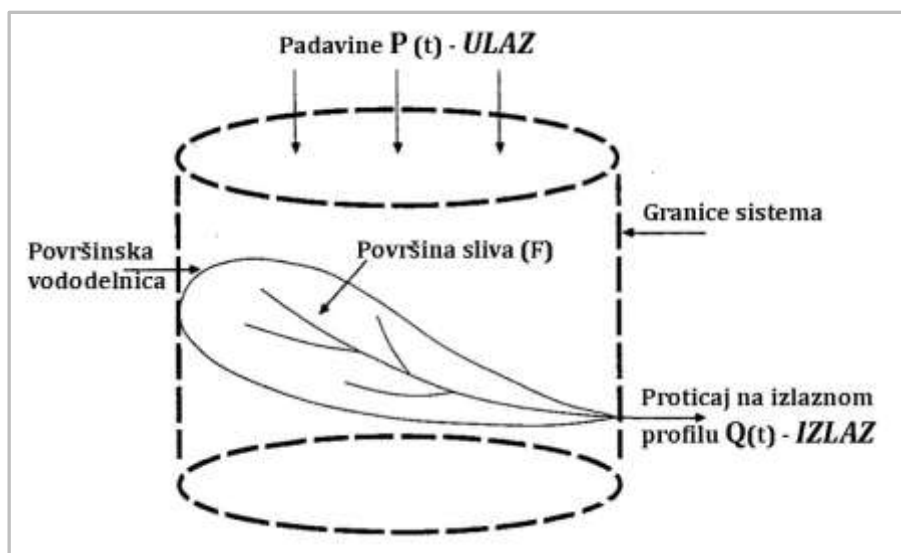
Hidrološki ciklus može biti globalni, kontinentalni, regionalni (Dunavski sliv, sliv Tise) i lokalni, od vodnih područja (u Srbiji postoji 5, član 27, ZoV RS) do slivova malih reka i potoka. Pored toga, procesi hidrološkog ciklusa se dele na atmosfersku fazu, okeansku i kopnenu fazu koja se sastoji od površinskih (zadržavanje vode u depresijama, površinski oticaj) i podpovršinskih procesa kao što su zemljišna vlaga, podpovršinski oticaj, perkolacija i podzemne vode (Chow i saradnici, 1990). Proces površinskog i podpovršinskog procesa zemaljske faze hidrološkog ciklusa povezani su infiltracijom.

Analizom komponenti hidrološkog ciklusa na određenom prostoru za usvojeni vremenski period dobija se bilans voda područja koji kvantifikuje komponente hidrološkog ciklusa. Vodni bilans se zasniva na opštem konceptu održanja mase da promena zapremine vodnih resursa u

posmatranom prostoru predstavlja razliku ulaza (padavine, površinski doticaj, i drugo) na određenoj površinu i izlaza (oticaaj, isparavanje, infiltracija, i drugo) u određenom vremenu (Jevđević, 1956). Razlika ulazne i izlazne zapremine vode je promena ukupne zapremine vode u posmatranom prostoru na početku osmatranja na slivu kao što su retenziranje vode, infiltracija i drugo, pa opštem obliku jednačina vodnog bilansa, na određenom prostoru i za vremenski period koji se razmatra (višegodišnji, sezonski, i dugo), ima oblik:

$$U - I = \pm \Delta W$$

Gde je U ulaz u sistem (sliv), I je izlaz a ΔW je promena zapremine vode. Na slici 2.2 prikazan je maksimalno uprošćen oblik površinskih procesa kopnene faze hidrološkog ciklusa i komponenti ulaza i izlaza za sliv kao sistem.



Slika 2.2 Uprošćen oblik površinskih procesa kopnene faze hidrološkog ciklusa za jedinstven vodni sistem – sliv. Modifikovala B.Matić na osnovu Chow i saradnici, 1986.

Broj članova bilansa zavisi od predmeta njegovog izučavanja i dostupnih podataka. U svakom slučaju njegova struktura je jednostavnija ukoliko je uključen manji broj parametra a za kvantifikovanje površinskog oticaja padavine su osnovni ulaz a oticaj na izlaznom profilu osnovni izlaz (Jovanović, 1990). Ukoliko se sliv posmatra kao sistem može se reći da on transformiše ulaz i izlaz iz sistema što zavisi od prirodnih karakteristika sliva, ovo se naročito odnosi na male i neizučene slivove gde je izučavanje prirodnih karakteristika neophodno za izučavanje velikih

voda (Žugaj, 2010) a površina sliva je samo jedna od komponenti koja utiče na zapreminu vode na izlaznom profilu. Bartoš Divac i Babić – Mladenović (2008) navode da se karakteristike velikih voda u Srbiji razlikuju za bujične (površina sliva < 100 km², pad korita 1-10%), male (100 km²<F< 1000 km²) i velike slivove, kao i da su na bujičnim i malim slivovima karakteristike velikih voda slične i odlikuju ih brza koncentracija i kratko trajanje velikih voda pa talasi velikih voda imaju nagli porast i kratku vremensku bazu sa dosta suspendovanog i vučenog nanosa. Gavrilović (1973) navodi da je razlika između bujičnih i rečnih tokova u tome što se velike vode kod bujičnih tokova javljaju iznenadno i neposredno posle jakih kiša ili topljenja snega, dok kod reka to nije tako naglo, jer je količina stalne vode u rečnim koritima srazmerno uvek veća nego kod bujičnih tokova. Karakteristike bujičnih tokova je hidrološki režim sa velikom varijacijom vodostaja, i poplavni talasi koje karakteriše brzi nadolazak i kratko trajanje (Kostadinov, 2008). Sve ove karakteristike bujičnih slivova i tokova dovode do erozionih procesa, koji počinju u gornjim delovima sliva, planinskim predelima. Teritorija Republike Srbije ima prirodne hidromorfološke predispozicije za razvoj erozionih procesa jer se skoro 3/4 teritorije nalazi u planinskim predelima (Petković, 2014) što zajedno sa strmim nagibima padina, geološkim karakteristikama i slabom pošumljenošću čini veliki deo teritorije Srbije podložnom za erozione procese.

Pored bilansa voda, za kvantitativno i kvalitativno opisivanje stanja površinskih i podzemnih voda na određenom području i u određenom vremenu, izučava se režim voda koji može biti prirodni ili prouzrokovan ljudskim aktivnostima. Informacije o bilansu i režimu voda su od velikog značaja za sektor voda, od primene prilikom projektovanja do definisanja dugoročnih ciljeva i strateških odluka za upravljanje vodama. Takođe izučavanje i poznavanje bilansa i režima voda je značajno za sektor zaštite životne sredine, energetski sektor, sektor poljoprivrede.

2.1.2 Režim padavina i kratkotrajne jake kiše

Padavine su jedna od osnovnih komponenti hidrološkog ciklusa i bilansa voda na određenom prostoru i u vremenskom intervalu koji se izučava. Podaci o padavinama i njihovom režimu su jedna od polaznih osnova prilikom izrade studija i projektovanja kako u sektoru voda tako i u ostalim sektorima. Samim tim poznavanje režima padavina i njegova povezanost sa ostalim komponentama hidrološkog ciklusa je od velikog značaja. Režim padavina predstavlja njihovu prostornu i vremensku raspodelu na određenom području. Kada se govori o režimu padavina, generalno se to odnosi na vremensku raspodelu srednje mesečnih i godišnjih vrednosti ali

obuhvata i učestalost gornjih i donjih ekstrema padavina. Na osnovu podataka o režimu padavina u Republici Srbiji (SUVRS do 2034, 2017) prosečna visina godišnjih padavina u Republici Srbiji iznosi oko 730 mm, ali je prostorna raspodela režima padavina izrazito heterogena sa godišnjim visinama u rasponu od oko 550 mm na severu do preko 1000 mm u planinskim predelima. Godišnje sume padavina se povećavaju od istoka ka zapadu zemlje kao i sa porastom nadmorske visine, te je u planinskim predelima vertikalni gradijent padavina od 26 do 40 mm/ 100 m. Što se tiče unutar godišnje raspodele padavina, najveće količine kiše su osmotrene u periodu maj – juli, dok je sušni period od jula do septembra.

Pored prostorne i vremenske raspodele srednje mesečnih i godišnjih vrednosti, od značaja za sektor voda je poznavanje i režima jakih kiša i sušnih perioda. Širok dijapazon hidrološke problematike od zaštite tla od erozije do maksimalnih protoka, naročito na malim slivovima, obično je vezan za pojavu kratkotrajnih jakih kiša (Srebrenović, 1986) a samo visina sloja ili trajanje kiše, ako se posmatraju odvojeno, ne daju informacije da li se radi o kratkotrajnoj jakoj kiši, to se dobija na osnovu intenziteta kiše koji predstavlja odnos visine sloja kiše i trajanja kiše. Krajnji cilj analiza jakih kiša je dobijanje zavisnosti intenziteta, trajanja i povratnog perioda kiše, ovo je naročito važno za ocenu velikih voda sam malih slivova na kojima nisu vršena merenja (Jovanović, 1990). Za male slivove je karakteristično da padavine koje su prouzrokovale veliku vodu (kratkotrajne jake kiše) obično padaju nad celim slivom (Žugaj, 2010). Prilikom analize gornjih ekstrema, prvi korak je definisanje vremenskog perioda koji se analizira i formiranje nizova izdvajanjem maksimalnih vrednosti – godišnjih maksimuma (za N godina) ili formiranje nizova pikova. Vremenske serije godišnjih maksimuma obuhvataju samo jednu vrednost za svaku godinu. Kako se primenom ovog pristupa mogu izgubiti podaci o ekstremima koji su po veličini manji od maksimalne godišnje vrednosti u jednoj godini, a veći od maksimalnih padavina u nekoj drugoj godini, u analizi maksimalnih padavina i ostalih hidroloških promenljivih koristi i metoda izdvajanja nizova pikova godišnjeg prevazilaženja (Chow, 1953) ili prekoračenja preko praga (Madsen i dr., 1997). Na ovaj način se obuhvataju najveće vrednosti za ceo period osmatranja, bez obzira na godinu u kojoj su osmotrene. Iako ovaj pristup rangiranja podataka omogućava bolji uvid u podatke, ova metoda ima mnogo manju primenu u praksi od godišnjih maksimuma u analizi jakih kiša. Nakon toga se primenjuje neka od teorijskih raspodela za analizu ekstrema. Yevjević (1971) navodi da samo par ovih raspodela daju dobro slaganje sa osmotrenim podacima, dok Zelenhasić i Ruski (1991) navode da Log – Pearson III spada u tri najbolje metode za analizu

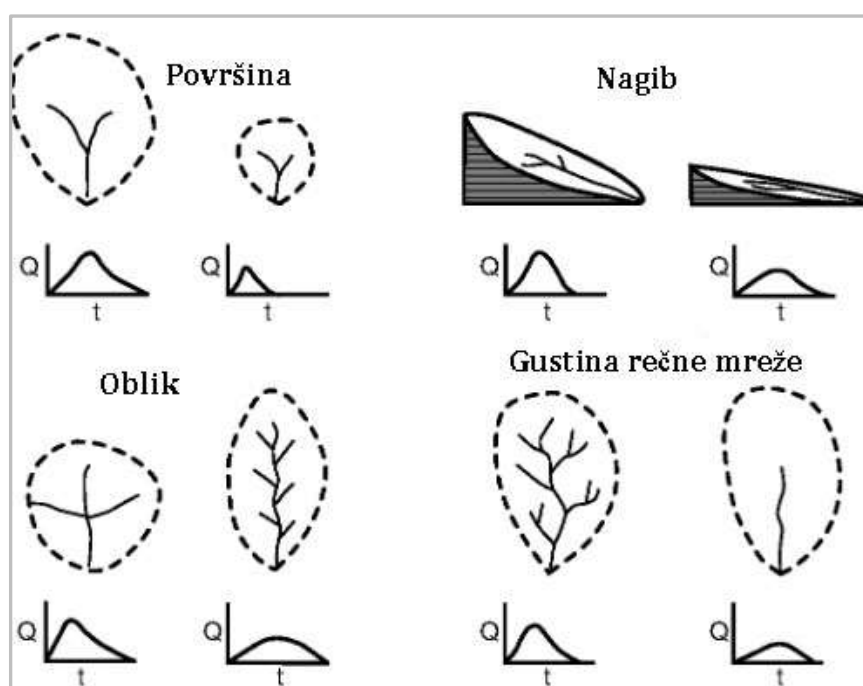
i određivanje učestalosti jakih kiša. S druge strane svetska meteorološka organizacija navodi da najširu upotrebu ima Gumbelova metoda za analizu frekvencije jakih kiša. Za ovu raspodelu Chow (1964) navodi da daje manje vrednosti gornjih ekstrema za male učestalosti a do sličnih zaključaka su, između ostalih, došli i Koutsoyiannis i Baloutsos (2000) za velike povratne periode ali su za manje povratne periode zaključili da Gumbel – ova raspodela dobro određuje učestalost kratkotrajnih jakih kiša. I pored oprečnih mišljenja, ova metoda za analizu kratkotrajnih jakih kiša i dalje ima najširu upotrebu u naučnoj i stručnoj zajednici.

Iako informacije o kratkotrajnim kišama jakog intenziteta imaju široku primenu u praksi kao što je dobijanje računskih kiša, ulazni podatak za mnoge studije (zaštita od štetnog dejstva voda, zaštita voda od zagađenja) kao i za projektovanje, vremenske serije osmotrenih podataka i dovoljno dugog niza nisu lako dostupne, kako širom sveta tako i u Republici Srbiji. Veoma često su u upotrebi ITP (intenzitet – trajanje- povratni period) krive koje su u stvari matematički izraz odnosa intenziteta, trajanja i povratnog perioda za određeni lokalitet i povratni period. Najčešće korišćen oblik ovih krivih je zasnovan na Šermanovoj (Sherman, 1931) formuli. U najopštijem obliku, intenziteti kiša različitih trajanja određuju se na osnovu koeficijenata a , b , c koji se dobijaju lineranom regresijom i primenom metoda najmanjih kvadrata na osnovu osmotrenih vrednosti kratkotrajnih jakih kiša (od 5 do 1440 minuta) i za različite povratne periode. Ove krive su definisane i dostupne za široku primenu u nekim delovima sveta kao što su Kanada, Indija, Šri Lanka, Namibija, Velika Britanija, Sjedinjene Američke države, Australija, i tako dalje, što olakšava izučavanje gornjih ekstrema jakih kiša kao i primenu u praksi (Vasiljević, 2007). Kako podaci o osmotrenim jakim kišama dovoljno dugog niza godina osmatranja nisu lako dostupni razvijeni su matematički modeli za analizu kratkotrajnih jakih kiša na osnovu suma dnevnih padavina. Srebrenović (1986) je na osnovu analize suma dnevnih padavina na 22 stanice razvio metodu za dobijanje vrednosti kratkotrajnih jakih kiša a Janković (1994) je analizirao podatke za 30 pluviografskih stanica u Srbiji bez popunjavanja vremenskih serija razvio matematičku metodu koja je verifikovana poređenjem sa registrovanim kratkotrajnim kišama.

2.1.3 Retencioni kapacitet sliva i direktan površinski oticaj

Geneza oticaja na prvom mestu zavisi od intenziteta padavina i njihove vremenske raspodele. Kada je intenzitet kiše veći od kapaciteta zadržavanja vode na slivu sledi niz događaja koji dovode do površinskog oticaja (Srebrenović, 1986). Dok su padavine vrlo neregularne u vremenu i

prostoru to se ne može reći za oticaj (Zelenhasić i Ruski, 1991) zbog kapaciteta sliva da zadrži (retenzira) padavine. Iskustvo je pokazalo da što je veći retencioni kapacitet sliva režim direktnog površinskog oticaja (količine i brzina) vode sa sliva je ravnomerniji a razlika između diskontinuiteta padavina i kontinuiteta oticaja raste (Jevđević, 1956). Na retencioni kapacitet sliva utiču mnoge karakteristike kao što su veličina, oblik, nagib (Žugaj, 2010), vegetacioni pokrivač, vrsta tla, prethodni uslovi vlažnosti tla, geološke osobine površinskog sloja i njegov pedološki sastav, i drugo (Chow i saradnici, 1988). Uticaj vegetacionog pokrivača, na prvom mestu šuma, na režim oticaja i erozionih nanosa je odnos površine pod šumom i površine sliva, a istraživanja su pokazala da ukoliko je ovaj koeficijent bliži jedinici kolebanje režim voda na slivu je ujednačeniji i manja su kolebanja vodostaja na izlaznim profilima sa sliva (Gavrilović, 1972). Na slici 2.3 dat je prikaz uticaja nekih od karakteristika sliva, koje su nepromenljive, na oblik i vreme podizanja hidrograma na izlaznom profilu sliva.



Slika 2.3 Uticaj odabranih karakteristika sliva na oblik hidrograma na izlaznom profilu sliva. Prilagodila B.Matić na osnovu: Simonović, 2012.

Na osnovu literature (Jevđević, 1956., Žugaj, 2010) prilikom analize ovih karakteristika, osim za površinu sliva, koriste se različite empirijske formule kojima se izražava koeficijent koncentrisanosti sliva (Gravelius, Horton, Srebrenović), kod Gavrilovića (1972) ova karakteristika se naziva koeficijent oblika sliva. U zavisnosti od empirijskog izraza za određivanje

ovog koeficijenta potrebni su podaci o obimu, površini, dužini sliva, dužini od izlaznog profila do težišta sliva. Najčešće korišćeni padovi koji se koriste u hidrološkim analizama su nagib sliva, nagib toka i uravnati pad (Zelenhasić i Ruski, 1991) za čije određivanje je potrebno utvrditi visinske razlike i dužine toka i sliva. Sa porastom nagiba i približavanjem koeficijenta oblika sliva jedinici hidrološki uslovi na slivu su nepovoljniji. Jedna od najvažnijih karakteristika oticaja sa sliva je koeficijent oticaja koji daje odnos efektivne i bruto kiše, u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač (krive oticaja - CN) SCS (NRCS) metoda koji služi za izračunavanje maksimalno potencijalnog retencionog kapaciteta sliva za različite prethodne uslove vlažnosti u kojoj je početni gubitak (intercepcija, infiltracija i površinsko akumuliranje padavina) 20% od maksimalnog retencionog kapaciteta sliva. Ovaj odnos je empirijski dobijen na osnovu analiza velikog broja eksperimentalnih slivova (Đorović, 1984; Chin 2000), Iako ima predloga da se ova metoda modifikuje (Jain i dr., 2006, Lumont i dr., Pandit i Heec, 2009) oni nisu široko prihvaćeni, ali prilikom primene CN metode treba imati na umu njenu osnovnu, namenu da omogućí procenu uticaja korišćenja zemljišta, vrste tla i vegetacionog pokrivača na direktni površinski oticaj (Chin, 2000).

Na neizučnim slivovima ili delimično izučnim slivovima, na profilima za koje se procenjuje oticaj sa sliva, veoma često nisu vršena hidrološka merenja. U takvim situacijama vrši se ocena oticaja primenom empirijskih metoda i formula. Za definisanje odnosa padavine oticaj za određivanje ocene vršnog proticaja sa slivova, uglavnom urbanih čija je površina manja od 10 km², u praksi se često koristiti Racionalna metoda. Ova metoda ne uključuje faktore koji utiču na oticaj kao što su vreme kašnjenje sliva i efekte retenziranja vode na slivu.

Model koji ima široku primenu za transformaciju hijetograma neto kiša jakog intenziteta u hidrogram direktnog oticaja vode sa sliva je jedinični hidrogram. Na osnovu hidrološke literature (Jevđević, 1956; Chow i saradnici, 1998) ovaj model je prvi razvio Sherman 1932. godine, koji je definisao jedinični hidrogram kao površinsko slivanje vode, bez uključivanja oticaja od podzemnih voda, usled efektivnih kiša visine 1 inč (za SI sistem se kod različitih autora može naći 1mm ili 24.5 mm) trajanja kiše T časova koja je ravnomerno raspoređena nad celim slivom. Neke od osnovnih karakteristika jediničnog hidrograma su da on zavisi od prirodnih karakteristika sliva (nagibi terena, vegetacioni pokrivač, retencioni kapacitet sliva, i drugo) koji direktno utiču na njegov oblik što je odlučujuće za pojavu velikih voda (Jevđević, 1956). Ordinate jediničnog

hidrograma su u direktnoj zavisnosti od trajanja kiše i ne zavise od visine padavina kako navode Chow i drugi (1998) pa je vremensko trajanje direktnog površinskog oticaja praktično konstanta. Primena modela jediničnog hidrograma nije dala dobre rezultate za oticaj koji se javlja usled topljenja snega i leda, pa se u tim slučajevima ne preporučuje njegova primena (Chow i drugi, 1998) isti autori ističu da, iako je model originalno razvijen za veće slivove, iskustvo u njegovoj primeni pokazalo da je primenljiv i na manje slivove površine od 0.5 ha do 25 km, i da treba izabrati kratkotrajne kišne epizode jer će one verovatno proizvesti dobro definisan vršni maksimalni proticaj i hidrogram sa kratkom vremenskom bazom. Jevđević (1956) ukazuje da prilikom izbora trajanja kišne epizode treba voditi računa o površini sliva tako da za veće slivove (1000 – 2000 km²) jedinica od jednog dana je primenjiva, dok za slivove površine 50 km² trajanje kiše za koje se određuje jedinični hidrogram treba da je 2 časa, a za manje slivove treba usvojiti trajanje kiše od 1/3 do 1/4 okvirnog vremena koncentracije.

Definisanje veze između hidrograma direktnog oticaja i padavina ima veliki značaj u praksi i model jediničnog hidrograma je u širokoj upotrebi koja je dosta olakšana tehnološkim razvojem i većom dostupnošću podloga u digitalnom formatu, ali nije primenljiv za neizučene slivove na kojima ne postoje osmatranja. U tim situacijama široku primenu je našao model sintetičkog jediničnog hidrograma (SJH) za okvirno određivanje procesa oticaja sa slivu za kratkotrajne jake kiše koje se vrši na osnovu empirijskih formula koje daju zavisnost oticaja sa sliva i vremenske baze hidrograma u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač, padova, dužine toka i drugo. Ovaj model se zasniva na Šermanovoj metodi jediničnog hidrograma ali je u neku ruku pojednostavljen, jer se aproksimacija krivolinijskog (realnog) hidrogram predstavlja trouglom. Sintetički jedinični hidrogrami se mogu odrediti i grafičkim metodama (SCS TR – 55 metoda) ili nekom od empirijskih formula. Grafička metoda nije preporučljiva za slivove koji nisu hidrološki homogeni, zato što se bazira na pretpostavci da su zemljišni pokrivač kao i namena zemljišta uniformni na celom slivu (Jovanović, 1990). Takođe, vreme koncentracije za sve vodotoke treba da je približno isto, što nije slučaj u realnosti. Pored toga za ovu metodu važe granični uslovi, da za vrednosti krivih oticaja koje su manje od 40 i veće od 95 njena primena nije moguća. Jedan od prvih koraka primene metode Sintetičkog jediničnog hidrograma (SJH) je određivanje vremena kašnjenja sliva. Kako se može naći u literaturi (Zelenhasić i Ruski, 1991) na osnovu podataka za 20 slivova, u Americi, Snajder (1938) je razvio metodu za određivanje jediničnog hidrograma za neizučene slivove. Kod ovog metoda osnovne karakteristike sliva su dužina glavnog vodotoka i

dužina toka od težišta sliva do izlaznog profila kao osnovni podaci za izraz kojim se definiše vreme kašnjenja sliva. Daljem razvoju metode sintetičkog jediničnog hidrograma (SJH) doprineli su Linsley, Kohler i Paulhus (Zelenhasić i Ruski, 1991.) koji su predložili matematički izraz za vreme kašnjenja sliva koji uključuje i uravnati pad toka i koeficijent koji je u funkciji veličine i karakteristika sliva (ravničarski, planinski). Jovanović i Radić su, na osnovu podataka više eksperimentalnih slivova na slivu Velike Morave razvili empirijske jednačine čiji se detaljan prikaz može naći u literaturi (Jovanović i Radić, 1986) za određivanje vremena kašnjenja sliva u zavisnosti od dužine toka, dužine od težišta sliva do izlaznog profila, uravnatog pada i regresionog koeficijenta koji zavisi od površine sliva. Vršni proticaj se primenom ove metode određuje na osnovu efektivnih kiša (visina sloja oticaja) u funkciji trajanje kiše, hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač i površine sliva. Dok se vreme podizanja hidrograma određuje na osnovu trajanja kiše, vremena kašnjenja jediničnog hidrograma u funkciji dužine glavnog toka, dužine od težišta sliva do izlaznog profila i uravnatog pada toka i koeficijenta a koji zavisi od površine sliva, autori navode da za slivove površine do 30 km² ovaj koeficijent iznosi 0.3. Kako je odnos vremena podizanja i retardacije hidrograma se sliva stalno i definisano je faktorom K koji zavisi od površine sliva, vreme retardacije (T_r) se određuje na osnovu vremena podizanja hidrograma (T_p) računa se na ovaj način.

2.1.4 Aktuelni stavovi analiza režima padavina i uticaja na upravljanje vodama

Kako na globalnom nivou, tako i u Republici Srbiji do sredine prošlog veka se smatralo da analize i sinteza osmotrenih vremenskih nizova padavina daju dovoljnu količinu informacija i da se informacije iz prošlosti mogu smatrati kvalitetnim ulaznim podacima za izradu studija, strateških i planskih dokumenta i projektovanje. Uočeni porast temperature na globalnom nivou sredinom prošlog veka koji je evidentan (IPCC: Summary for Policymakers, 2013) je privukao pažnju naučne i stručne javnosti, što za rezultat ima promenu paradigme u vezi ulaznih podataka i informacija neophodnih za buduće upravljanje vodama i kao i za ostale sektore. Jedan deo naučne i stručne javnosti ove varijacije pripisuje uglavnom ljudskim aktivnostima koje izazivaju porast koncentracije gasova staklene bašte (IPCC, 2007), dok drugi deo smatra da su promene klime prirodan proces kako je opisano teorijom Milankovićevih ciklusa koji opisuju geometrijske varijacije u odnosu Sunce – Zemlja koji utiču na količinu sunčevog zračenja koje dospeva na Zemlju (Hays i dr. 1976). Bez obzira na uzrok promena, njihov potencijalni uticaj na upravljanje vodama, zajedno sa ostalim uticajima kao što su promena namene zemljišta, treba razmotriti, da

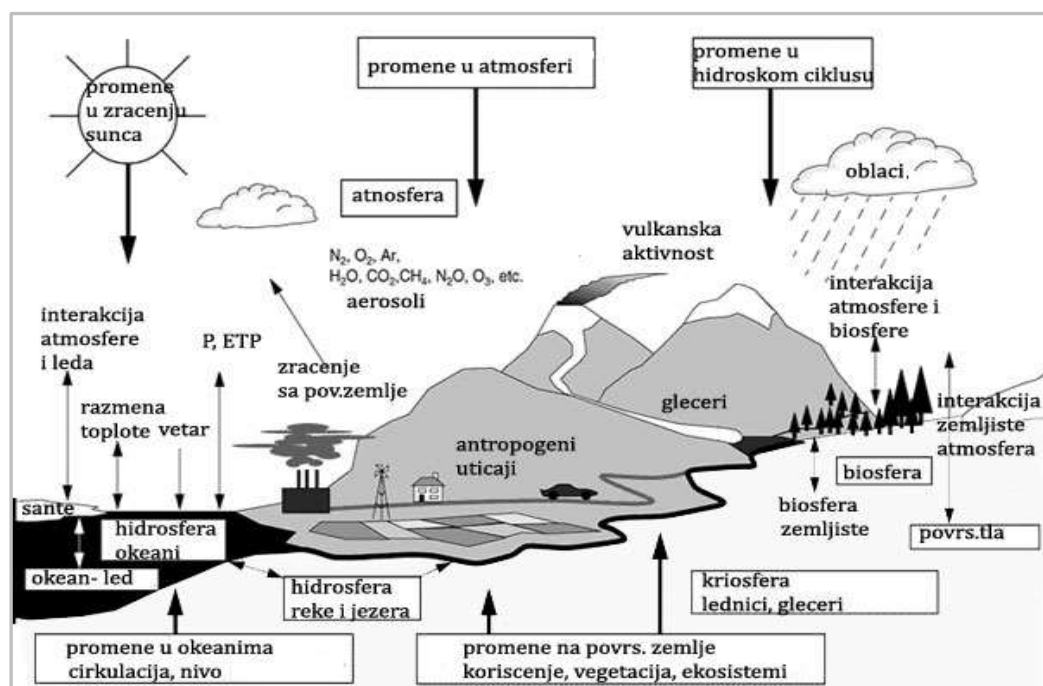
bi se u skladu sa njima definisale aktivnosti na lokalnom, nacionalnom i regionalnom nivou (slivovi međunarodnih reka). Mada je fenomen klimatskih promena u fokusu od devedesetih godina prošlog veka, uticaj koji povećana koncentracija gasova staklene bašte ima na klimu izučavali su mnogi naučnici (Fleming, 1998) pre više od jednog veka (Marriote 1681; Benedict de Saussure, 1760; Fourier 1824, Tyndal, 1861). 1989. godine danski naučnik Arrhenius prvi je pojasnio ono što se danas naziva efektom staklene bašte.

Izučavanje uticaja ovih promena na režim padavina i hidrološki ciklus i njegove ostale komponente obično se zasniva na dva metodološka pristupa, primena statističkih analiza na serije osmotrenih podataka i primena klimatoloških modela (General Circulation Models – GMC, Regional Circulation Models – RCM, i tako dalje) kojima se za odabrana scenarija daje projekcija meteoroloških i hidroloških promenljivih od značaja za sektor voda. Statističke analize osmotrenih vremenskih serija padavina i proticaja uključuju raznovrsne metode i pristupe, u zavisnosti od toga da li se izučavaju prosečne vrednosti, ekstremi (jake kiše, velike vode, beskišni periodi, male vode, i drugo), da li se trendovi analiziraju za ceo niz, ili se dekompozicijom dobijaju dva ili više pod nizova koji će omogućiti bolje razumevanje eventualnih promena u režimu padavina i proticaja. Kako dovoljno dugačke vremenske serije osmotrenih podataka, nisu dostupne u mnogim delovima sveta, ovo se naročito odnosi na intenzivne kratkotrajne kiše, kao odgovor na ovaj nedostatak klimatološka komisija svetske meteorološka organizacija (the World Meteorological Organization–Commission for Climatology - WMO–CCL)WMO) je preporučila indekse (27) za procenu ekstrema u vremenskim serijama osmotrenih podataka (WMO- CCL, 2009) padavina i temperature, da bi se dobili rezultati koji su uporedivi i poboljšalo razumevanje eventualne promene u ekstremima temperatura i padavina.

Potencijalne promene verovatnoće pojave jakih letnjih kiša u 8 zemalja (Australija, Kanada, Kina, Meksiko, Norveška, Poljska, Rusija i Sjedinjene Američke države) na osnovu vremenskih serija osmotrenih dnevnih padavina analizirali su Groisman i saradnici (1999). Na osnovu analiza usvojenih graničnih vrednosti zaključeno je da porast srednjih vrednosti padavina za 5% u toku letnje sezone (jun, jul i avgust za severnu hemisferu i decembar, januar i februar za južnu hemisferu), sa nepromenjim brojem dana sa kišom, generiše porast verovatnoće pojave jakih kiša u proseku za 20%. U severnoj Italiji analiza trendova (Mann- Kendall test) intenziteta dnevnih padavina na 5 lokaliteta obuhvatila je analize godišnjih i sezonskih padavina, broj dana sa kišom,

dnevnu visinu vodenog taloga i udeo dnevnih padavina u 5 različitih klasa (Brunetti i dr., 2000) koji su uočili rastući trend za padavine koje su veće od 25 mm i da se statistički značajni trendovi (opadajući i rastući) javljaju u zadnjih 60-80 godina. Na osnovu indeksa Svetske meteorološke organizacije (WMO-CCL, 2009) Klein Tank i Können (2010) su izučavali trendove ekstrema u serijama dnevnih osmotrenih podataka na više od 100 meteoroloških stanica širom Evrope. Analize kojima su obuhvaćene tri vremenske serije (1946-99, 1946-75 i 1976-99) ukazuju na rastući trend na većini lokaliteta, ali ne postoji uniformnost u pogledu prostorne raspodele. Za stanice na kojima je identifikovan porast godišnje sume padavina, indeks koji reprezentuje udeo dana sa velikom količinom padavina u godišnjim sumama padavina ukazuje na nesrazmerno veliki porast ekstrema, dok je na lokaliteta sa opadajući trendom suma godišnjih padavina ovaj trend umereniji. Za teritoriju Republike Srbije primenom dva scenarija, SRES-A1B i SRES-A2 za referentni period 1960 – 1990 a projekcija se odnosi na period 2071-2100(Kržić i dr., 2011) su analizirali promene za odabrane WMO indekse na osnovu osmotrenih vrednosti temperature i padavina na 17 lokacija. Rezultati ukazuju da se u budućnosti može očekivati smanjenje sume padavina za 6 mm u proleće a povećanje za oko 13 mm tokom zimskog perioda. Oba modela ukazuju na veći intenzitet jakih kiša, to jest porast broja dana sa padavinama većim od 10 mm. Promene temperature i padavina utiču na hidrološki ciklus Houghton i dr., (2001) a samim tim na činioce bilansa voda, režima voda i upravljanje vodama zbog uzročno posledičnih veza koje su prikazane na slici 2.4.

Burn i Elnur (2002) su izučavali trendove za 18 hidroloških promenljivih (srednji, maksimalni i minimalni godišnji proticaj, srednji godišnji proticaj, i drugo) za 248 slivova širom Kanade, za vremenske serije od minimum dvadeset godina osmotrenih podataka. Pored toga, za pojedine lokalitete procenjivali su korelaciju za odabrane hidrološke i meteorološke promenjive. Statistički značajan rastući trend je identifikovan za mesečne proticaje u martu i aprilu, dok je za Jun i Oktobar ovaj trend opadajući ali nisu uniformni za sve lokacije. Slični trendovi su zapaženi i za korelaciju između hidroloških i meteoroloških promenljivih sa promenama trenda krajem šezdesetih godina prošlog veka.



Slika 2.4 Šematski prikaz komponenti globalnog klimatskog sistema. Modifikovala B.Matić na osnovu: IPCC, 2001.

Na slici 2.4 deblje strelice u okrenute ka površini zemlje se odnose na komponente globalnog klimatskog sistema, tanke strelice su procesi i veze komponenti globalnog klimatskog sistema i kopnenih sistema, dok su deblje strelice okrenuti ka atmosferi neki od aspekata koji se mogu promeniti.

Bruce i Dickinson (2005) su zbog uticaja kratkotrajnih jakih kiša na erozione procese analizirali uticaj promene intenziteta kratkotrajnih jakih kiša na odabranim lokalitetima u Kanadi i zaključili da se na osnovu analiza trendova osmotrenih podataka može očekivati porast intenziteta erozije za oko 15% na desetogodišnjem nivou. Vasiljević i saradnici (2007, 2012, 2013) analizirali uticaj promene intenziteta padavina na ITP krive u Ontariju, na osnovu osmotrenih podataka za kiše trajanja od 5 do 1440 minuta na 13 lokacija širom Ontarija, i pokazali da se na osnovu dobijenih vrednosti intenzitet kratkotrajnih jakih kiša menja i da su rezultati statistički značajni. Analiza uticaja na upravljanja vodama sprovedena je primenom ITP krivih u modelu za postojeći sistem za atmosfersku kanalizaciju a rezultati su pokazali da, se zbog promene intenziteta kratkotrajnih jakih kiša, može očekivati smanjenje efikasnosti analiziranog sistema za 40%. Allamano i saradnici (2009) su izučavali uticaja promene padavina i temperature na proticaje u planinskim predelima, na osnovu osmotrenih vremenskih serija, i zaključili da promene meteoroloških

promenljivih utiču na hidrološke promenljive. Oni su proučavali i uticaj nadmorske visine na promene učestalosti proticaja u zavisnosti od promene padavina i temperature, i pored ostalog, zaključili da promene temperature i padavina na 2000 m.n.v utiču na proticaj tako da se može očekivati povećan intenzitet za 4.6 puta, pa 100 godišnji proticaj postaje dvadesetogodišnji. Koutroulis i saradnici (2013) su primenom klimatoloških modela utvrdili da osmotrene i projektovane promene padavina utiču na dostupnost vodinih resursa na Kritu i zaključili da klimatske promene imaju značajnu ulogu u upravljanju vodama te da je neophodno značajnije uključiti mere adaptacije u planove i strategije na lokalnom nivou. U odnosu na broj studija koje izučavaju uticaj klimatskih promena na padavine i temperaturu, broj studija koje se bave izučavanjem promena hidroloških promenljivih je zanemarljiv kako navode Stojković i drugi (2104). Oni su primenom Mann- Kendall testa analizirali prisustvo trendova i višegodišnjih vodnih i sušnih ciklusa u vremenskim serijama standardizovanih i osrednjenih sezonskih i godišnjih proticaja na reci Savi. Rezultati su pokazali opadajuće trendove, što je slučaj i na širem području (Dunav, Velika Morava, Lim) sem za Tisu gde je uočen porast proticaja. Dimkić (2016) je analizirao trendove u vremenskim serijama osmotrenih dnevnih temperatura, padavina proticaja u Republici Srbiji ispostavio korelaciju ove tri promenljive. Na osnovu originalno razvijene metodologije autor je došao do zaključka da, u proseku, porast temperature od 1°C dovodi do smanjenja padavina za oko 7 %, i prosečnog proticaja za oko 20% uz naznaku da ove vrednosti variraju od sliva do sliva. Bisselink i saradnici (2018) su na osnovu simulacije budućih projekcija analizirali uticaj promene klime, korišćenja zemljišta i korišćenja voda na slivu Dunava. Neki od zaključaka su da se sa povećanjem prosečne temperature za 2°C može očekivati povećanje količine padavina povećanje rizika od poplava, dok se tokom letnjih meseci može očekivati smanjenje padavina naročito u južnim delovima sliva Dunava. Za glavni tok Dunava projektovano je povećanje maksimalnih proticaja, u odnosu na sadašnje klimatske prilike, od 10-20%. Zbog očekivanog povećanja urbanizacije u nekim od glavnih gradova država koji se nalaze na obalama Dunava (Beč, Budimpešta, Beograd) očekuje se povećanje rizika usled štete od poplava.

Uprkos porasta studija koje izučavaju uticaj meteoroloških varijabli na hidrološke promenljive, a samim tim i na upravljanje vodama (Bates i dr., 2008), veliki stepen nepouzdanosti u vezi budućih promena je prisutan i utiče na upravljanje vodama (IPCC, 2012; ICPDR, 2013 i 2018). Matić i saradnici (2015) su u radu koji daje predlog mera adaptacije sektora voda na klimatske promene

primenili metodu za procenu nepouzdanosti opisanu u ICPDR (2013, 2018) za slučajne procese i događaje (suše, poplave, erozije) koje utiču na upravljanje vodama i uticaj klimatskih promena na njih u Republici Srbiji. Visoka pouzdanost postoji za povećanje nestašica vode, povećanje intenziteta suše i područja koja su pogođena sušom i porast vremenskog trajanja perioda malih voda u rekama. Umerena pouzdanost postoji za porast intenziteta malih voda u rekama bez uzvodnih rezervoara i porast poplava na rekama srednje veličine. Negativan uticaja klimatskih promena na povećanje problema vezanih za kvalitet vode (direktnih / indirektnih) i intenziviranje erozionih procesa , bujica i poplava na malim rekama su ocenjeni kao umereno pouzdani i visoko nepouzdan. Dok za porast poplava na velikim rekama i velikim površinama postoji visoka nepouzdanost u vezi uticaja klimatskih promena.

Sve ovo čini razmatranje mera za adaptaciju na klimatske promene velikim poduhvatom. Aktuelni stavovi u vezi ovoga su preporuka mera koje su takozvane “low regret measures” i “win – win” mere. Prve se uglavnom odnose na mere koje bi se svakako primenile i bez razmatranja uticaja klimatskih promena, dok se druga grupa mera odnosi, uglavnom, na mere koje povezuju ciljeve upravljanja vodama i drugih sektora (životne sredine, šumarstva, prostornog planiranja, poljoprivrede) ili izbor mera za smanjenje rizika od poplava koje doprinose ostvarenju ciljeva životne sredine kao što je navedeno u (EU, 2014). Veliki broj dokumenata i uputstava koji su publikovani u poslednje kako na nivou EU a tako i na globalnom nivou (UN, IPCC) preporučuju primenu mera koje će poboljšati usluge ekosistema i na taj način umanjiti potencijalne negativne efekte klimatskih promena na upravljanje vodama (UNEP, 2008; EU BSEWR, 2012; IPCC, 2018), sa posebnim akcentom na povećanje retencionog kapaciteta sliva a zajednički naziv svih mera od značaja za sektor voda su prirodne mere koje doprinose kapacitetu sliva da retenzira vodu (NWRM).

2.2 UPRAVLJANJE VODAMA NA SLIVU

2.2.1 Faze razvoja i savremeni pristup upravljanju vodama

Upravljanje vodama je kompleksan splet međuzavisnih aktivnosti, koje utiču na režim voda i njihov kvalitet, korišćenje voda i zaštitu od štetnog dejstva voda, usled čega obuhvata mnoge domene ljudske delatnosti i predstavlja jedan ogroman sistem, od čijeg ispravnog funkcionisanja zavisi stanje i opstanak ljudske zajednice (Dimkić i saradnici, 2007). Upravljanje vodama je potrebno sagledavati na globalnom, regionalnom i lokalnom nivou zbog njihovih specifičnosti

(Dimkić i saradnici, 2011). Zbog veze ljudskog društva i voda, upravljanje vodama postoji od kad postoji civilizacija, i može se reći da je prošlo kroz tri osnovne faze prikazane u tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Faze korišćenja i upravljanja vodama. Za tabelarni prikaz prilagodila B.Matić na osnovu: Dimkić i saradnici, 2007.

| | |
|--------------------------------------|---|
| Prva Faza: Izobilje | Korišćenje i zagađenje voda je malo u odnosu na ukupne resurse |
| Druga Faza: Raubovanje | Korišćenje i zagađenje voda je značajno u odnosu na ukupno dostupne resurse tako da dolazi do postepenog raubovanja resursa |
| Treća Faza: Održivi razvoj | Zahteva se takvo upravljanje vodama, koje će očuvati njihov dobar status i neće raubovati resurse na uštrb budućnosti |

Savremeno upravljanje vodama je zasnovano na principima održivog razvoja i upravljanja vodama na nivou sliva da bi se omogućilo adaptivno i integralno upravljanje vodama i zadovoljile potrebe ne samo ljudske zajednice, nego i ekosistema. Pored toga sektor voda je podrška razvoju svih ostalih sektora, pa upravljanje vodama nije moguće posmatrati izolovano. Intenzivan razvoj, urbanizacija, koji su prouzrokovali povećanje korišćenja voda, doveli su do značajnog porasta potreba za vodom i zagađenja voda (Miloradov, 1992).

Na osnovu UN Agende 21 (1992), kao odgovor na sve veće pritiske na vodne resurse, neophodno je vodama upravljati tako da omogući održivi razvoj društva, socijalna pravičnost i održivost životne sredine koji čine stubove održivog razvoja. Održivo i adaptivno upravljanje vodama je, sredstvo za očuvanje i zaštitu vodnih resursa kao i adaptaciju na globalne promene koje se odnose na klimatske promene, prirodna i socijalna ograničenja i moguće socio – ekonomske promene u budućnosti (Dimkić i Pavlović, 2012).

Da bi se ovi principi upravljanja vodama ostvarili neophodna je saradnja svih sektora i uvažavajući pravednost, ekonomski razvoj i očuvanje životne sredine, uz odgovarajući zakonodavni i institucionalni okvir što daje okvir za integralno upravljanje vodnim resursima. Kako navode Mayfield i saradnici (2004) integralno upravljanje vodnim resursima, na nivou sliva, nastoji da integriše veliki broj procesa kao što su hidrološki ciklus, prirodne karakteristike sliva, održivost životne sredine, ekonomiju, institucionalni i zakonodavni okvir, kao što je prikazano na

slici 2.5, na kojoj se Q odnosi na površinski i podpovršinski oticaj, što je slučaj i sa zalihama (rezervama vode) koje obuhvataju i površinske i podzemne vode.



Slika 2.5 Šematski prikaz IWRM. Modifikovala B.Matić na osnovu: Mayfield i saradnici, 2004.

Koncept adaptivnog i integralnog upravljanja vodama na slivu (reka, jezera, akvifera), kao praktične hidrološke i hidrogeološke jedinice za upravljanje vodama, integrisan je u zakonodavni okvir Republike Srbije (ZoV RS, sl. gl. RS, br. 30/2010, 93/2012 i 101/2016; SUVRS, 2017), evropske unije (ODV, 2000), kao i politike UN (UN Agenda 21, 1992; UN WWDR 4, 2012; UN SDGs, 2015).

Na nivou evropske unije i slivova međunarodnih reka kao što su Dunav, Sava, Tisa i druge, u skladu sa zahtevima evropske direktive o vodama (ODV, 2000) planovi upravljanja rečnim slivovima sadrže kompotne oba koncepta savremenog upravljanja vodama.

Jewitt (2002) ukazuje da pristup IWRM ne razmatra ekosisteme u svetlu kompeticije sa ostalim korisnicima voda, nego kao osnovu koja pruža resurse i koja može poslužiti kao osnova za održivi razvoj, te stoga jedan od ciljeva IWRM treba da bude održavanje i poboljšanje stanja (kada je to moguće) ekosistema. Ovaj pristup zahteva evaluaciju hidrološkog ciklusa da bi se identifikovale njegove karakteristike koje su bitne za usluge ekosistema, upravljanje vodama, na osnovu socio – ekonomskih indikatora i indikatora biodiverziteta, i bolje razumela veza između tri stuba IWRM

hidrologije, karakteristika sliva i socio – ekonomskih komponenti. Na osnovu procene ovih međuzavisnosti u Južnoj Africi, autor izražava bojazan i ističe da postoji opasnost da će dotadašnji pristup upravljanja vodama biti nastavljen pod okriljem IWRM što će za rezultat imati nemogućnost prirodnih sistema (ekosistemi) da omoguće dobra i usluge.

U priručniku koji su zajedno publikovali GWP i INBO (2009), navedeno je da pritisci na vodne resurse ukazuju na veliku povezanost hidroloških, socio - ekonomskih i ekoloških procesa na slivu reke, jezera, akvifera (izdani), pa je usled ovih međuzavisnosti neophodan integralni pristup u upravljanju vodama i zemljištem, koji promovise koordinisan razvoj i upravljanje vodama, zemljištem i ostalim povezanim resursima, sa ciljem da se maksimizuje ekonomska i socijalna dobrobit na pravičan način, bez ugrožavanja vitalnosti ekosistema. Da bi se procenio napredak i uticaj mera i aktivnosti na implementaciji IWRM, u ovom priručniku se predlaže uvođenje indikatora kojih ne treba da bude previše, da ne unose dodatnu konfuziju, nego da budu prilagođeni situaciji koja se izučava u skladu sa prethodno postavljenim ciljevima.

U izveštaju UN upravljanje vodama pod uticajem nepouzdanosti i rizika (UN WWDR 4, 2012) navodi se da je, za upravljanje vodama na principima održivosti i pravičnosti, neophodno uključivanje mnogih drugih sektora i da IWRM može da poboljša saradnju među sektorima kao i upravljane vodama. Takođe, u izveštaju je naglašeno da, iako sveobuhvatno vrednovanje usluga ekosistema nije definisan naučna disciplina, ovaj pristup omogućava bolje razumevanje budućih odluka i pruža dobru mogućnost za uočavanje potencijalnih prioriteta u upravljanju vodama i da se treba fokusirati na one za koje je moguće dobiti okvirnu procenu, kao što je uticaj gubitka usluge ekosistema koje ima za posledicu pogoršanje kvaliteta vode usled ljudskih aktivnosti.

Iako je evidentan napredak u implementaciji paradigme adaptivnog integralnog upravljanja vodama i razmatranja NWRM na slivovima velikih međunarodnih reka (Dunav, Mekong, Sava, Tisa) za manje, neizučene slivove u gornjim tokovima velikih reka, proces još nije započeo, iako su tamo često locirane rezerve vode za piće odličnog kvaliteta (gornji tok Zapadne Morave) a sa druge strane njih najčešće odlikuje bujični karakter režima oticaja koji prouzrokuje negativne posledice na upravljanje vodama nizvodno kao što je Đetinja koja pripada slivu Zapadne Morave (Matić i Simić, 2017).

2.2.2 Ciljevi upravljanja vodama zakonodavni okvir za njihovo dostizanje

Načela, način i ciljevi upravljanja vodama u republici Srbiji definišu Zakon o Vodama Republike Srbije ("Sl. glasnik RS", br. 30/2010, 93/2012 i 101/2016) i Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine ("Sl. glasnik RS", br.3/2017) i zasnovani su na principima adaptivnog i integralnog upravljanja vodama, na osnovu načela koja se nalaze u članu 25 (ZoVRS), koja naglašavaju održivi razvoj, celovitost, jedinstvo vodnog sistema, učešće javnosti, i drugo. Pored toga u član 32 je naznačeno da se, prilikom donošenja strategija i programa na nivou Republike Srbije dokumenta različitih sektora usaglašavaju (sektor voda, prostorno planiranje, održivi razvoj, zaštita životne sredine, i dr). U skladu sa članom 30 (ZoVRS) Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije je planski dokument koji se definišu dugoročni pravci upravljanja vodama. Na osnovu ovog dokumenta (SUVRS do 2034) strateški cilj upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije je: "Postizanje integralnog upravljanja vodama, odnosno usklađenog vodnog režima na celoj teritoriji Republike Srbije i obezbeđenje takvog upravljanja vodama kojim se postižu maksimalni ekonomski i socijalni efekti na pravičan način, uz razumevanje potrebe zaštite prirodnih ekosistema i uz uvažavanje međunarodnih sporazuma predstavlja dugoročni strateški cilj za čiju realizaciju je potrebno značajno vreme, izuzetno velika ulaganja i ljudski resursi.



Slika 2.6 Ciljevi upravljanja vodama. Za grafički prikaz oblikovala B. Matić na osnovu: Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034, 2017.

Na osnovu slike 2.6, jasno je da ostvarivanja ciljeva svake od oblasti sektora voda doprinosi ostvarenju dugoročnog strateškog cilja upravljanja vodama u Republici Srbiji (uz odgovarajući pravni i institucionalni okvir i ekonomsku politiku). Za svaki od ovih segmenata koji utiču na ostvarivanje dugoročnog strateškog cilja, definisani su specifični ciljevi koji su podjeljeni na strateške i operativne ciljeve. Na primer, za uređenje vodotoka i zaštitu od štetnog dejstva voda strateški cilj je smanjenje rizika od štetnog dejstva voda a jedan od operativnih ciljeva za zaštitu od poplava spoljnim vodama je poboljšanje retenziranja vode na slivu.

Na nivou evropske unije okvirna direktiva za vode (2000) je ključni dokument koji propisuje uspostavljanje okvira za delovanje EU u oblasti politike voda, kao i konkretne aktivnosti i rokove neophodne za implementaciju principa integralnog pristupa upravljanja vodnim resursima u zemljama članicama EU, koji se primenjuju izradom planova upravljanja slivovima. Ova direktiva se naziva još i krovna a nakon njenog donošenja donet je čitav set direktiva EU (direktiva o podzemnim vodama, 2006; direktiva o poplavama, 2007; i druge) koje detaljnije definišu ciljeve upravljanja i mere i aktivnosti za dostizanje ciljeva. Donošenjem UN WWDR4 (2010) transponovani su zahtevi ODV i ostalih direktiva evropske unije od značaja za sektor voda u Republici Srbiji.

Pored direktiva EU, na regionalnom i globalnom nivou postoji veliki broj sporazuma i konvencija koje definišu ciljeve upravljanja vodama kao što su Konvencija o zaštiti Reke Dunav (1994), Okvirni sporazum za sliv reke Save (2002), Memorandum o razumevanju na slivu Tise (2004), Konvencija o zaštiti i korišćenju prekograničnih vodotokova i međunarodnih jezera Ujedinjenih nacija (Konvencija o vodama, 1992), ESPOO Konvencija o proceni uticaja na životnu sredinu u prekograničnom kontekstu (ESPOO EIA konvencija, 1997) Protokol o zaštiti i održivom korišćenju biološke i predeone raznovrsnosti uz Okvirnu konvenciju o zaštiti i održivom razvoju Karpata (Karpatska konvencija, 2002), Agenda 2030 za održivi razvoj (SDGs – ciljevi održivog razvoja, 2015) kod koje su od naročitog značaja cilj 6 ali zbog uticaja na sve aspekte društva u celini i ostali ciljevi koji se odnose na druge sektore (zaštita životne sredine i drugo).

U radu u kome je prikazan zakonodavni okvir relevantan za bolju integraciju usluga ekosistema (snabdevanje vodom za piće) u vodosnabdevanje na međunarodnom nivou Matić i saradnici (2016) prikazuju informacija i mišljenja stručnjaka iz osam zemalja Dunavskog sliva u vezi mogućnosti integracije ESS uz uvažavanje zakonodavnog i institucionalnog okvira (nacionalnog,

regionalnog). Osnovni zaključci su da i pored odlične zamisli implementacija IWRM nije tako jednostavna u praksi (isti odgovor za zemlje koje su članice EU i koje nisu), prilikom donošenja novih dokumenta potrebno je konsultovati stručnjake koji treba da ih implementiraju u praksi. Za kraj autori ostavljaju otvorena pitanja, u vezi poboljšanja međuzavisnosti usluga ekosistema, korišćenja zemljišta i klimatskih promena, da li regulišemo previše? Trebaju li nam novi zakoni ili je dovoljno poboljšati implementaciju postojećih?

2.2.3 Mere koje doprinose ostvarivanju ciljeva upravljanju vodama

Mere služe za ostvarivanje ciljeva upravljanja vodama. Osnovna podjela mera je na investicione i ne investicione mere. U prošlosti u fazi raubovanja (tabela 2.1) mnogo više su bile zastupljene investicione (tehničke mere), sa promenom paradigme upravljanja vodama koje teži IWRM na nivou sliva, menjao se (kada je to moguće) pristup izboru mera. Veliki iskorak u tom pogledu u svetu napravljen je u domenu atmosferske kanalizacije. Verovatno jedan od prvih priručnika koji na sveobuhvatan način prikazuje neophodne korake i kriterijume za projektovanje objekata atmosferske kanalizacije, u skladu sa zahtevima kvaliteta vode koja se ispušta u recipijent i intenziteta kiše, je priručnik za razvoj sa malim uticajem (Low Impact Development) koji predlaže čitav niz mera u urbanim područjima za oponašanje prirodnih procesa (na primer infiltracija) čime se smanjuje naglo oticanje sa urbanih površina i pritisak na recipijente (Hinman, 2005). U radu koji daje prikaz ograničenja za upravljanje kvalitetom vode površinskog oticaja u Republici Srbiji, Đukuć i Ljubisavljević (2011) daju prikaz iskustava primene ovog pristupa u Velikoj Britaniji, Rusiji, Sloveniji i dozvoljene granične uslove kvaliteta vode za ispuštanje u recipijent, koji se razlikuju od države do države.

Na nivou međunarodnih reka u Evropi, mere se definišu u planovima upravljanja rečnim slivovima u okviru zajedničkog programa mera na osnovu identifikovanih značajnih izazova za upravljanje vodama (significant water management issues) a za neke međunarodne slivove i mere koje su specifične za taj sliv, kao što je Tisa u čijem planu upravljanja (Integrated Tisza River Basin Management Plan) se razmatraju i mere koje se odnose na povezivanje problema kvaliteta i količina vode. Sličan pristup kao kod planova upravljanja slivovima se primenjuje i za planove za smanjenje rizika od poplava.

Pored mera koje se sprovode za ostvarenje ciljeva upravljanja vodama u skladu sa zahtevima ODV i ostalih "sestrinskih" direktiva, zadnjih par godina je usvojeno više uputstava (GI, 2013; NWRM,

2014) sa ciljem da se promovišu mere koje doprinose smanjenju pritiska na vodne resurse, poboljšavaju usluge ekosistema (ESS) i povezuju različite politike evropske unije vezano za klimatske promene, dobar status voda, zaštitu životne sredine, smanjenje rizika od poplava i drugo.

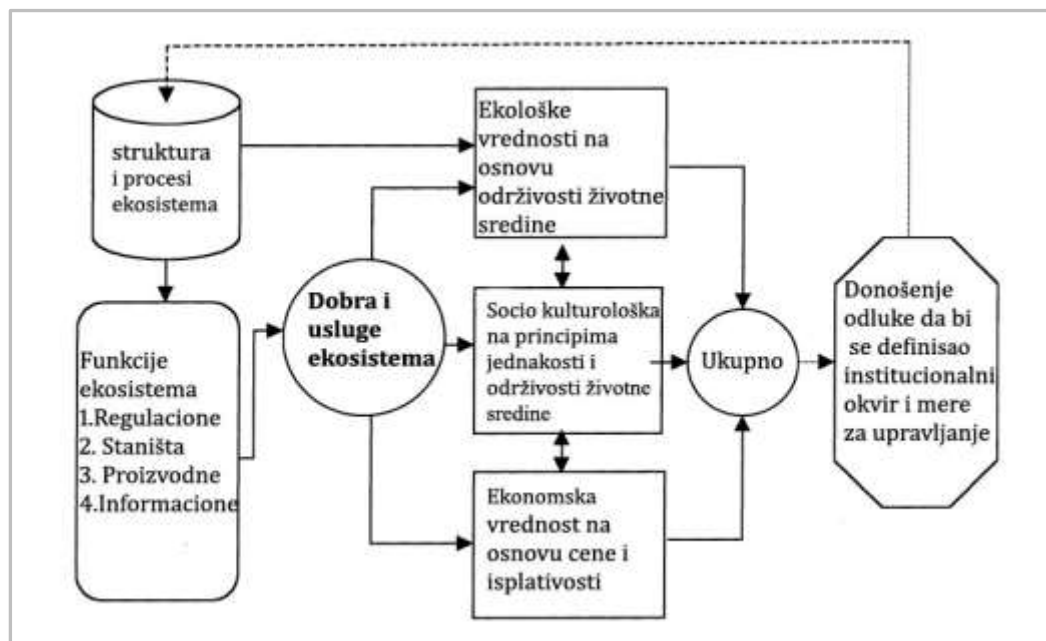
2.3 RETENCIONI KAPACITET SLIVA I UPRAVLJANJE VODAMA

2.3.1 Hidrološke usluge ekosistema

Jedno od načela upravljanja vodama u Republici Srbiji (Zakon o vodama, Sl. Glasnik RS, br. 30/2010, 93/2012 I 101/2016) je načelo celovitosti koje kaže da se procesi u prirodi, povezanost i međuzavisnost akvatičnih i priobalnih sistema moraju poštovati, slična načela važe i na nivou Evropske unije na način definisan ODV (2000) i drugim direktivama i dokumentima koja definišu politike EU (EU BSEWR, 2012). Relativno nova paradigma, koja dobija dosta prostora u naučnim i stručnim publikacijama je sagledavanje i kvantifikovanje usluga koje ekosistemi pružaju ljudskoj zajednici. De Groot i saradnici (2002) navode, da i pored velikog broja publikacija na temu ekosistemskih usluga i dobara, ne postoji jedinstven okvir za procenu i vrednovanje usluga ekosistema. U skladu s tim, oni su predložili tipologiju koja za celovit pristup vrednovanja usluga ekosistema koji je u generalnom obliku prikazan na slici 2.7, na osnovu četiri funkcije ekosistema a dobra i usluge su podeljene na ekološke, socio - kulturološke i ekonomske vrednosti koje čine ukupnu dobrobit koje ekosistemi pružaju ljudskoj zajednici.

Na osnovu (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) usluge ekosistema su dobrobiti koje ljudska zajednica ima od ekosistema i dele se u četiri osnovne kategorije. To su usluge podrške neophodne za ostale usluge ekosistema (formiranje zemljišta, recikliranje nutrijenata, kruženje vode), snabdevanja (proizvodi koji se dobijaju od ekosistema voda za piće, hrana, vlakna, gorivo, genetski resursi) usluge regulisanja (klime, erozije, prečišćavanje vode, regulisanja poplava i prirodnih nepogoda) i kulturne usluge nematerijalne koristi koje ljudi dobijaju od ekosistema kao što su turističke, rekreativne, znanje, i estetska iskustva.

Neophodnost vrednovanja ekosistema na lokalnom nivou sa većim stepenom detaljnosti ističe Burkhard sa saradnicima (2009). Colls i Ikkala (2009) naglašavaju da razmatranje usluga ekosistema kao mera adaptacije na klimatske promene pruža velike mogućnosti zbog širokog spektra usluga ekosistema.

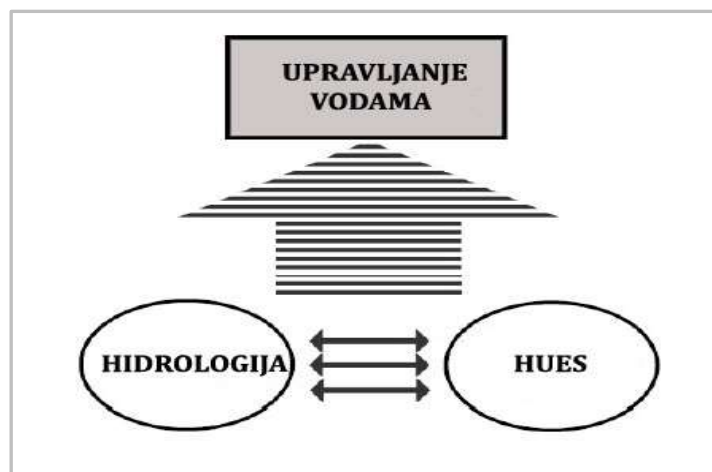


Slika 2.7 Okvir za celovitu procenu i vrednovanje funkcija, dobara i usluga ekosistema. Prilagodila B.Matić na osnovu: De Groot i drugi, 2002.

Maes i saradnici (2011) su mapirali usluge ekosistema primenom indikatora na nivou evropske unije kao doprinos razvoju atlasa usluga ekosistema i istakli značaj korišćenja indikatora jer neke usluge nije lako kvantifikovati. Iskustva i identifikovani problemi u vrednovanju usluga ekosistema na globalnom nivou (Booth i dr.; 2012) ukazuju da je neophodno, između ostalog, pažljivo isplanirati i definisati okvir u kome se vrši vrednovanje usluga ekosistema (vrsta usluge, vremenski okvir i prostor na kome se usluga procenjuje) kao i održavati balans između komponenti jer je vrednovanje usluga kompleksan proces.

U pregledu indikatora za vrednovanje usluga ekosistema Egoh i saradnici (2012) ističu da su indikatori, čak i za istu uslugu ekosistema, toliko različiti da je teško porediti rezultate, kao i da su najčešće korišćeni indikatori za mapiranje usluga korišćenje i vrsta prekrivača zemljišta, tipovi zemljišta, vegetacioni pokrivač i indikatori u vezi nutrijenata. Nacrt okvira za mapiranje i modelovanje ekosistema predložili su Crossman i saradnici (2013) da bi se izbegla velika heterogenost koja postoji u vezi ocenjivanja usluga ekosistema. Pored toga oni navode da je za ocenu usluga ekosistema u snabdevanju vodom ili retenziranju voda neophodno koristiti hidrološke modele jer oni daju realniju sliku nego modeli koji se koriste u modeliranju ekosistema, i zaključuju da bi upotreba jednostavnih hidroloških modela padavine – površinski

oticaaj, koja je za sada retka, dala bolju procenu usluga ekosistema na nivou sliva. Alkemade i drugi (2014) ističu značaj kvantifikovanja usluga ekosistema jer se na taj način dobija jasnija slika o prostornoj zavisnosti ovih usluga i dobrobiti koje oni pružaju ljudskoj zajednici. Iako nedefinisan okvir za vrednovanje usluga ekosistema omogućava naučnicima da sagledavaju vrednovanje usluga iz različitih uglova, ovo u mnogome otežava uključivanje vrednovanja ekosistema u zakonodavni okvir i politike u oblasti životne sredine (Burkhard i dr.; 2014). U vezi razmatranja integracije usluga ekosistema u implementaciju ODV i direktive o poplavama COWI (2014) daje detaljan prikaz i navodi da bi ovaj pristup omogućio bolje povezivanje ciljeva ove dve direktive i doprineo primeni integralnog upravljanja vodnim resursima na slivu. Isti stavovi su istaknuti u EU MAES (2013) i EU (2014) dokumentu politike EU-a o prirodnim merama za zadržavanje voda. Svakako su za upravljanje vodama, u skladu sa principima IWRM, od posebnog značaja hidrološke usluge ekosistema (HUES) koje na osnovu Brauman i saradnici (2007) obuhvataju sve pozitivne uticaje ekosistema na vodne resurse, to jest pozitivan uticaj ekohidroloških procesa (usluga ekosistema) na režim voda što kao rezultat ima hidrološke usluge ekosistema. Na primer uticaj kopnenih ekosistema (vegetacioni pokrivač, zemljište) na brzinu oticaja i retenziranje padavina, što utiče pozitivno na hidrološki režim (smanjuje se brzina i zapremina oticaja) a kao rezultat smanjuje se negativan uticaj od štetnog dejstva voda usled bujičnih poplava i taj rezultat je hidrološka usluga ekosistema koja doprinosi integralnom upravljanju vodama (slika 2.8).



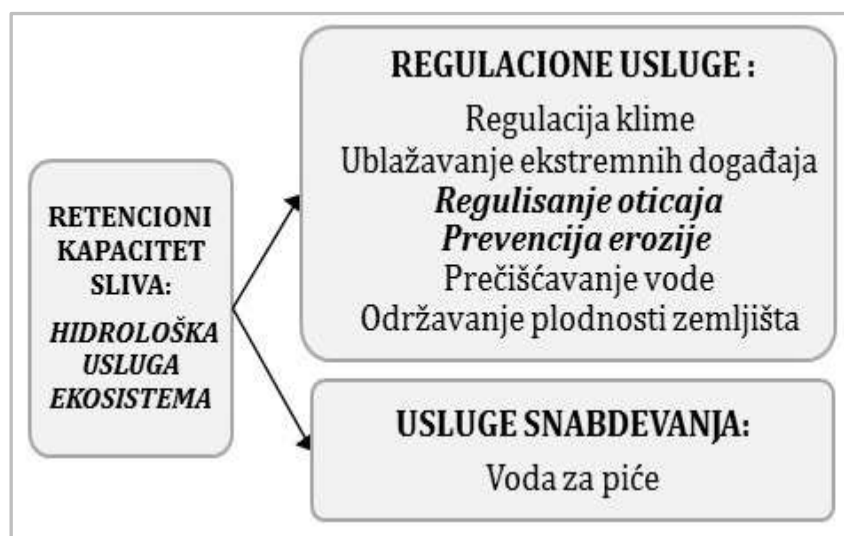
Slika 2.8 Šematski prikaz zajedničkog uticaja hidroloških procesa i usluga hidroloških ekosistema (HUES) na upravljanje vodama. Prilagodila B.Matić na osnovu: STELLA Consulting – NWRM Final Report, 2012.

Grizzetti sa saradnicima (2016) je predložio metodologiju za procenu usluga ekosistema od značaja za vodne resurse (hidrološke usluge ekosistema -HUES) na osnovu više indikatora koji obuhvataju prirodne karakteristike i monetarno vrednovanje, i preporučili da je za procenu ovih usluga neophodno korišćenje hidroloških indikatora dobijenih na osnovu jednostavnijih hidroloških modela (kao na primer, padavine oticaj), kao i da vrednovanje ekosistema može omogućiti identifikaciju skrivenih pozitivnih uticaja ekosistema na vodne resurse.

Na nivou dunavskog sliva Karabulut sa saradnicima (2016) je primenom hidrološkog modela, procenjivao usluge snabdevanja ekosistema koje doprinose boljem razumevanju nekusa ekosistemi – voda - hrana – energija na nivou primenom indikatora, kao što je indikator nestašice vode da bi se analizirao njegov uticaj na ekološki proticaj i drugi indikatori. Na osnovu rezultata autori ističu neophodnost primene indikatora i hidrološkog modela za vrednovanje usluga ekosistema koje doprinose ostvarivanju ciljeva upravljanja vodama, kao i da ovakav pristup pruža podršku integraciji usluga ekosistema u proces implementacije ODV i direktive o poplavama EU.

2.3.2 Značaj retencionog kapaciteta sliva za hidrološke usluge ekosistema

Pozitivan uticaj retencionog kapaciteta sliva na adaptivno i integralno upravljanje vodama je dobro dokumentovan u naučnoj i stručnoj literaturi i dobija sve više na značaju, što se može zaključiti na osnovu mera koje se predlažu za ostvarivanje ciljeva upravljanja vodama u Republici Srbiji, na primer operativni cilj 7 za zaštitu od štetnog dejstva voda (SUVRS, 2017), na regionalnom nivou (ICPDR, 2018) i nivou evropske unije (NWRM, 2014). Sve ove mere imaju za cilj da povećaju retencioni kapacitet sliva da zadrži padavine, i nisu apriori “prirodne“, kao na primer prirodno terasiranje (terasiranje po izohipsama), male retenzije, i drugo. Sagledavanje retencionog kapaciteta sliva u okviru koncepta usluga ekosistema dovodi do zaključka da je sliv kopneni ekosistem na kome je prisutno različitog korišćenje zemljišta, urbano, poljoprivredno, šumsko, i drugo na osnovu kategorija tipova ekosistema prikazanim u (MAES EU, 2013). U skladu sa tim, može se zaključiti da je retencioni kapacitet sliva višenamenska usluga ekosistema koja na prvom mestu pruža usluge regulisanja (koristi od usluga ekosistema u regulisanju prirodnih procesa, na primer ublažavanje negativnih posledica intenzivnih padavina) ali doprinosi i ostalim uslugama kao na primer usluge snabdevanja (dobra i proizvodi koje ekosistemi obezbeđuju ljudskoj zajednici, na primer voda za piće dobrog kvaliteta) ostale tipove usluga ekosistema. Pregled odabranih hidroloških usluga ekosistema – HUES (retencioni kapacitet sliva) od značaja za upravljanje vodama prikazan je na slici 2.9.



Slika 2.9 Pregled odabranih HUES (retencioni kapacitet sliva) sa pozitivnim uticajem na upravljanje vodama. Za vizuelni prikaz prilagodila B.Matić na osnovu: Maes i dr., 2011.

Svaki sliv se razlikuje u pogledu prirodnog kapaciteta da zadrži (retenzira) vodu i to, na prvom mestu zavisi od prirodnih karakteristika sliva. I pored pozitivnog uticaja koji ima na upravljanje vodama, retencioni kapacitet mnogih slivova se smanjuje zbog urbanizacije, promene namene korišćenja zemljišta, intenzivne poljoprivredne proizvodnje (Mioduszewski, 1998). Sa porastom pritiska na vodne resurse povećava se interesovanje u naučnoj i stručnoj zajednici da se nađe odgovarajući način za procenu retencionog kapaciteta sliva i primena mera za njegovo povećanje.

Na osnovu dokumenta (EEA, 2015) primenom indikatora za analizu različitih tipova šuma i njihovog uticaja na odabrane hidrološke promenjive (koeficijent oticaja) omogućilo je klasifikaciju evropskih šuma u kategorije visok, umeren i loš retencioni kapacitet. Indeks retenziranja vode, koji čine pet parametara predložili su Vandecasteele i saradnici (2016) i primenom 3 scenarija razvoja do 2030 na nivou EU zaključili da najveći doprinos retenziranju padavina daje pošumljavanje u gornjim delovima sliva.

Indikator vodnosti sliva, kao pokazatelj retencionog kapaciteta sliva, u Slovačkoj u funkciji prosečnih godišnjih padavina, nagiba terena, stanja zemljišta, pošumljenosti i drugo izučavali su Šatalová i Kenderessy (2017) i zaključili da je indikator koristan za procenu retencionog kapaciteta sliva u zavisnosti od zemljišnog pokrivača, ali da je za preciznije i detaljnije zaključke neophodno primeniti hidrološki model da bi se procenio režim oticaja za različite vrednosti indikatora vodnosti sliva.

Retencioni kapacitet sliva Zapadne Morave u periodu malih voda, na osnovu dostupnih podataka, analizirali su Simić i Matić (2018) poređenjem normalizovanih osmotrenih minimalnih proticaja i retencionog kapaciteta sliva u funkciji prirodnih karakteristika i zemljišnog pokrivača. Na osnovu rezultata mapirane su četiri zone. Najbolje uslove za retenziranje padavina ima prva zona u kojoj je udeo šume u ukupnoj površini sliva veći od 65%. U skladu sa tim preporuka je da se u ovoj zoni primene izuzetno strogi kriterijumi zaštite, a da se metodologija primeni i na druge slivove na kojima se dešavaju nestašice vode i pored dovoljnih količina vode.

2.3.3 NWRM za zadržavanje voda i poboljšanje retencionog kapaciteta sliva koje doprinose integralnom upravljanju vodama

Osnovni cilj ovih mera je da poboljšaju retencioni kapacitet sliva. U dokumentu politike EU o prirodnim merama za retenziranje (zadržavanje) padavina (2014) se navodi da su ovo višenamenske mere kojima je cilj zaštita vodnih resursa i obnavljanje ili održavanje ekosistema zbog pozitivnog uticaja koji usluge ekosistema imaju na režim voda. Primena ovih mera podržava zelenu infrastrukturu i smanjuje osetljivost na poplave i suše, i doprinosi adaptaciji na klimatske promene. Mioduszewski (2014) ističe da je novi pojam - NWRM (mere za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva), postao jako primetan poslednjih godina i da je definisan od strane Evropske komisije kao grupa mera kojima se postiže očuvanje i poboljšanje retencionog kapaciteta zemljišta, prostora, akvifera obnavljanjem i održavanjem ekosistema, prirodnih karakteristika sliva i vodotoka korišćenjem prirodnih procesa.

Mere koje se obuhvaćene sa NWRM ne isključuju tehničke mere (investicione mere). Svakako treba napomenuti da ove mere nisu jedinstvene samo su grupisane tako da se istakne njihova osnovna funkcija. Neke od osnovnih karakteristika ovih mera su, pored doprinosa zadržavanju voda, da se one primenjuju na manjim površinama i da oponašaju prirodne procese na slivu i moguće ih je integrisati u postojeće mere.

Evers i Nyberg (2013), na osnovu detaljnije analize na nivou EU, navode da je upravljanje vodnim i zemljišnim resursima slabo povezano, i da je za ostvarivanje ciljeva IWRM potrebno razmatrati mere koje će bolje povezati upravljanje vodama i planiranje korišćenja zemljišta, što NWRM svakako jesu. Pored toga ove mere doprinose ostvarivanje ciljeva različitih politika EU kao što su ODV, direktiva o poplavama (Strosser i drugi, 2015).

Kao što se može videti na interaktivnom portalu NWRM EU (<http://nwrn.eu/>) ima ih ukupno 53 i podeljene su u četiri grupe. Ukratko pored mera za povećanje retencionog kapaciteta sliva u urbanim područjima ostale tri grupe mera se odnose na mere pošumljavanja, poljoprivredne mere (tradicionalno terasiranje, podizanje zaštitnih pojaseva) i hidro morfološke mere (kao na primer retenzije). Grupisanje mera na ovaj način nije isključiva podela na sektore, više se odnosi na kategorije ekosistema i prostornu odrednicu njihove primene, i jasno je da primena bilo koje od mera koje se mogu naći u katalogu zahteva saradnju bar dva sektora da bi se uspešno primenile, pored odgovarajućeg institucionalnog i zakonodavnog okvira i finansijskih sredstava koja nekad mogu biti značajna (na primer zbog promene namene zemljišta).

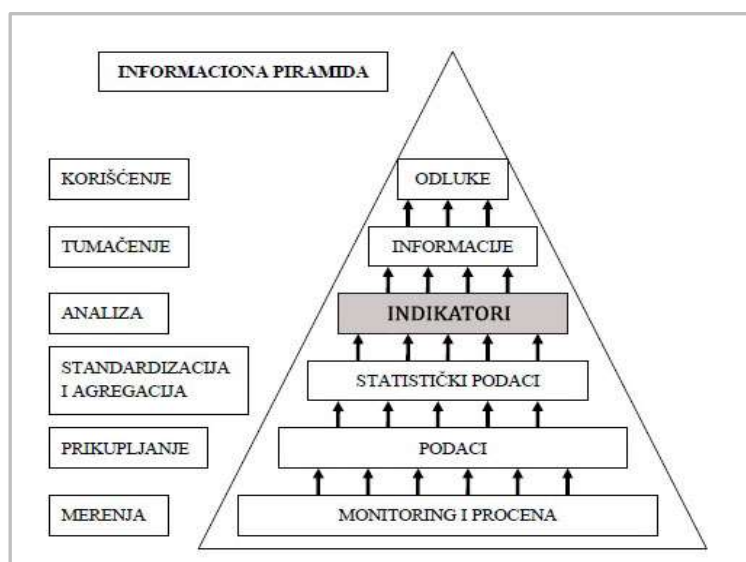
Prilikom izbora mera treba razmotri koja ograničenja i problemi nepovoljno utiču na retencioni kapacitet sliva, koje mere je moguće primeniti (u zavisnosti od prirodnih karakteristika sliva), koliki su troškovi primene mera i drugo. Za procenu efikasnosti primene mera ne postoji metodologija na nivou EU. Mioduszewski i saradnici (2014) smatraju da male retenzije, koje su zastupljenije u Poljskoj takođe spadaju u NWRM, a ova tvrdnja je verovatno tačna jer je Poljska jedina država u Evropi koja je integrisala male retenzije (GWP CEE 2015) u planove upravljanja slivovima. Kako NWRM doprinose hidrološkim uslugama ekosistema, prilikom procene ovih usluga i donošenja odluka (izbor mera, njihove lokacije i površine) neophodne su hidrološke analize (Guswa i dr., 2014) jer će se na ovaj način dobiti preciznije informacije o mogućnosti primene mera i njihovoj efikasnosti na određenoj lokaciji.

Uticaj prirodnih mera za povećanje retencionog kapaciteta sliva u različitim delovima EU analizirali su Roo i dr., (2012) i zaključili da one doprinose smanjenju šteta od poplava za oko 10% u proseku. Kao osnovni razlog za povećanje šteta od poplava u Češkoj Roub i drugi (2013) navode smanjenje retencionog kapaciteta sliva. Oni su proučavali efekat poboljšanja retencionog kapaciteta sliva primenom odabranih mera na slivu tako što su proučavali na koji način bi integracija NWRM mera smanjila rizik od poplava. Analizom rezultata hidrološkog modela došli su do zaključka da integracija NWRM na celom slivu značajno doprinosi smanjenju investicija i štete od poplava.

2.4 INDIKATORI I UPRAVLJANJE VODAMA

2.4.1 Primena indikatora u savremenom upravljanju vodama

Indikator služe za uprošćavanje i kvantifikovanje složenih pojava, da bi se izbeglo prikazivanje mnoštva podataka i informacija (Veljković, 2006), i omogućavaju njihovo bolje razumevanje i praćenje promena u sistemu koji se izučava, na primer režim retenziranja vode na neizučenom slivu. Pošto su indikatori uglavnom osmišljeni tako da doprinesu rešenju nekog praktičnog problema, njihova pouzdanost zavisi vrste analiza (Muller i Burkhard, 2012) koje su primenjuje u njegovom razvoju. Neophodno je da za podatke, koji su komponente indikatora, postoje jasno definisani matematički izrazi (FAO, 2015) da bi se omogućilo vrednovanje indikatora i praćenje promena, kao na primer, uticaj prirodnih mera za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva na režim oticaja sa sliva. Slika 2.10 daje prikaz koraka u razvoju indikatora.

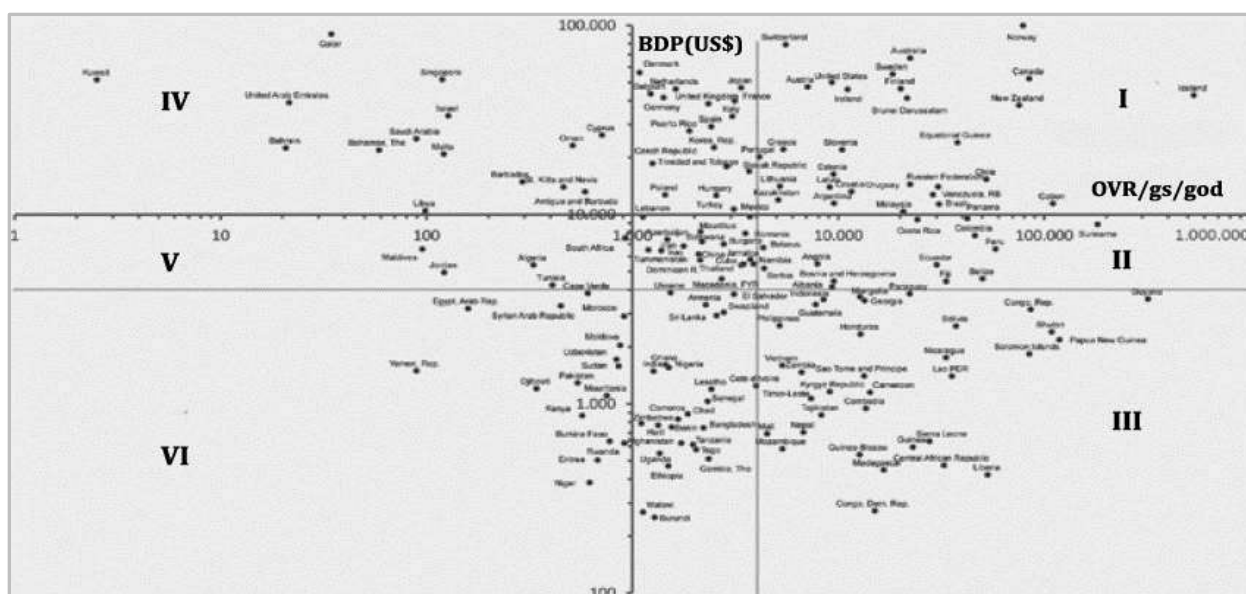


Slika 2.10 Informaciona piramida - indikatori kao alat za dobijanje informacija. Modifikovala B. Matić na osnovu: Veljković, 2006.

Falkenmark (1986) je osmislila Water Stress Indicator (Indikator pritisaka na vodu) koji daje procenu ukupne godišnje količine obnovljivih vodnih resursa po glavi stanovnika (OVR/god). Ukoliko je veći od 1.700m^3 znači da se nestašice vode dešavaju samo u izuzetnim slučajevim, dok vrednost ispod 500m^3 znači da je dostupnost vodnih resursa izuzetno ograničavajući faktor.

Dimkić i saradnici (2013) su definisali indikator za procenu kapaciteta država da primene održivo upravljanje vodama na osnovu odnosa bruto domaćeg proizvoda (BDP) i dostupnosti obnovljivih

vodnih resursa po glavi stanovnika na godišnjem nivou (OVR/god) na osnovu koga su države razvrstane u šest kategorija, kao što je prikazano na slici 2.11. Zemlje koje pri kategoriji I imaju BDP > 10,000,000. američkih dolara (US\$) i OVR/god > 1000 su u najboljoj poziciji uglavnom su implementirali održivo upravljanje vodama. Zemlje koje pripadaju kategoriji IV imaju BDP koji je isti kao za kategoriju I ali je OVR/god < 1000 m³. Kao i većina zemalja Jugoistočne Evrope Republika Srbija pripada kategoriji II. U najgorem položaju su zemlje koje pripadaju kategoriji VI sa BDP manjim od 4,000 US\$ i obnovljivim vodnim resursima po glavi stanovnika manjom od 1000 m³.



Slika 2.11 Ekonomska moć i dostupnost vodnih resursa kao indikator upravljanja vodama. Modifikovala B.Matić na osnovu: Dimkić i saradnici, 2013.

Indikatori održivog razvoja (Sustainable Development Goals - SDGs, UN, 2015) su razvijeni da bi se omogućilo praćenje dostizanja ciljeva održivog razvoja do 2030, a za upravljanje vodama su od posebnog značaja indikatori razvijeni za cilj broj 6.

Pored indikatora, upotrebljavaju se i indeksi, koje sačinjava više indikatora, kao što je indeks održivosti sliva HELP koji su osmislili Chaves i Alipaz (2007) koji se sastoji od četiri indikatora (hidrologija, zaštita životne sredine, indeks ljudskog razvoja, i zakonodavni i institucionalni okvir) od značaja za upravljanje vodama na slivu. Ovaj indeks su primenili i Cortés i saradnici (2012) na slivu Elqui reke u Čileu istakli da je nedostatak podataka osnovni problem prilikom primene ovog indikatora. Marjanović i saradnici (2014) su razvili indeks za procenu ranjivosti

ekosistema koji pružaju usluge snabdevanja vodom za piće u regionu Jugoistočne Evrope na klimatske promene. Primena indikatora je pokazala da je u Srbiji mala ranjivost ekosistema na klimatske promene. Farinosi i drugi (2018) su predložili hidro - politički indeks da bi mapirali potencijalna žarišta budućih sukoba oko vodnih resursa.

2.4.2 Primena višekriterijumske analize za određivanje težinskih koeficijenata

Prilikom razvoja indikatora i indeksa, na koje utiče više činilaca, jedna od dilema je u kojoj meri koji činilac utiče na vrednosti indikatora i na koji način odrediti težinu svakog od njih na indikator (rezultantu). Jedan od načina je korišćenje sistema za pomoć (podršku) u donošenju odluka, koji kako samo ime kaže, nije alat kojim će se generisati neka odluka, nego alat kojim se određuju trendovi i generiše dovoljno informacija o problemu da bi se donela odluka zasnovana na činjenicama. Vodoprivreda, odnosno vodna delatnost ili sektor voda, kao i sektor zaštite životne sredine, su delatnosti koje karakteriše postojanje neizvesnosti i često neizbežni konflikti koji se odnose se na način upotrebe i korišćenja voda i prirodnih resursa sa jedne strane i interesa korisnika voda i prirodnih resursa sa druge strane, zbog čega je korišćenje sistema za podršku (DSS decision support system) odlučivanju od značaja u procesu donošenja odluka Bajčetić (2010). Literatura o povezanosti DSS i vodne delatnosti je brojna, a kao rešenje kompleksnosti vodne delatnosti, pominje se sprega čoveka koji donosi odluke i kompjuterskih alata i tehnika (Bajčetić 2010; Srđević i saradnici, 2009; Srđević i Srđević, 2014).

Višekriterijumsko odlučivanje (Mulicriteria Decision Making - MCDM) je jedan od pristupa racionalnom planiranju u sektoru voda, a način njegove primene uslovljen je postojanjem konačnog ili beskonačnog broja alternativnih rešenja. Jedna od najčešće pominjanih podela metoda MCDM je na nekompenzacione i kompenzacione (Srđević i saradnici, 2009). Kako samo ime kaže, nekompenzacioni metodi ne dopuštaju kompenzaciju među kriterijumima, dok kompenzacioni to dopuštaju. Kompenzacija podrazumeva smanjivanje vrednosti jednog atributa, pod uslovom da vrednost drugog ili više drugih atributa raste (Bajčetić, 2010). Među kompenzacionim metodima takođe postoje razlike i dele se na metode kompromisa, saglasnosti i korisnosti. Metodi korisnosti se zasnivaju na određivanju ukupne korisnosti alternativa u odnosu na kriterijume i analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) je najpoznatiji metod iz ove grupe, čiji autor Tomas Saaty i zasnovan na određivanju ukupnih korisnosti alternativa na osnovu međusobnog poređenja i kriterijuma i alternativa u parovima (Saaty, 1980) a sam proces

odlučivanja posmatra se kao hijerarhijski proces sa više nivoa, na čijem vrhu je cilj, a sledeći nivo čine odabrani kriterijumi, dok su na najnižem nivou moguća alternativna rešenja (Zelenović i saradnici, 2012). Metoda je zasnovan na međusobnim poređenjima elemenata na istom hijerarhijskom nivou u odnosu na elemente na višem hijerarhijskom nivou, kako bi se utvrdio međusobni značaj elemenata tog nivoa u odnosu na svaki od elemenata višeg nivoa. Generalno posmatrano za slučaj hijerarhije sa tri nivoa: cilj – kriterijumi – alternative, kriterijumi se porede u odnosu na cilj, kako bi se odredio njihov međusobni značaj, a alternative u odnosu na svaki od postavljenih kriterijuma (Bajčetić, 2010). Međusobno poređenje elemenata prema ovoj metodologiji koristi skale međusobnog značaja, odnosno skale dominacije i dominiranosti. na način kako je opisano kod (Saaty, 1980) primenom skale intenziteta od 1 do 9 kako bi se olakšalo međusobno poređenje elemenata. Jednak značaj dva elementa izražen je intenzitetom 1, a apsolutni značaj jednog elementa u odnosu na drugi, intenzitetom 9. Zbog osobine dvosmernosti odnosa dva elementa koji se porede, suprotan izražen je recipročnom vrednošću intenziteta, odnosno skalom od 1/1 do 1/9 a numerički rezultati međusobnog poređenja elemenata nekog hijerarhijskog nivoa, korišćenje Satijevih skala čine takozvanu matricu poređenja. (Srđević i saradnici, 2009) AHP je pouzdan i pogodan pristup za rešavanje kompleksnih problema vodnih resursa, a osnovna prednost ove metodologije je smanjenje subjektivnosti u pomoći u odlučivanju (Srđević i saradnici, 2009; Srđević i Srđević, 2014) što je njena prednost u odnosu na druge metode jer smanjuje subjektivnost (Bajčetić, 2010).

U literaturi je dobro dokumentovana primene AHP metode u sektorima voda i zaštite životne sredine. Za analizu lokacije regionalne deponije u Sremu, Zelenović Vasiljević i saradnici (2012) su primenili metodu analitičkog hijerarhijskog procesa da bi se dovoljno precizno analizirale potencijalne lokacije regionalne deponije. Srđević i Srđević (2014) su primenili AHP analizu za predlog rešenja za upravljanje preko graničnom akumulacijom Đerdap (kojom upravlja bilateralna komisija) da bi se na osnovu uključivanja zainteresovanih strana omogućilo poboljšanje plovidbe i transporta Dunavom. U svom radu Kubicz i saradnici (2015) su primenili metodu analitičkog hijerarhijskog procesa za analizu uticaja postojećih vodoprivrednih objekata (brane, prevodnice, ustave) na tri sliva u Poljskoj primenom različitih scenarija mera, ukupno 3. Kako navode autori, kao najbolja alternativa sa aspekta zaštite životne sredine je alternativa 3 – preliv, i konstatuju da predložena metoda omogućava dobru procenu uticaja mera.

2.5 PRETHODNE STUDIJE NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

2.5.1 Elaborat o zonama sanitarne zaštite akumulacije Vrutci (JČI, 2014)

Geološka građa sliva akumulacije Vrutci

Najstarije dokumentovane stene na slivnom području akumulacije predstavljene su srednje trijaskim slojevitim, bankovitim, delimično masivnim i dolomitičnim krečnjacima. Otkriveni su u vidu malih partija na krajnjem istočnom obodu slivnog područja u zoni sela Vrutci. Preko naslaga srednjeg trijasa, na istočnom obodu sliva, istaložene su naslage gornje trijasko starosti. Zauzimaju nešto značajnije rasprostranjenje od srednje trijaskih. Predstavljene su krečnjačko – dolomitskom facijom, debljine i do 800 m. Sledeći u nizu litološki član predstavljen je srednje i gornje jurskim (doger–malm) naslagama dijabaz–rožne formacije. Predstavljena je rožnacima, pešćarima, glincima, krečnjacima i dijabazima. Viši deo formacije koji se nalazi duž oboda peridotitskog masiva je metamorfisan. Predstavljen je amfibolskim stenama, okcasto–trakastim silimanit gnajsevima, gnajs–mikašistima, filitima i zelenim škriljcima. Debljina je 1800–2000 m.

Najveće rasprostranjenje zauzimaju tvorevine Zlatiborskog peridotitskog masiva, predstavljene harzburgitima i serpentinitima. U sastav harzburgita (σe) ulaze olivin i rombični piroksen sa aksesornim monokliničnim piroksenom i hromitom. Nešto manje rasprostranjenje zauzimaju serpentiniti (Se) sa harzburgitskim i dunitskim serpentinitima. Izgrađuju obodne delove masiva i predstavljaju potpuno serpentinisane harzburgite i dunite. Sa primarnim stenama su vezani postupnim prelazima. Izgrađeni su od mrežastog serpentina, basita, akcesornog hromita, sekundarnog praha oksida gvožđa, malo sekundarnog amfibola i talka. Ređe su silifikovani i limonitisani. Na osnovu geofizičkih ispitivanja, debljina im od 1000–1200 m.

Miocenske naslage (²M, ¹M) predstavljene su slatkovodnim jezerskim sedimentima. Konstatovani su u istočnom delu gde zauzimaju malu površinu, kao i u centralnom delu gde imaju značajnije rasprostranjenje. U litološkom pogledu, predstavljene su dolomitičnim krečnjacima, često sa visokim sadržajem silicijuma, laporcima, i laporovitim krečnjacima sa retkim proslojcima tufita. Lokalno se javljaju proslojci magnezita. Debljina miocenskih naslaga je oko 150 m. Najmlađe naslage na slivnom području akumulacije predstavljene su aluvijalnim sedimentima reke Đetinje. U litološkom pogledu su predstavljeni šljunkovima i peskovima, ređe glinama. Debljina ovih naslaga ne prelazi desetak metara.

Hidrogeološke karakteristike sliva akumulacije „Vrutci“

Kompleksnost geološke građe terena odrazila se i na složenost u pogledu hidrogeoloških karakteristika terena. Na području su prisutne stene sa intergranularnim pukotinskim i karstno – pukotinskim tipom poroznosti, kao i stene koje su praktično vodonepropusne. Hidrogeološka karta područja sliva akumulacije „Vrutci“ prikazana je u prilogu 1. Stene sa intergranularnim tipom poroznosti se javljaju u okviru aluvijalnih naslaga reke Đetinje. Generalno se odlikuju dobrim filtracionim karakteristikama, ali imaju malu debljinu i rasprostranjenje. Na osnovu dostupnih literaturnih podataka moguće je konstatovati da je koeficijent vodoprovodnosti ovih naslaga reda veličine $T > 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Prema dostupnim literaturnim podacima, gornjotrijaske karbonatne naslage, karstno – pukotinskog tipa poroznosti, se mogu okarakterisati kao dobro vodopropusne, sa izdašnošću vrela koja se kreće od oko 20 l/s do preko 1500 l/s. Tvorevine zlatiborskog peridotitskog masiva, u hidrogeološkom pogledu, se odlikuju srednjom do niskom vodopropusnošću, koja prvenstveno zavisi od tektonske oštećenosti. U okviru ovih stena se mogu javiti vrela izdašnosti od 0,01 – 25 l/s, u proseku generalno do ispod 1 l/s. Miocenske naslage se odlikuju malom izdašnošću. Prema dostupnim podacima izdašnost vrela se kreće u rasponu od 0,1 – 10 l/s, najčešće oko 0,7 l/s.

Dijabazi i dijabaz – rožna formacija se uslovno mogu smatrati praktično vodonepropusnim stenama. U njima se lokano javljaju manje akumulacije podzemnih voda, koje se dreniraju preko vrela izrazito male izdašnosti, ispod 0,1 l/s.

Generalno, prihranjivanje izdani se vrši infiltracijom padavina ili infiltracijom iz mlađih vodonosnih sredina (aluvijon, miocenske naslage). Dreniranje se uglavnom vrši preko vrela i u manjoj meri preko eksploatacionih bunara za potrebe lokalnog vodosnabdevanja. Na prostoru od interesa nema značajnije razvijene osmatračke mreže. Hidrogeološka karta sliva Vrutci sadrži numeričku oznaku HG kategorije na karti (prilog 1). U tekstu datom ranije opisane su opšte karakteristike izdvojenih celina. Za izradu projekta brane Vrutci rađena su detaljnija istraživanja (JČI, 1990). Petrografski sastav slivnog područja reke Đetinje proučen je preko sakupljenog materijala i izdvojeni su: serpentiniti – odnosno serpentiniti, lerzoliti i harcburgiti (koji su jako ispucali, a stepen serpentizacije je od 50-90% dok je promena boje stena je posledica površinskog raspadanja), amfiboliti – kristalasti škriljci, su stene koje su uglavnom sveže i jedre, ali u nekim delovima su zahvaćeni procesima površinskog raspadanja (u određenim delovima terena građe

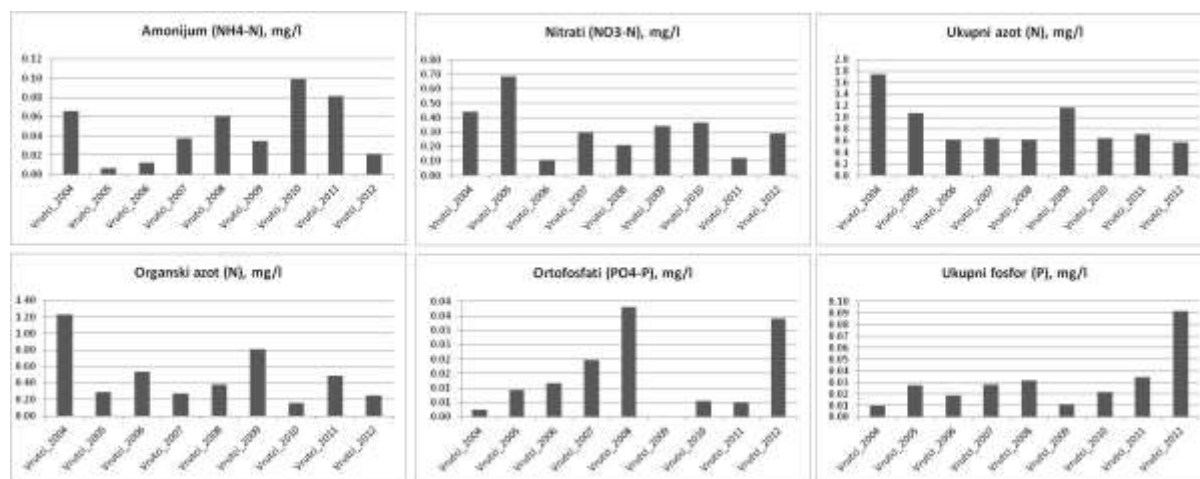
kompaktno škriljave stena a sa druge strane, u nekim delovima su značajno zdrobljene i polomljene), dijabaz i dijabaz-rožna formacija – odnosno dijabaz i rožnac (dijabaz koji je često u transformaciji, odnosno jako trošan i bez ikakvih osobina za dijabaz a rožnac se pojavljuje bankovito ili tanko pločasto), krečnjaci i dolomiti (odnosno uglavnom krečnjaci, javljaju se kao masivni, ili bankoviti ili slojeviti krečnjaci) njihovim proučavanjem ustanovljene su prsline i pukotine ispunjene iskristalisanim kalcitom, neogen – predstavljen karbonatnim sedimentima i laporovitim sedimentima sa glinovitim partijama (izrazito karbonatni sediment imaju veću čvrstoću dok izrazito glinovito laporoviti imaju manju čvrstoću i ponašaju se glinovito trošno).

2.5.2 Prikupljanje podataka i izrada analiza i dokumentacije za sanaciju akumulacije „Vrutci“ – faza I i II, 2014-2015(JČI, 2015)

U decembru 2013 u akumulaciji „Vrutci“ dolazi do intenzivnog cvetanja cijanobakterije *Planktotrix* što je dovelo do zatvaranja vodovoda u Užicu na duži vremenski period. Institut za vodoprivredu “ Jaroslav Černi“ je u periodu do decembra 2015. sproveo istražne radove i uradio projekat sanacije akumulacije koji obuhvata planove upravljanja akumulacijom i zaštitom voda.

Sprovedeni su detaljni istražni radovi na samoj akumulaciji Vrutci (3 profila) i na svim značajnim pritokama (22 pritoke -4 glavne koje nose preko 25% dotoka vode u akumulaciju i 18 povremenih) u mesečnim intervalima. Izvršena su obimna istraživanja kvaliteta sedimenta i evaluacija potencijalnog internog opterećenja. U sklopu studije analizirani su i podaci nacionalnog monitoringa koji sprovodi Agencija za zaštitu životne sredine Srbije.

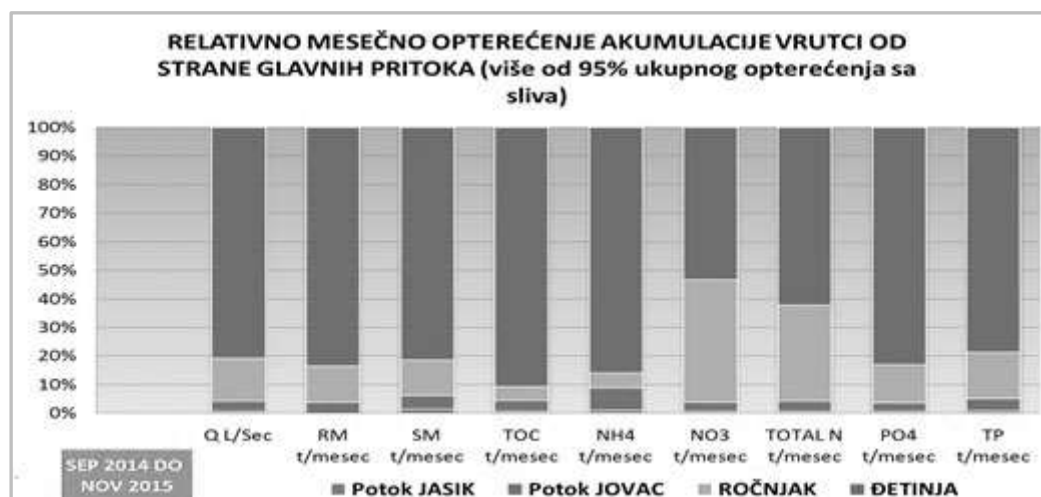
Hemijski kvalitet voda u akumulaciji „Vrutci “ pokazuje znake sporih ali jasno izraženih promena (Slika 2.12). Posebno se ukazuje na srednje godišnje koncentracije amonijaka, nitrata i ukupnog azota koji svi pokazuju trend opadanja i koncentracije ortofosfata i ukupnog fosfora koji imaju tendenciju porasta. Analizom dobijenih rezultata kao i analizom antropogenih pritisaka na slivu zaključeno je da opaženi trendovi ukazuju na porast „internog“ opterećenja akumulacije pre svega fosforom. Interno opterećenje akumulacije je posledica prilika na slivu ali i hidrološko meteoroloških faktora u datom trenutku. Kao posledica stratifikacije u akumulaciji dolazi do vrlo kompleksnih fizičko hemijskih procesa koji kontrolišu procese i količine internog opterećenja (akumuliranje i oslobađanje nutrijenata u sedimentu), a posredno isti procesi u sprezi sa klimatološkim faktorima (solarno zračenje) i eksternim opterećenjem (unos nutrijenata sa sliva) kontrolišu i mnogo kompleksnije biohemijske procese i primarnu produkciju u akumulaciji.



Slika 2.12 Kvalitet vode akumulacije, period 2004 -2012 godine za odabrane parametre. Izvor: Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 2015.

Kroz deo istraživačkog programa izvršena je i kvantifikacija spoljnog opterećenja pri čemu je zaključeno da više od 95% ukupnog spoljnog opterećenja akumulacije „Vrutci“ nutrijentima dospeva pritokama Đetinja, Ročnjak, Jovac i Jasik.

Na 2.13 prikazano je procentualno učešće ovih pritoka u ukupnom opterećenju na srednje godišnjem nivou. Relativno visok doprinos Đetinje, Ročnjaka i Jovca sa aspekta unosa nitrata u akumulaciju ukazuju na izvore opterećenja iz poljoprivrede dok relativni doprinos unosu fosfora ukazuje na značaj procesa erozije. Podaci istraživanja ukazuju na povećan značaj eksternog opterećenja u periodima koji karakterišu povećani proticaji u pritokama (kasna zima i proleće).



Slika 2.13 Procentualno učešće pritoka u eksternom opterećenju akumulacije. Izvor: Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 2015.

Osnovni zaključak istražnih radova u pogledu bioloških parametara kvaliteta je da slabo diversifikovanom zajednicom fitoplanktona, dominiraju cijanobakterije. Relativno niski sadržaji rastvorenog fosfora u periodu „cvetanja“ ukazuju da je najvećim delom fosfor u akumulaciji, „korišćen“ od strane cijanobakterija i da je kao takav teško dostupan ostalim razdelima fitoplanktona što je prouzrokovalo njihovu dominaciju. Prema relevantnim pokazateljima (sadržaj fosfora, sadržaj hlorofila-a, prozirnost vode, nizak sadržaj kiseonika u hipolimnionu, prisustvo cijanobakterija) akumulacija Vrutci je okarakterisana kao eutrofna.

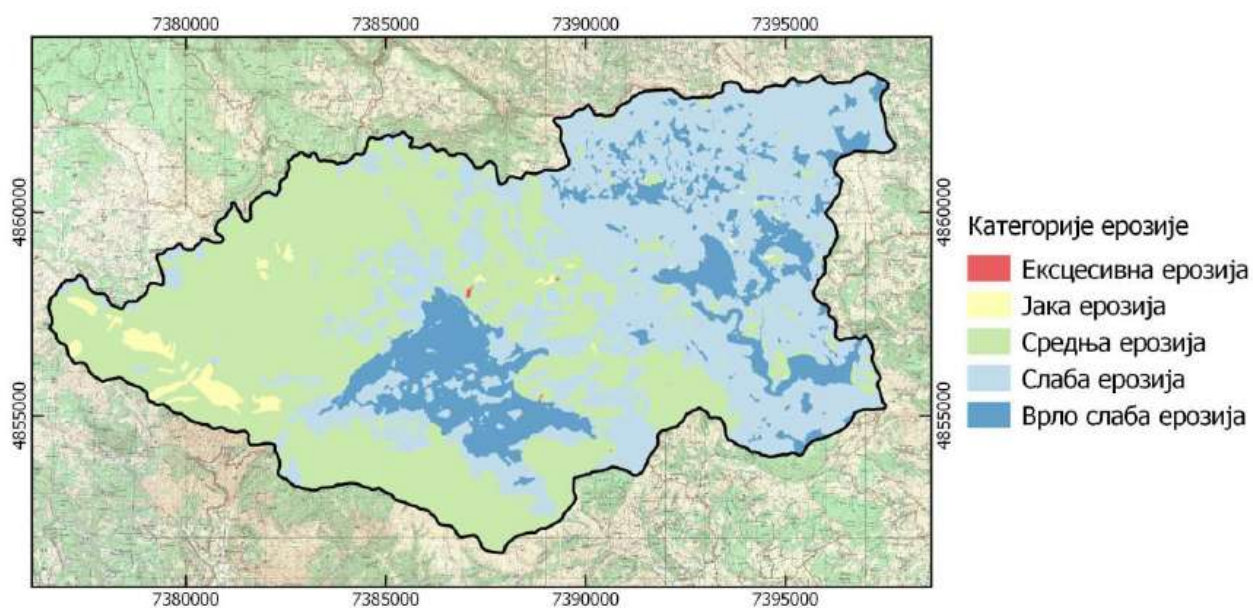
Mere zaštite akumulacije

Prema prioritetima, preporučuju se sledeće mere:

- Smanjiti eksterna opterećenja nanosom i nutrijentima primenom antierozivnih radova i sanitarno-tehničkih mera. U tom smislu izvršiti revitalizaciju izgrađenih antierozivnih pregrada (čišćenje) i završiti izgradnju neizgrađenih a projektovanih antierozivnih pregrada posebnu u slivu Jovca, Ročnjaka i Jasika;
- Uspostaviti obavezan operativni monitoring akumulacije u zoni vodozahvata sa nedeljnom frekvencijom praćenja a u skladu sa preporukama datim u ovom elaboratu. Uspostaviti redovan monitoring kvaliteta vode pritoka, najmanje jednom mesečno. Monitoring sedimenta raditi najmanje jednom godišnje;
- Uspostaviti mrežu za monitoring bilansa voda. Na najvećim pritokama: Đetinja, Ročnjak, Jovac i Jasik, potrebno je postaviti limnigrafske stanice. Na brani i u ataru sela Kremna (ili Bioska) postaviti po jednu automatsku meteorološku stanicu;
- Strogo poštovati mere propisane u Elaboratu o zonama sanitarne zaštite;
- Definisati i primeniti obavezne mere kontrole i upravljanja stajnjakom u skladu sa preporukama iz ovog dokumenta
- Držati nivo vode u akumulaciji na koti normalnog uspora kada god je to moguće. Posebno kontrolisati spuštanje nivoa tokom perioda od početka jula do kraja oktobra. Pri ovome strogo primenjivati preporuke iz Plana upravljanja akumulacijom.

2.5.3 Proučavanje bujičnih slivova i bujičnih tokova (Drobnjak, 2016)

Analiza erozionih procesa metodom izvršena je na slivnom području akumulacije Vrutci primenom metode S. Gavrilovića za definisanje erozionih i bujičnih potencijala sliva koja omogućava kvalitativno-kvantitativnu procenu stanja erozije i bujičnosti tokova. Da bi se kartirala erozija korišćene su sledeće podloge: topografske, pedološke, geološke, način korišćenja zemljišta, kao i ortofoto snimci terena. Podloge su digitalizovane da bi se dobile vrednosti koeficijenta erozije da bi se odredile kategorije erozije koje su prikazane na slici 2.14.



Slika 2.14 Kategorije erozije na slivu akumulacije Vrutci. Izvor: Drobnjak, 2016.

Kao što se može videti na karti, najzastupljenija je srednja (kategorija III) i slaba (IV) erozija na osnovu vrednosti koeficijenta erozije Z koji iznose 0.55 za srednju eroziju i 0.33 za slabu eroziju. Na osnovu rezultata može se zaključiti da je stanje na slivu zadovoljavajuće, ali to nije slučaj zbog prisustva II kategorije (jaka erozija) u velikom procentu i to je ono što karakteriše posmatrano područje, kao i većinu bujičnih slivova: prostorna varijabilnost sa aspekta erozionih procesa. Poređenje karte erozije sa geološkom i pedološkom podlogom, jasno ukazuje na zavisnost intenziteta erozionih procesa od erodibilnosti podloge (Drobnjak, 2016).

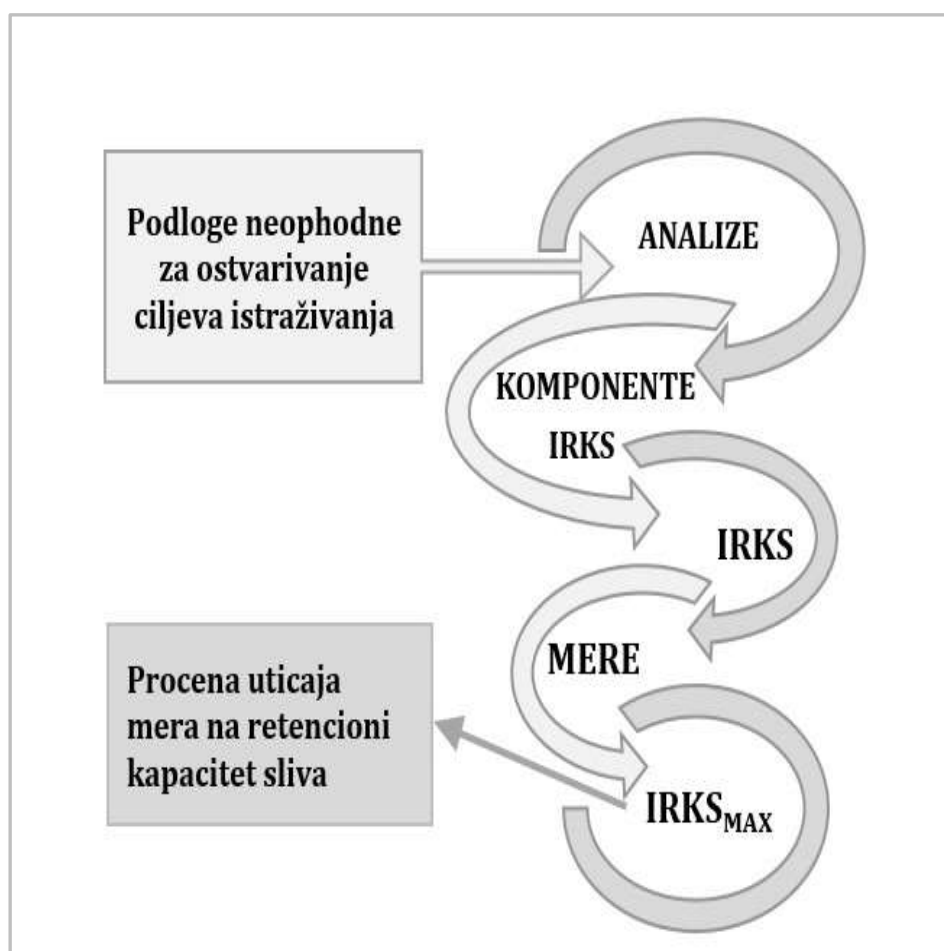
3. TEORIJSKE OSNOVE I METODE ISTRAŽIVANJA

U skladu sa predmetom i ciljem istraživanja i hipoteza definisani su zadaci istraživanja, razvijena je opšta metodologija i prikupljeni su i analizirani podaci definisanje komponenti za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva i procene uticaja predloženih mera u zavisnosti od kratkotrajnih jakih kiša, prirodnih karakteristika sliva i zemljišno - hidrološkog kompleksa na odabranom području istraživanja:

1. Analiza aktuelnih stavova i literature o proceni uticaja režima padavina na retencioni kapacitet i upravljanje vodama na slivu;
2. Razvoj modela padavine - oticaj za različite prirodne uslove i scenarija;
3. Odabir komponenti i kriterijuma za opis indikatora retencionog kapaciteta;
4. Primena višekriterijumske analize i analize osetljivosti u razvoju indikatora za kvantifikovanje retencionog kapaciteta kao hidrološke usluge ekosistema;
5. Izbor područja istraživanja i prikupljanje podloga i rezultata prethodnih studija za to područje (podaci o padavinama, hidro geološke podloge, pedološke podloge, podaci o korišćenju zemljišta, topografske podloge);
6. Sinteza podataka, podloga i rezultata dosadašnjih istraživanja i studija na području istraživanja;
7. Obrada i analiza dostupnih podataka o režimu padavina, hidrološkom kompleksu – zemljište- pokrivač i ostalim prirodnim karakteristikama sliva koji utiču na prirodni retencioni kapacitet;
8. Definisanje podslivova i analiza njihovih prirodnih karakteristika koje utiču na retencioni kapacitet i oticaj na slivu;
9. Analiza rezultata primene metodologije i procena indikatora retencionog kapaciteta sliva;
10. Odabir mera koje doprinose poboljšanju prirodnog retencionog kapaciteta na odabranom slivu i adaptivnom upravljanju vodama;
11. Evaluacija i kvantifikovanje mera primenom metodologije;
12. Mapiranje prirodnih mera koje doprinose poboljšanju retencionog kapaciteta sliva;

13. Interpretacija rezultata i predlog smernica za dalje istraživanje.

Na osnovu istraživačkih ciljeva, definisanja problema i utvrđivanja metodološkog pristupa (Slika 3.1) za njegovo rešavanje, korišćene su statističke metode, metode analize i sinteze, modelovanje, komparacija i indukcija i višekriterijumska analiza. Za dokazivanje postavljenih hipoteza korišćeni su osmotreni podaci, analize prirodnih i hidroloških karakteristika sliva, kao i rezultati dobijeni primenom metodologije za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapacitete sliva na području istraživanja.



Slika 3.1. Šematski prikaz metodologije za ocenu uticaja kratkotrajnih jakih kiša na retencioni kapacitet i upravljanje vodama na slivu

Analiza i odabir kišne epizode sprovedena je na osnovu statističkih analiza osmotrenih padavina, za odabranu meteorološku stanicu i odabrane izdvojene serije dnevnih suma padavina, takođe analizirano je prisustvo trendova primenom lineranog trenda i ne parametarskog Mann Kendall

testa. U skladu sa navodima u literaturi može se zaključiti da za mere koje doprinose očuvanju i poboljšanju retencionog kapaciteta sliva ne postoje jasno definisani uslovi na način kako je to za atmosfersku kanalizaciju, poplave i drugo. Kako ove mere nisu predviđene za primenu na velikim površinama odabrana je kišna epizoda trajanja jedan čas povratnog perioda 5 godina. Nakon toga, za odabrane komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva (višenamenska hidrološka usluga ekosistema koja doprinosi adaptivnom upravljanju vodama), analizirani su parametri, za svaku komponentu ponaosob, na osnovu prirodnih karakteristika sliva i kriterijuma za različite prethodne uslove vlažnosti zemljišta.

Da bi se procenio uticaj prirodnih karakteristika sliva na retencioni kapacitet, urađena je dekompozicija područja istraživanja na manji i veći broj slivova za koje su, primenom ArcGIS alata na dostupne podloge, određene prirodne karakteristike neophodne za određivanje komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva. Jedan od osnovnih kriterijuma za izbor komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva bio je da su one integralni deo procesa oticaja sa slivova koji su neizučeni, sa izraženim nagibima terena i naglim formiranjem direktnog površinskog oticaja usled kratkotrajnih jakih kiša, kao i da za njih postoji nedvosmislen matematički izraz na osnovu koga se može odrediti njegov uticaj na režim retenziranja i oticaja sa sliva.

Primena hidrološkog modela u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište pokrivač (CN ili SCS) omogućila je određivanje odnosa padavine – direktni oticaj (efektivne kiše), na neizučenom slivu. Sintetički jedinični hidrogrami su poslužili za ocenu uticaja odabranih komponenti na vršne proticaje na izlaznim profilima podslivova (hidroloških jedinica za modeliranje) i procenu uticaja mera na vršne proticaje za odabranu kišnu epizodu.

Težinske vrednosti normalizovanih komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva su određene primenom metoda AHP za višekriterijumsku i analizu osetljivosti. Na osnovu ovoga je razvijen jedinstven izraz za indikator retencionog kapaciteta sliva na osnovu koga je procenjen uticaj različitih uslova (prethodni uslovi zasićenosti zemljišta vlagom pre kišne epizode i različite karakteristike podslivova) na kapacitet sliva da retenzira vodu i evaluaciju scenarija predloženih prirodnih mera koje doprinose poboljšanju retencionog kapaciteta sliva - višenamenske hidrološke usluge ekosistema od značaja za ostvarivanje ciljeva integralnog upravljanja vodama na način koji je definisan zakonodavnim okvirom na teritoriji Republike Srbije.

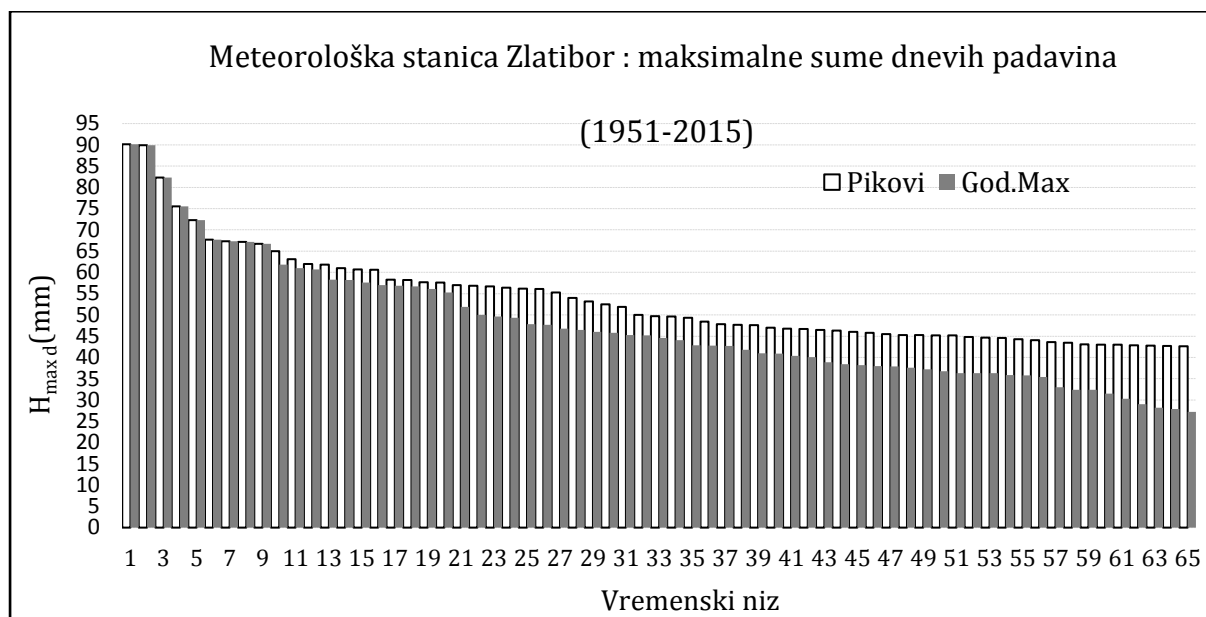
3.1 METODE ZA ANALIZU REŽIMA OSMOTRENIH MAKSIMALNIH DNEVNIH PADAVINA I KRATKOTRAJNIH ČASOVNIH KIŠA JAKOG INTENZITETA

Padavine su jedan od osnovnih činilaca bilansa i režima voda na nekom području i u vremenskom periodu. Usled značaja koje padavine imaju, u skladu sa ciljevima analiza i problema koji se razmatra, postoje različiti pristupi izučavanju režima padavina. Prilikom analiza režima padavina iz cele serije dostupnih podataka, obično se vrši dekompozicija vremenske serije na podserije, u zavisnosti da li se izučava režim padavina na godišnjem ili sezonskom nivou, da li je od interesa utvrditi prosečne vrednosti ili su potrebne i informacije o gornjim ekstremima i intenzitetu kiše, verovatnoći prevazilaženja i povratnim periodima. Pored toga, podela na podserije može biti takva da se posmatraju dva perioda da bi se analiziralo da li i u kojoj meri postoje razlike između njih koje ukazuju na postojanje trendova u osmotrenim podacima i da li postoji promena učestalosti, opadajući ili rastući trend.

3.1.1 Metode za formiranje nizova maksimalnih dnevnih kiša

Prilikom analize gornjih ekstrema (maksimalnih) dnevnih padavina, prvi korak je definisanje vremenskog perioda koji se analizira i formiranje nizova izdvajanjem maksimalnih vrednosti – godišnjih maksimuma (za N godina) ili formiranje nizova pikova. Vremenske serije godišnjih maksimuma obuhvataju samo jednu vrednost za svaku godinu. Kako se primenom ovog pristupa mogu izgubiti podaci o ekstremima koji su po veličini manji od maksimalne godišnje vrednosti u jednoj godini, a veći od maksimalnih padavina u nekoj drugoj godini, u analizi maksimalnih padavina i ostalih hidroloških promenljivih koristi i metoda izdvajanja nizova pikova godišnjeg prevazilaženja (Chow, 1953) ili prekoračenja preko praga (Madsen i dr., 1997). Na ovaj način se obuhvataju najveće vrednosti za ceo period osmatranja, bez obzira na godinu u kojoj su osmotrene. Iako ovaj pristup rangiranja podataka omogućava bolji uvid u podatke, ova metoda ima mnogo manju primenu u praksi od godišnjih maksimuma u analizi jakih kiša.

Na slici 3.2 dat je grafički prikaz dva pristupa za izdvajanje nizova maksimalnih dnevnih padavina, metodom godišnjih maksimuma i metodom pikova godišnjeg prevazilaženja, kod koje broj članova niza odgovara broju godina osmatranja, za meteorološku stanicu Zlatibor.



Slika 3.2 Opadajući niz osmotrenih maksimalnih dnevnih padavina za godišnje maksimume i pikove godišnjeg prevazilaženja za meteorološku stanicu Zlatibor

Prilikom formiranja vremenskih nizova maksimalnih godišnjih padavina treba imati na umu da su za manje povratne periode, na primer 5 godina, vrednosti maksimalnih padavina primenom metode pikova u formiranju nizova uglavnom veće, a sa povećanjem povratnih perioda ove vrednosti su iste bez obzora da li primenjuje metoda godišnjih maksimuma ili metoda pikova (Chow, 1964). Zbog šire upotrebe, u ovoj disertaciji nizovi maksimalnih dnevnih kiša formirani su izdvajanjem godišnjih maksimuma.

3.1.2 Metode za analizu jakih kiša

Pored vremenske i prostorne raspodele prosečnih padavina na određenom prostoru i za period koji se razmatra, statističke analize donjih i gornjih ekstrema padavina su od velikog značaja za sektor voda, pošto je to jedan od osnovnih ulaznih podataka za različita planska dokumenta i projektovanje. Prvi korak u ovim analizama je izbor odgovarajuće teorijske funkcije raspodele koja će adekvatno predstaviti podatke koji se analiziraju, imajući u vidu da svaka od teorijskih funkcija raspodele verovatnoće, koja se uobičajeno koristi, predstavlja samo procena prirodnih procesa, a ne precizan opis istih. Kako navodi Jevđević (1956), primenom statističkih metoda u hidrološkim analizama i prilagođavanje osmotrenih podataka nekoj od teorijskih funkcija raspodele, nije moguće sa sigurnošću predvideti tok budućih pojava, nego samo odrediti moguće događaje i njihovu verovatnoću pojave.

U ovom istraživanju, veza između vrednosti slučajno promenljive - gornjih ekstrema dnevnih kiša i povratnih perioda, radi dobijanja merodavnih računskih kiša, je uspostavljena primenom Gumbelove teorijske raspodele, koja se naziva još i raspodela ekstremnih vrednosti tip I, imajući u vidu njenu široku primenu (WMO, 1981) i prihvaćenost od strane naučne i stručne javnosti za analizu ekstrema, u ovom slučaju kratkotrajnih jakih kiša. Za ovu dvoparametarsku teorijsku raspodelu verovatnoće koeficijent asimetrije i spljoštenosti su konstantni i iznose 1.14 i 4.5 (McBean i Rovers, 1998) i funkcija raspodela ekstremne vrednosti glasi:

$$F(x) = \exp[-e^{-\alpha(x-\beta)}] \quad (3.1)$$

α je parametar skaliranja (razmera) a β je parametar lokacije. Gustina Gumbelove raspodele je:

$$f(x) = [-\alpha(x-\beta)e^{-\alpha(x-\beta)}] \quad (3.2)$$

odnos parametara α i β sa srednjom vrednošću dat je sledećim izrazom

$$\bar{x} = \beta + \frac{\gamma}{\alpha} \quad (3.3)$$

γ Euler- ova konstanta koja iznosi 0.5772 pa gornji izraz glasi:

$$\bar{x} = \beta + \frac{0.5772}{\alpha} \quad (3.4)$$

a izraz za standardnu devijaciju slučajno promenljive glasi:

$$S = \frac{\pi}{\alpha\sqrt{6}} = \frac{1.282}{\alpha} \quad (3.5)$$

S je standardna devijacija. Parametri α i β se obično određuju metodom momenata koju su predložili Fisher i Tippett (Chow, 1953):

$$\beta = \bar{x} - 0.450 S \quad (3.6)$$

$$\alpha = \frac{1.282}{S} \quad (3.7)$$

Za Gumbelovu raspodelu faktor učestalosti se određuje na osnovu izraza koji je dao Chow(1951):

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left(0.5772 + \ln \ln \frac{T}{T-1} \right) \quad (3.8)$$

gde je T povratni period, a vrednosti računskih kiša različitih povratnih perioda godišnjih maksimuma je procenjena kao:

$$X = \bar{x} + K_t S \quad (3.9)$$

Prilikom analize hidroloških podataka, za seriju podataka x_i sa n članova, koji su dobijeni formiranjem nizova na osnovu osmotrenih podataka pored određivanja verovatnoće, primenom neke od teorijskih funkcija raspodele, pojave svakog člana (Jevđević, 1956) to jest utvrđivanje verovatnoće prevazilaženja vrednosti slučajno promenljive, uobičajeno je da se odrede povratni periodi (izražava se u godinama) na osnovu verovatnoće prevazilaženja (p) jer je njihova primena velika u praksi, pošto se često prilikom projektovanja objekti različite namene vezuju za povratne periode, to jest za vreme između dva događaja iste verovatnoće prevazilaženja. Verovatnoća prevazilaženja slučajno promenljive i povratni period su obrnuto proporcionalni kao što je predstavljeno jednačinom:

$$T = \frac{1}{p} \quad (3.10)$$

3.1.3 Računske časovne kiše jakog intenziteta

U republici Srbiji, ITP krive nisu dostupne, u uniformnom obliku, za lokalitete na kojima postoje dovoljno dugi nizovi osmotrenih podataka jakih kiša. Imajući u vidu značaj definisanja odnosa ITP krivih, više autora je dalo predloga određivanja zavisnosti ITP ili HTP (visina kiše - trajanje-povratni period) krivih za pluviografske stanice sa dovoljno dugim nizom osmatranja (Janković, 1994). Zelenhasić i saradnici (1974) i Zelenhasić i Ruski (1991) su za 14 odnosno 16 lokaliteta u Srbiji odredili familije krivih verovatnoće pojave jakih kiša, za različite dužine vremenskih nizova i različita trajanja kiše. Za određivanje karakteristika jakih kiša za meteorološku stanicu Zlatibor korišćen je matematički model koju je razvio Janković (1994) za celu teritoriju Srbije, na osnovu vremenskih serija godišnjih maksimuma osmotrenih podataka, za različita trajanja kiše od 5 do 1440 minuta, za 30 pluviografske stanice u Srbiji bez popunjavanja vremenskih serija. Razvijena metodologija omogućava definisanje krivih ITP za jake kratkotrajne kiše na osnovu dnevnih gornjih ekstrema, primenom parametara razvijenog matematičkog modela. Metodologija je

verifikovana poređenjem sa osmotrenim vrednostima kratkotrajnih jakih kiša za meteorološku stanicu Loznica. Jovanović (1994) je predložio opšti izraz ITP zavisnosti:

$$I(T, P) = \frac{I_o(P)}{(AT+1)^B} \quad (3.11)$$

A i B su bezdimenzionalni parametri, $I_o(P)$ je granični, trenutni, intenzitet kiše, to jest, $\lim I(T,P)$ za $T \rightarrow 0$. Određivanje parametara modela za veći broj lokaliteta, omogućilo je grafički prikaz u formi izolinja za parametar B za celu teritoriju Srbije (Janković, 1994). Kako je parametre A i B moguće odrediti grafički, jasno je da se za neku lokaciju, vrednost graničnog intenziteta $I_o(P)$ mogu odrediti na osnovu vrednosti maksimalnih dnevnih kiša $H_d(P)$, a HTP kriva dobija sledeći oblik:

$$H(1440, P) = \frac{I_o(P)}{(1440A+1)^B} * 1440 \quad (3.12)$$

na osnovu gornjeg izraza sledi da je vrednost graničnog intenziteta:

$$I_o(P) = H(1440, P) \frac{(1440A+1)^B}{1440} \quad (3.13)$$

kada se usvoji da je $H(1440,P) = aH_d(P)$ dobija se sledeći izraz :

$$I_o(P) = aH_d(P) \frac{(1440A+1)^B}{1440} \quad (3.14)$$

uvođenjem gornje jednačine u opšti matematički oblik dobija se sledeći oblik ITP krive:

$$I(T, P) = \frac{a}{1440} \left(\frac{1440A+1}{AT+1} \right)^B * H_d(P) \quad (3.15)$$

odnosno HTP krive:

$$H(T, P) = \frac{aT}{1440} \left(\frac{1440A+1}{AT+1} \right)^B * H_d(P) \quad (3.16)$$

u gornjim jednačinama za ITP i HTP krive za kratkotrajne jake kiše $H_{(T,p)}$ je merodavna kiša (P), verovatnoće pojave (p), $a=1$ - konstanta za Srbiju, $A=0,3$ je konstanta za Srbiju, B=je parametar redukcije jakih kiša koji je prikazan u formi karte izolinja za celu Srbiju (Janković, 1994), T - trajanje merodavne kiše (min), $H(24h, P)$ je maksimalna visina kiše trajanja 24 sata osmotrena na pluviografskoj stanici.

3.2 METODE ZA ANALIZU TRENDOVA I GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA

3.2.1 Linerana regresija

Ova metoda koja ima široku primenu u proceni korelacije dve promenljive za koju je pretpostavljeno da je pravolinijska, korišćena je za vizuelnu ocenu prisustva trendova u osmotrenoj vremenskoj seriji suma dnevnih padavina i odabranim indeksima intenzivnih kiša na u skladu sa preporukama WMO priručnika (Klein Tank i saradnici, 2009). Pored toga linearna regresija korišćena je za okvirnu procenu korelacije odabranih komponenti i parametara sintetičkih jediničnih hidrograma na osnovu ukoliko se pretpostavi da je uticaj promenljive y na promenljivu x linearan opšti oblik jednačine linearne regresije glasi:

$$\bar{Y} = a + bx \quad (3.17)$$

a i b u gornjem izrazu su konstante. Ocena korelacije dve varijable se dobija na osnovu koeficijenta determinacije r, a njegov kvadratni koren je Pirsonov koeficijent korelacije dve promenljive. Formula za njegovo računanje primenom metoda najmanjih kvadrata ima oblik:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (3.18)$$

U praksi se obično smatra da, ukoliko je ovaj koeficijent manji od 0.30 linearna veza je neznatna, vrednosti od 0.5 do 0,7 pokazuju značajnu lineranu vezu, koja ima praktičnu važnost, dok vrednosti između 0.9 do 0,9 ukazuju na usku vezu, dok vrednosti > 0.9 znači jako usku vezu, ali prilikom donošenja zaključaka treba imati na umu da se veoma često se dešava da neki drugi, nelinearni oblik krive regresije ukaže na značajnu vezu dve slučajno promenljive (Vukadinović, 1970). Upotreba korelativne pravolinijske veze na logaritmovane ili druge izvedene vrednosti je našla široku primenu u hidrologiji (Jevđević, 1956).

3.2.2 Neparametarski Mann- Kendall test

Mnogo je situacija u statističkim analizama gde pretpostavka o normalnoj raspodeli podataka nije moguća. Imajući ovo u vidu, razvijene su alternativne metode poznate kao neparametarski testovi trenda u vremenskoj seriji (Vasiljević, 2008). Jedan od ovih testova je Mann – Kendall test, koji je prvi primenio Mann (1942) a nakon toga je Kendall (1962, 1975) razvio distribuciju test statistike koja se još naziva Mann – Kendall statistika. Ovaj test je, zahvaljujući mogućnosti primene u

analiziranju kako linearnih tako i nelinearnih trendova, našao široku primenu u analizama monotonih trendova u vremenskim serijama slučajnih promenjivih. Test je zasnovan na rangiranju članova vremenske serije tako da se svaki član niza poredi sa onima koji slede (US EPA, 2006; Sneyers, 1990). Ovaj test je primenjen u proceni trenda u vremenskim serijama osmotrenih podataka dnevnih suma padavina, primenom test statistike koja se računa kao:

$$\text{sign}_{(x_j-x_i)} \begin{cases} + & x_j > x_i \\ 0 & x_j = x_i \\ - & x_j < x_i \end{cases} \quad (3.29)$$

u gornjoj jednačini x_j je rang podataka za i od 1 do $n-1$, x_i je rang podataka za $j = i+1$, n , a n je broj godina vremenske serije. Test statistika S se računa kao:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3.20)$$

gornji izraz predstavlja razliku ukupnog broja pluseva i minusa. Ukoliko je S veliki pozitivan broj, postoji rastući trend u vremenskoj seriji, dok veliki negativan broj ukazuje na opadajući trend. U slučaju kada je S 0, nema trenda. U gornjim jednačinama, x_j i x_i su uzastopni članovi niza. Pošto je broj članova niza veći od 10, primenjena je sledeća formula za statistiku testa:

$$Z_0 = \frac{S - \text{sign}(S)}{\sqrt{V(S)}} \quad (3.21)$$

gde je Z_0 test statistika, a $V(S)$ je standardna devijacija:

$$V(S) = [n(n-1)(2n+5)] \quad (3.22)$$

Ukoliko u uzorku postoje grupe istih vrednosti gornja jednačina dobija sledeći oblik:

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^g t_j(t_j-1)(2t_j+5) \right] \quad (3.23)$$

Gde je g broj grupa sa istim vrednostima, dok je t_j broj članova grupe sa istim vrednostima. Pored toga, ovaj test omogućava procenu trenda za različite pragove značajnosti, najčešće za α 0.05 i 0.01 za region odbacivanja nulte hipoteze da nema trenda. Ukoliko je $|Z_0| > Z_{1-\alpha}$ odbacuje se nulta hipoteza da nema trenda u osmotrenim podacima. Kada je broj članova niza na koji se primenjuje

Mann – Kendall test veći od 10, moguća je aproksimacija test statistike normalnom distribucijom (US EPA, 2006).

Ukoliko se usvoji prag značajnosti α 0.05, kritična vrednost $Z_{(1-\alpha)}$ za normalnu raspodelu $Z_{(1-0.05)}$ i iznosi ± 1.96 . Ukoliko je vrednost test statistike $|Z_0| > Z_{1-\alpha}$ odbacuje se nulta hipoteza da nema trenda u osmotrenim podacima. Kada je vrednost test statistike S nula usvaja se nulta hipoteza (H_0) da nema trenda. Pored nulte hipoteze, testirane su i alternative hipoteze:

- H_A da postoji rastući trend ($S > 0$) ili opadajući trend ($S < 0$) za različite pragove značajnosti,
- H_B da je rastući ili opadajući trend statistički značajan za interval poverenja 0.05.

Na osnovu dobijenih vrednosti za test statistiku $|Z_0|$ ako je kritična vrednost manja od ± 1.96 detektovani su trendovi koji nisu statistički značajni za usvojeni prag značajnosti.

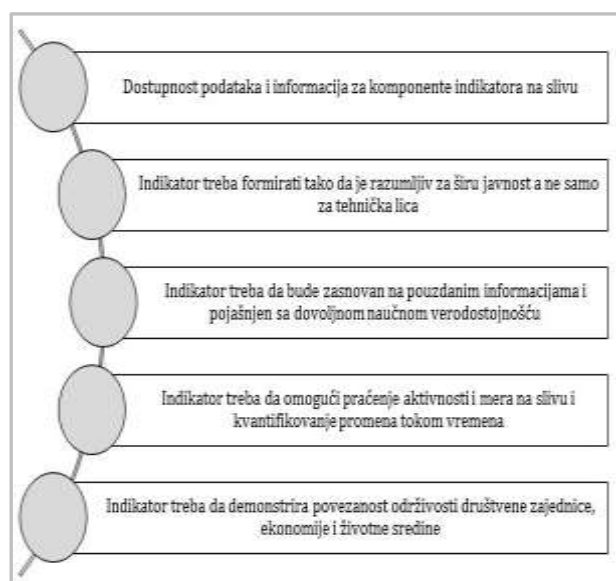
3.2.3 Box – Whisker Dijagrami (Box-Whisker Plots)

Ovi dijagrami (na engleskom Box- Whisker Plots) Imaju široku primenu u grafičkom predstavljanju sumarnih rezultata i predstavljanje mera disperzije podataka. Suština ovih dijagrama je da grafički prikazuju medijanu i kvartile od donjeg (minimum) do gornjeg kvartila (maksimum) unutar 1.5 puta interkvartilni raspon od minimuma do maksimuma. Veoma su korisni da se utvrdi raspon podataka za promenljivu koja se analizira u različitim vremenskim periodima, na različitim lokacijama i drugo. Ovi dijagrami su ne parametarski, daju samo sliku disperzije podataka iz nekog uzorka, bez pretpostavki o statističkoj distribuciji (McBean i Rovers, 1998). Prvi korak je određivanje medijane koja je 0.5 -ti kvantil, a nakon toga se određuju donji kvantil (0.25) i gornji kvantil (0.75). Ove analize i grafički prikaz disperzije rezultata odabranih komponenti indikatora retencionog kapaciteta su urađene primenom Excel programskog paketa.

3.3 KRITERIJUMI I METODE ZA ODREĐIVANJE KOMPONENTI IRKS

U skladu sa ciljevima istraživanja utvrđivanja uticaja režima padavina na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama, neophodno je izabrati komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva, koje pored padavina, utiču na retencioni kapacitet sliva. Prvi kriterijum za izbor komponenti je bio na osnovu odgovora na pitanje koja od komponenti direktno utiče na retencioni kapacitet neizučenog sliva i na koji način? Drugi kriterijum je za koji od njih postoji matematički definisan

izraz, kojim se može proceniti njegova veličina, uticaj na retenziranje padavina i formiranje direktnog površinskog oticaja imajući u vidu njihovu eksplicitnu vezu, da li omogućava procenu uticaja mera i njihovog uticaja na upravljanje vodama na slivu. Svakako treba istaći da su, na osnovu preporuka uputstva UN (2007) za razvoj indikatora ciljeva održivog razvoja (SDGs), komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva odabrane tako da imaju logičan koncept, nedvosmislenost, ograničen broj i fleksibilnost koja omogućava primenu na različitim slivovima. Takođe vodilo se računa da izbor komponenti omogući razvoj indikatora na osnovu kriterijuma koji za izvor indikatora na slivu navode Chaves i Alipaz (2007) na način prikazan na slici 3.3.

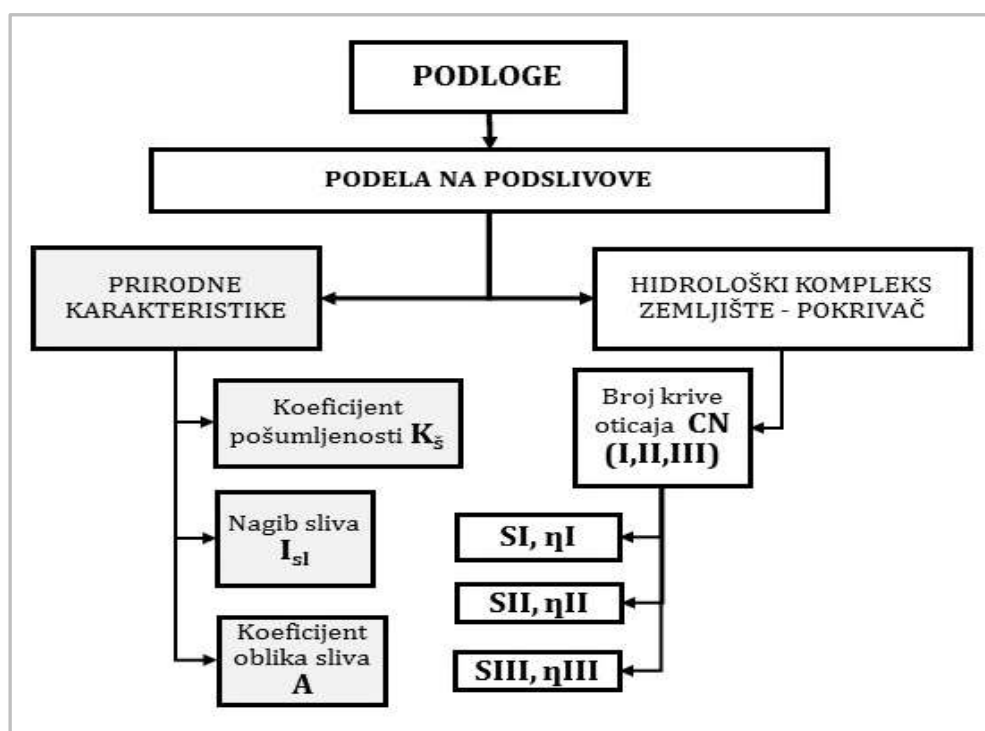


Slika 3.3 Kriterijumi za razvoj indikatora na slivu. Za grafički prikaz oblikovala B. Matić na osnovu: Chaves i Alipaz, 2007.

Na osnovu prethodno spomenutih kriterijuma i veze retencionog kapaciteta sliva i oticaja, odabrane su komponente koje jednoznačno utiču na proces oticaja sa bujičnog sliva sa izraženim erozionim procesima, tako da je njihov uticaj na brzinu i količinu oticaja sa sliva moguće nedvosmisleno kvantifikovati. Ovaj pristup izboru komponenti je omogućilo razvoj metodološkog okvira za vrednovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva na osnovu koga je izvodljivo proceniti mogućnosti primene i uticaja različitih mera koje doprinose povećanju retencionog kapaciteta sliva i doprinose ujednačenijem režimu oticaja sa sliva.

Imajući u vidu da je u pitanju neizučan sliv, podela područja istraživanja na podslivove koji imaju različite prirodne karakteristike i hidrološki kompleks zemljište - pokrivač (Slika 3.4), omogućila

je razvoj metodologije za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva i njenu primenu u proceni uticaja mera koje služe za povećanje retencionog kapaciteta. Na osnovu različitih scenarija, za uslove prethodne vlažnost zemljišta i mere, za različite prirodne karakteristike sliva kvantifikovan je indikator retencionog kapaciteta sliva i uticaj mera koje ga povećavaju.



Slika 3.4 Šematski prikaz metode za određivanje komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva

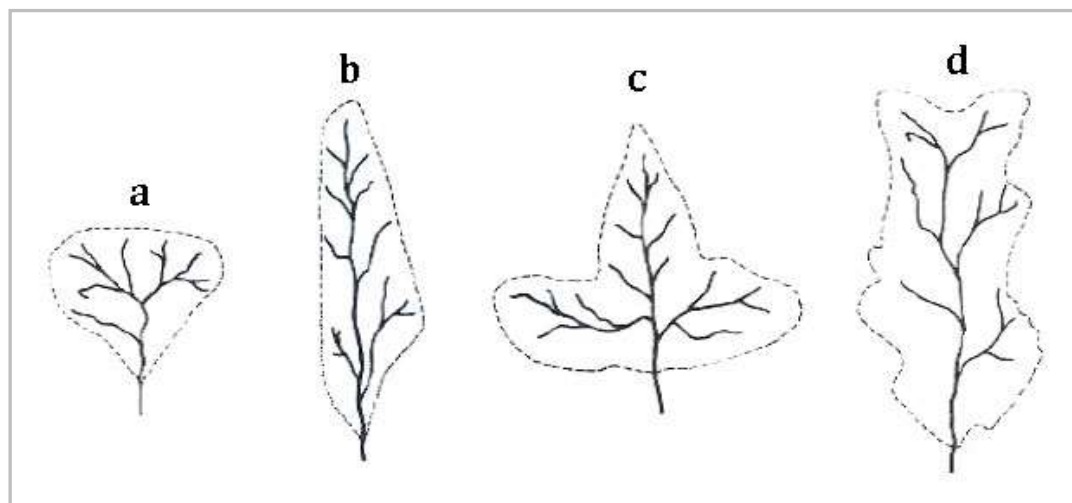
Kao prva komponenta odabran je potencijalno maksimalni retencioni kapacitet sliva S u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište pokrivač, dok je druga komponenta koeficijent oticaja jer predstavlja odnos direktnog površinskog oticaja (efektivne kiše) i kratkotrajne kišne epizode jakog intenziteta u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište pokrivač. Uticaj oblika sliva na oticaj i oblik hidrograma na izlaznom profilu prikazan je na slici 2.3, a utiče na brzinu pojave vršnog proticaja na način da što je bliži jedinici, to je brži oticaj sa sliva, a samim tim i manji potencijal sliva da retenzira vodu. (Gavrilović, 1972) a hidrološki uslovi na slivu su nepovoljni.

Nagib sliva ima negativan uticaj na retencioni kapacitet tako što je na strmim terenima kretanje vode brže, a samim tim se smanjuje njeno zadržavanje na slivu, što dovodi do formiranja bujičnih tokova sa poplavinim talasima koji se naglo formiraju i kratko traju (Kostadinov, 2008).

Pećinar (1969) ističe da je na slivovima sa izraženim nagibima terena sa evidentnim bujičnim tokovima i izraženim erozionim procesima održavanje postojećih površina pod šumama i pošumljavanje novih od ogromne važnosti, ali naglašava da su u borbi protiv erozije mnogo efikasnije niže i gušće šume zbog čega je obnavljanje šumskog fonda neophodno, pa je u skladu sa tim, kao jedna od komponenti koja direktno utiče na oticaj i retencioni kapacitet odabran koeficijent pošumljenosti jer što je njegova vrednost bliža jedinci, režim voda je ujednačeniji.

3.3.1 Prirodni činioci koji utiču na retencioni kapacitet sliva

Prvi korak u izučavanju prirodnih činilaca sliva bio je određivanje površinske vododelnice sliva, primenom programskog paketa ArcMap 10 koji ima integrisane alatke za automatsku delineaciju sliva na osnovu digitalnog modela terena (DEM). Pošto se ove alatke za automatsku delineaciju nisu pokazale pouzdane u praksi, definisanje sliva je urađeno "ručno" na osnovu DEM podloge. Na ovaj način, dobijene su karakteristike sliva, na području istraživanja, koje su od značaja za analizu prirodnih činilaca sliva kao što su površina sliva (F), dužine sliva (L) ili dužine od centoida sliva do izlaznog profila (L_c) i drugo. Jedna od prirodnih karakteristika sliva koja utiče na brzinu oticaja sa sliva je njegov oblik (Jevđević, 1956; Jovanović, 1990; Žugaj, 2010) a samim tim oblik sliva ukazuje na kapacitet sliva da retenzira padavine. Različiti oblici sliva prikazani su na slici 3.5. Sliv **a** (oblik lepeze) ima najnepovoljniji oblik za retenziranje vode jer je koncentracija nagla sa brzim i kratkotrajnim oticajem. Sliv **b** karakteriše račvanje korita u gornjem toku i ovo je povoljniji oblik sliva nego sliv **a**, jer je oticanje dugotrajnije. Sliv u obliku trougla, **c**, ima naglu koncentraciju ali dugotrajno oticanje, dok je najpovoljniji oblik sliva za retenziranje vode sliv **d** koji je izduženog "pravougaonog" oblika i ima ravnomerno račvanje.



Slika 3.5 Podela slivova prema obliku. Izvor: Gavrilović, 1972.

Za određivanje koeficijenta oblika sliva, jedne od komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva, korišćena je jednačina razvijena na osnovu klasifikacije bujičnih tokova Grdeličke klisure (Gavrilović, 1972):

$$A = 0.195 \frac{O}{L} \quad (3.24)$$

u gornjem izrazu A je koeficijent oblika sliva, bezdimenzionalna veličina, O je obim sliva a L je dužina sliva po matici glavnog vodotoka. Ovaj koeficijent je bezdimenzionalni i vrednosti su mu od 0 do 1, vrednosti koeficijenta oblika sliva bliski jedinici ukazuju na najnepovoljnije uslove za retenziranje vode na slivu.

Šume, kao jedan od tipova ekosistema imaju veliki potencijala da zadrže padavine (EEA, 2015) a samim tim imaju i regulacionu ulogu jer doprinose smanjenju formiranje brzih i naglih oticaja sa sliva. Imajući u vidu pozitivan uticaj šumskog pokrivača na oticaj sa sliva (Jevđević, 1956; Pećinar 1969) jer doprinosi ujednačenju vodnog režima na slivu (Gavrilović, 1972), doprinose retencionom kapacitetu sliva i smanjenju negativnih efekte kratkotrajnih jakih kiša, komponenta indikatora retencionog kapaciteta koeficijent pošumljenost sliva računata je na osnovu izraza (Gavrilović, 1972):

$$K_{\text{š}} = \frac{F_{\text{š}}}{F} \quad (3.25)$$

U gornjem izrazu K_s je bezdimenzionalni koeficijent pošumljenosti, koji se kreće u rasponu od 0 do 1, F_s je ukupna površina pod šumom na slivu a F je površina sliva. Što je vrednost K_s bliža jedinici, manja je mogućnost za formiranje naglih oticaja sa sliva i kolebanje vodostaja na izlaznom profilu.

U literaturi se navode različiti nagibi koji se koriste u analizama slivova i rečnih tokova, od nagibaa glavnog korita, uravnatog nagiba glavnog toka prosečan nagib toka, prosečan nagib sliva. U najopštijem obliku pad predstavlja odnos visinske razlike i dužine (toka, sliva, dužine od težišta sliva) i izražava se u promilima (m/km), procentima (m/m) a može biti i bezdimenzionalan. Prosečan nagib sliva i uravnati pad toka su računati primenom alata ArcMap na DEM na području istraživanja. U najopštijem obliku pad se može podvesti pod izraz:

$$I = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.26)$$

Teorijsko objašnjenje i način izračunavanja uravnatog pada toka može se naći u hidrološkoj literaturi (Lane i saradnici, 1975; Jovanović. 1990) isto važi i za ostale prethodno pomenute nagibe (Zelenhasić i Ruski, 1991; Žugaj, 2010).

3.3.2 Metodologija za određivanje odnosa padavine – oticaj na slivovima

Metod krivih oticaja (curve number -CN) poznat još i kao SCS , je model razvijen od strane USDA NRCS (prethodno USDA SCS) za procenu direktnog površinskog oticaja sa sliva u funkciji padavina. U početku je model bio razvijen za primenu na malim neurbanizovanim slivovima, ali je zbog velikog uspeha u primeni (Chin, 2000) našao primenu i u urbanim područjima. Ova metoda je zasnovana na podeli padavina na 3 komponente. Prva komponenta je početni gubitak (I_a) kojim su obuhvaćene intercepcija, infiltracija i površinsko akumuliranje padavina pre početka oticaja. Druga komponenta je maksimalno potencijalni kapacitet sliva (S) u funkciji broja krive oticaja (CN) koji zavisi od hidrološkog kompleksa pokrivača i zemljišta. Treća komponenta je površinski oticaj za koju se u literaturi još koriste i pojmovi efektivne kiše. U skladu sa tim, jednačina CN modela za određivanje odnosa padavine-oticaj primenom bojeva krivih oticaja je:

$$Q_o = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} (mm) \quad (3.27)$$

U gornjem izrazu Q_o je visina sloja površinskog oticaja (za koji se još koriste izrazi efektivna kiša i neto padavine), I_a je zbir početnih gubitaka (intercepcija, infiltracija i površinsko akumuliranje

padavina pre početka oticaja) u zavisnosti od hidrološkog kompleksa zemljišta i pokrivača (Đorović, 1984). S je potencijalno maksimalna retencija sliva, a P visina kišne epizode određene pojave i trajanja. Model je primenjiv samo za uslov da je $P > I_a$.

Na osnovu eksperimenta na velikom broju malih, neurbanizovanih slivova u Sjedinjenim Američkim Državama, empirijski podaci ukazuju na to da je odnos početnih gubitaka I_a i potencijalno maksimalne retencije sliva S :

$$I_a = 0.2S \quad (3.28)$$

Iako se u literaturi može naći da neki autori predlažu drugačiji odnos početnih gubitaka i maksimalno potencijalne retencije sliva (Chin, 2000) ovaj odnos, zbog široke praktične primene korišćen za procenu uticaja hidrološkog kompleksa zemljište pokrivač na direktni površinski oticaj sa sliva. U skladu sa tim, a na osnovu (3.28), konačni oblika jednačine (3.27) za procenu direktnog oticaja sa sliva dobija oblik:

$$Q_o = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (\text{mm}) \quad (3.29)$$

Jedan od najvećih izazova u primeni CN modela padavine – površinski oticaj je utvrđivanje dovoljno preciznih vrednosti za potencijalno maksimalnu retenciju sliva u funkciji brojeva krivih (CN) oticaja. Prvi korak neophodan za primenu ovog modela je da se definišu vodno – zemljišne i hidrološke karakteristike sliva kako bi se procenili brojevi krivih oticaja (CN) za normalne uslove prethodne vlažnosti (CNII) za različite tipove tla i klase zemljišnog pokrivača (CLC 2012). To se postiže definisanjem svih kombinacija hidrološke klase zemljišta (HSG) i korišćenja zemljišta da bi se odredili brojevi krivih za svaku od njih (USA NRCS, 2004). Na području istraživanja ovi brojevi, za normalne uslove vlažnosti, su utvrđeni na osnovu dostupnih podloga za HSG (Drobnjak, 2016) i brojeva CN na osnovu baze podataka CLC 2012 kao što je prikazano kod Zlatanovića (2013). Pored toga, prilikom definisanja hidrološke grupe zemljišta razmotrene su i hidro-geološke karakteristike područja istraživanja na osnovu dostupnih podloga i fondovske dokumentacije u Institutu za vodoprivredu Jaroslav Černi, kao i ostali dostupni podaci u literaturi (Đorović, 1984; Jovanović, 1990; Chin, 2000).

Hümann i saradnici (2011) su na osnovu rezultata na eksperimentalnom terenu sa izraženim nagibima analizirali uticaj različitih vrsta šuma i tipa zemljišta na formiranje površinskog oticaja

i zaključili da je i pored značajnog povoljnog uticaja šuma na režim oticaja, uticaj tipa zemljišta mnogo veći.

Za kategorizaciju hidroloških grupa zemljišta (HSG), od A do D, razmatrane su karakteristike koje su detaljno prikazane u hidrološkoj literaturi (Đorović, 1987; Chin 2000; NRCS, 2004) na način prikazan u tabeli 3.1.

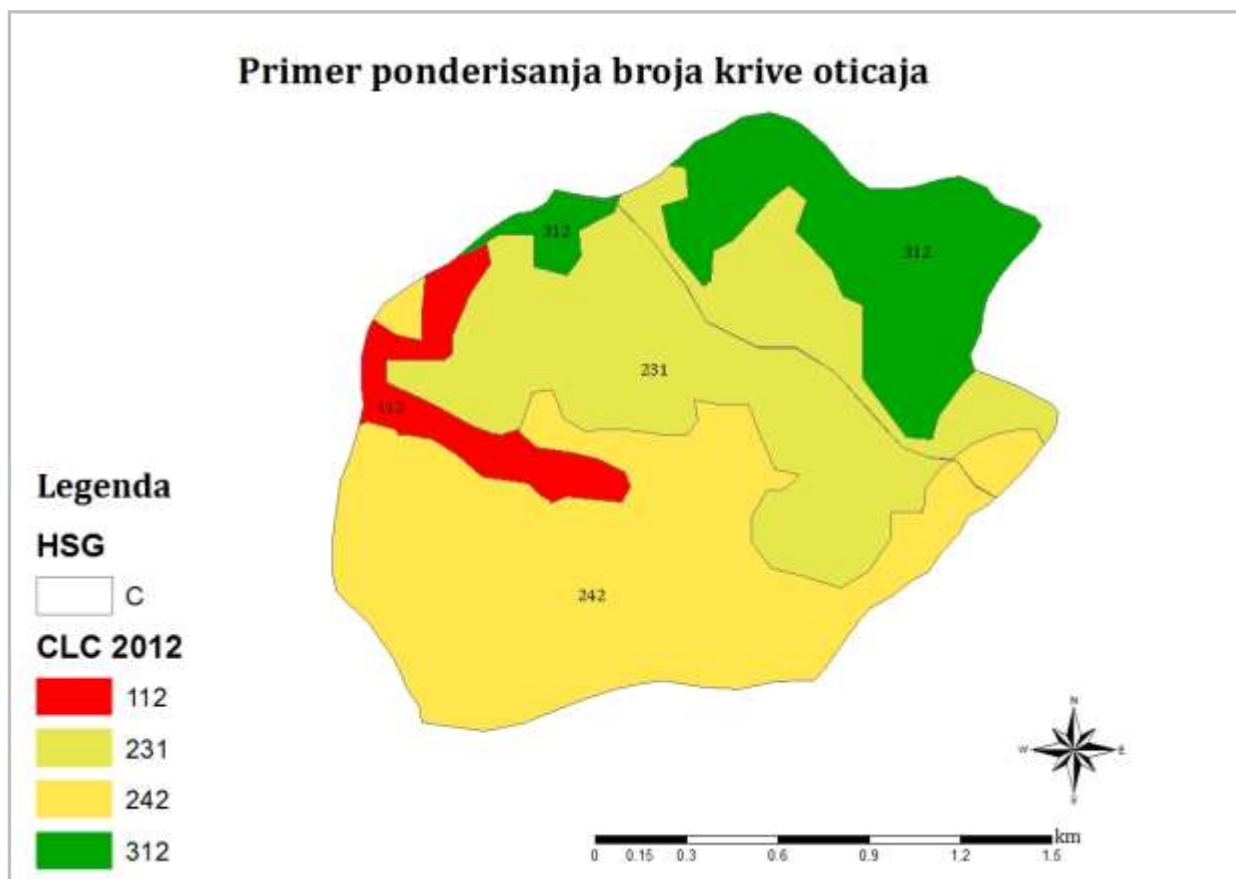
Tabela 3.1 Kategorizacija hidroloških grupa zemljišta za određivanje broja krive oticaja. Na osnovu Đorović (1987) i Chin(2000) prilagodila B.Matić

| HSG | A | B | C | D |
|-----------------------|------------------------------|---|--|---|
| Infiltracija | > 7.6 | 3.8 - 7.6 | 1.3-3.8 | 0.0 - 1.3 |
| Karakteristike | uglavnom peskovi i šljunkovi | srednje dobro do dobro ocedljiva zemljišta sa srednje finom do srednje grubom teksturom (Đorović, 1987) | slaba infiltracija, uglavnom imaju sloj koji sprečava kretanje vode naniže | sastoje se uglavnom od glinovitih zemljišta, zemljišta sa glinenim horizontom blizu površine ili su to plitka zemljišta ispod kojih se nalazi skoro nepopustljiva podloga |
| RP | visok | dobar | slab | loš |
| QP | loš | slab | dobar | visok |

U gornjoj tabeli RP označava retencioni potencijal zemljišta a QP potencijal oticaja sa sliva u funkciji hidrološke grupe zemljišta (HSG). Ukratko, Hidrološka grupa zemljišta (HSG) A ima najmanje brojeve krivih oticaja (CN) ukoliko je sliv sa velikim procentom pošumljenosti. Najmanji brojevi krivih oticaja se najčešće javljaju na urbanizovanim područjima sa malim procentom vegetacionog pokrivača ili kod plitkih zemljišta na skoro nepropusnim podlogama.

Kako u praksi ne postoji sliv sa uniformnom hidrološkom grupom zemljišta (HSG) i korišćenjem zemljišta koje je identično na celom slivu, brojevi krivih oticaja se dobijaju ponderisanjem, tako što se za vrednost krive oticaja odredi pripadajući udeo površine u površini sliva (Jovanović, Chin 2013) za različite klase CLC i odgovarajuće hidrološke klase zemljišta. Na ovaj način su procenjene vrednosti krivih oticaja za normalne uslove prethodne vlažnosti tla za celo područje istraživanja kao i za slivove (podslivove) dobijene dekompozicijom područja istraživanja. Pristup

korišćen za procenu broja krive oticaja na slivu sa kompleksnim korišćenjima zemljišta, za normalne prethodne uslove vlažnosti, prikazan je u tabeli 3.2. Prvi korak za određivanje CN je preklapanje podloga (digitalizovanih) koje sadrže informacije o hidrološkoj grupi zemljišta (HSG) i CLC 2012 na području istraživanja (slika 3.6) a nakon toga je za svaku klasu vegetacionog pokrivača i korišćenja zemljišta (CLC) i HSG, definisana pripadajuća površina i njen procentualni udeo u ukupnoj površini sliva, na način prikazan u tabeli 3.2 za sliv prikazan na slici 3.6.



Slika 3.6 Primer podloge za određivanje ponderisanog broja krive oticaja (CN)

Na gornjoj slici kodovi od 112 do 312 označavaju prostornu raspodelu klasa zemljišnog pokrivača na osnovu podataka dostupnih u okviru CLC 2012 za područje istraživanja. Na osnovu prikazanog HSG je C na celom slivu. Kompleks zemljišnog pokrivača se za ovaj primer sastoji od necelovitog urbanog područja (112), pašnjaka (231), kompleksa kultivisanih parcela (242) i četinarskih šuma (312). Za svaki tip zemljišnog pokrivača određena je površina (F_{CLC}) i njen procentualni udeo u ukupnoj površini sliva koji se množi sa brojem krive koja zavisi od zemljišnog pokrivača i hidrološke grupe zemljišta koja je u konkretnom primeru C. Kao što se može videti iz tabele 3.2,

ponderisani broj krive oticaja za sliv površine F dobija se kada se zbir proizvoda množenja procentualnog učešća svake klase zemljišta odgovarajućeg broja krive podeli sa 100. Svakako treba napomenuti da najmanje brojeve krivih oticaja za sve sve HSG imaju četinarske i mešovite šume, dok su najveći brojevi krivih najveći za aerodrome i vodene površine. Maksimalni retencioni kapacitet sliva (S) je najmanji za najveći broj CN a raste sa opadanjem broja krive oticaja.

Tabela 3.2 Tabelarni prikaz postupka određivanje ponderisanog broja krive oticaja u funkciji hidrološke grupe zemljišta i klase zemljišnog pokrivača. Prilagodila za tabelarni prikaz B. Matić na osnovu: Chin, 2000.

| CLC 2012 | HSG | CN | F _{CLC} | % od F | CN(CLC)* % (F) |
|----------|-----|--------------------|------------------|---------------------------|--|
| 112 | C | CN _{112C} | F ₁₁₂ | (F ₁₁₂ /F)/100 | CN _{112C} *(F ₁₁₂ /F)/100 |
| 231 | C | CN _{231C} | F ₂₃₁ | (F ₂₃₁ /F)/100 | CN _{231C} *(F ₂₃₁ /F)/100 |
| 242 | C | CN _{242C} | F ₂₄₂ | (F ₂₄₂ /F)/100 | CN _{242C} *(F ₂₄₂ /F)/100 |
| 312 | C | CN _{312C} | F ₃₁₂ | (F ₃₁₂ /F)/100 | CN _{312C} *(F ₃₁₂ /F)/100 |
| Sliv | | | F | 100 | CN = (∑CN _{CLC} C* (F _{CLC} /F)*100)/100 |

Za računanje vrednosti CN I za prethodne uslove vlažnosti ispod proseka i CN III za prethodne uslove vlažnosti iznad proseka, postoji nekoliko najčešće korišćenih izraza (Mishra i Singh, 2007) koji su na osnovu komparativne analize ovih izraza, preporučili korišćenje izraza za određivanje CN I i CN III koji su predložili Hawkins i saradnici (1985) za procenu njihovih vrednosti na osnovu broja krive oticaja za normalne prethodne uslove vlažnosti zemljišta:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}} \quad (3.30)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 - 0.0057CN_{II}} \quad (3.31)$$

Na osnovu vrednosti brojeva krivih oticaja određena je potencijalna maksimalna retencija sliva (S), za koji se u literaturi može naći i izraz deficit vlage (Jovanović, 1990), za sva tri prethodna uslova vlažnosti tla, primenom sledećih matematičkih izraza (Chin, 2000):

$$S_{II}=25.4 \left(\frac{1000}{CN_{II}} - 10 \right) (\text{mm}) \quad (3.32)$$

$$S_I=25.4 \left(\frac{1000}{CN_I} - 10 \right) (\text{mm}) \quad (3.33)$$

$$S_{III}=25.4 \left(\frac{1000}{CN_{III}} - 10 \right) (\text{mm}) \quad (3.34)$$

Oticaj sa sliva i Sintetički Jedinični Hidrogram (SJH)

Ukupna zapremina površinskog oticaja sa sliva se računa kao:

$$V = Q_o \times A \quad (\text{m}^3) \quad (3.35)$$

U gornjim jednačinama Q_o je visina sloja površinskog oticaja (efektivna kiša), A površina sliva, V zapremina vode. Za verifikaciju procene brojeva krivih oticaja na području istraživanja i maksimalnog potencijalnog retencionog kapaciteta sliva, u zavisnosti od hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač, upotrebljena je jednačina (3.35). Još jedna metoda koji se koristi za procenu režima oticaja sa sliva je;

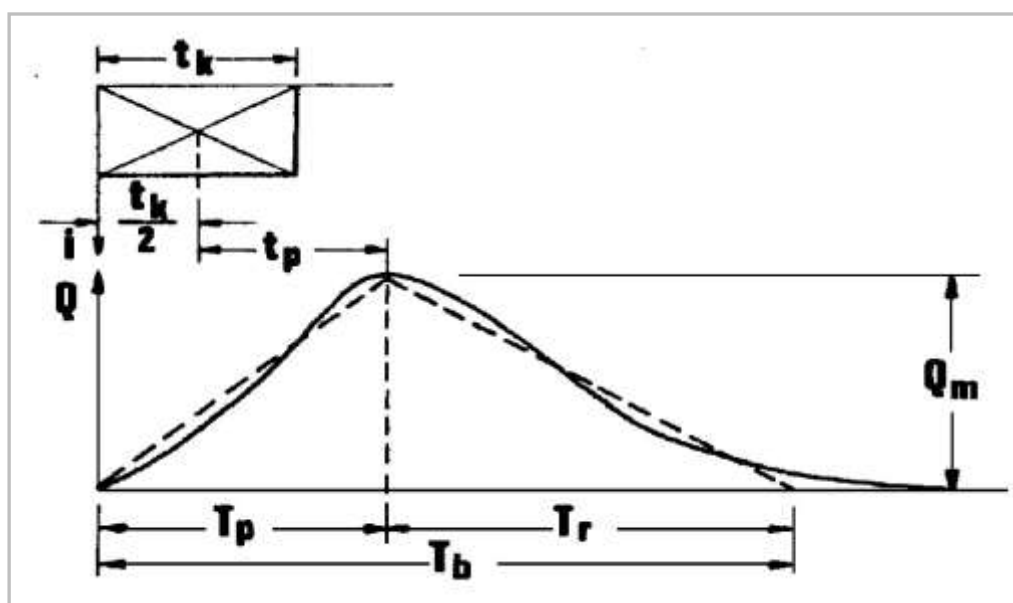
$$\eta = \frac{Q_o}{P} \quad (3.36)$$

Gde je η bezdimenzionalno veličina koja predstavlja koeficijent oticaja sa sliva kao odnos sloja oticaja (efektivne kiše) i pale kiše, ukoliko se brojilac i imenilac pomnože sa površinom sliva, koeficijent oticaja predstavlja odnos zapremine otekle i pale vode. Za istu kišnu epizodu nad slivovima koji imaju različite vrednosti CN, koeficijent oticaja je veći ukoliko je broj krive veći. Kako se vrednost maksimalnog retencionog kapaciteta S povećava sa smanjenjem CN, jasno je da je sa povećanjem koeficijenta oticaja opada kapacitet sliva da retenzira vodu.

Pored određivanja zapremine otekle vode sa sliva (V) i koeficijenta oticaja (η) za hidrološke analize je od velikog značaja simulacija hidroloških procesa (Gassman i dr., 2007) radi određivanja hidrograma i vršnog proticaja na izlaznom profilu sliva. Model koji je našao široku primenu za transformaciju hijetograma kiša jakog intenziteta u hidrogram direktnog oticaja vode

je jedinični hidrogram. Ovaj pristup je razvio Sherman i definisao jedinični hidrogram kao hidrogram površinskog oticaja koji zavisi od visine efektivne kiše 1inč (25.4 mm) za trajanje T časova koja je ravnomerno raspoređena u vremenu i prostoru (Chow i saradnici, 1986). Za jedan sliv se može konstruisati jedinični hidrogram bilo kog trajanja kiše (Jovanović, 1990) ukoliko se zadovolji uslov da je T_k manje od vremena koncentracije sliva, dok Jevđević (1956) daje preporuku da T_k , za slivove čija je površina manja od 50 km², treba da bude od 1/2 do 1/3 vremena koncentracije.

U situacijama kada na izlaznom profilu nisu vršena merenja računski talas Q_{max} se može odrediti na osnovu sintetičkog jediničnog hidrograma (SJH) čija aproksimacija trouglom je prikazana na slici 3.7.



Slika 3.7 Aproksimacije sintetičkog jediničnog hidrograma trouglom.
Izvor: Jovanović,1990.

Određivanje sintetičkog jediničnog hidrograma moguće je primenom brojnih formula i nomograma koji daju vezu između maksimalnih proticaja na izlaznim profilima i vremenske baze hidrograma (Chow, 1986) u funkciji vremena kašnjenja sliva (t_p) koje zavisi pada toka i dužine.

Postoje mnogi empirijski izrazi za određivanje vremena kašnjenja sliva. Maksimalni proticaji na izlaznim profilima podslivova, za koje je prikladniji izraz hidrološke jedinice za modeliranje, na području istraživanja primenom sintetičkog jediničnog hidrograma za potrebe izrade ove disertacije određeni su na osnovu empirijskog izraza za vreme kašnjenja sliva (t_p) koji su razvili

Jovanović i Radić (1986), na osnovu podataka sa više eksperimentalnih slivova na slivu Velike Morave, na koje utiče parametar a , trajanje kiše (t_k) i vreme kašnjenja trenutnog jediničnog hidrograma (t_o) koje se određuje na osnovu izraza:

$$t_o = 0.40L^{0.67} \left(\frac{LL_c}{\sqrt{i_{ur}}} \right)^{0.086} \quad (\text{čas}) \quad (3.37)$$

Gornja jednačina predstavlja empirijski izraz za vreme kašnjenja trenutnog jediničnog hidrograma (Jovanović i Radić, 1980) dobijen na osnovu osmatranja na slivu Velike Morave. To je apstraktni pojam, koji je posledica trenutnog ulaza jedinične zapremine neto kiše, i predstavlja zbirni uticaj parametara sliva, kao što su dužine (L i L_c) i uravnati pad toka na maksimalnu ordinatu hidrograma. L je dužina glavnog toka, L_c je rastojanje od težišta sliva do izlaznog profila, a i_{ur} je uravnati pad toka u %.

$$t_p = t_o + a * t_k \quad (\text{čas}) \quad (3.38)$$

u gornjem izrazu t_p je vreme kašnjenja sliva, to jest vreme od težišta efektivne kiše do vremena pojave vršnog proticaja (Q_m) hidrograma u odnosu na težište efektivne kiše, a t_k je trajanje efektivne kiše. Koeficijent a u gornjem izrazu je parametar koji zavisi od površine sliva i može se usvojiti vrednost od 0.3 za slivove površine do 30 km² i ta vrednost je primenjena u određivanju sintetičkih jediničnih hidrograma. Vremenska baza hidrograma (T_b) je zbir vremena podizanja (T_p) i retardacije hidrograma (T_r)

$$T_B = T_p + T_r \quad (\text{čas}) \quad (3.39)$$

a vreme podizanja hidrograma se računa na osnovu:

$$T_p = \frac{t_k}{2} + t_p \quad (\text{čas}) \quad (3.40)$$

dok je odnos vremena retardacije i vremena podizanja hidrograma stalan za sliv i definisan je faktorom K :

$$K = \frac{T_r}{T_p} \quad (3.41)$$

Ovaj faktor za hidrološki homogene slivove zavisi od površine sliva i ova zavisnost je pokazana za sliv Velike Morave na slici 2.122 (Jovanović, 1990). Uvođenjem ovog izraza u jednačinu (3.39) dobija se:

$$T_B = T_p(1 + K) \quad (\text{čas}) \quad (3.42)$$

Kako za sintetički jedinični hidrogram oblika trougla, važi zakonitost da je:

$$Q_o F = \frac{0.56F}{T_b} \quad (3.43)$$

Maksimalna ordinata hidrograma, vršni proticaj na izlaznom profilu, iznosi:

$$Q_m = \frac{2FQ_o}{T_b} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.44)$$

Kako u gornjoj jednačini promenljive imaju dimenzije Q_m (m^3/s), Q_o (mm), F (km^2) i T_b (h), jednačina (3.44) dobija oblik na osnovu koga su računati maksimalni proticaji za sintetičke jedinične hidrograme:

$$Q_m = 0.56 \frac{FQ_o}{T_b} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.45)$$

3.4 METODE ZA ODREĐIVANJE ZNAČAJA KOMPONENTI IRKS I IZBOR NWRM

3.4.1 Određivanje težinskih koeficijenata komponenti indikatora i predloženih mera

Osnovni cilj razvoja bilo kog indikatora je da se na razumljiv način kvantifikuju složeni i kompleksni procesi (retencioni kapacitet sliva) na koje utiču mnogi faktori (prirodne karakteristike, ljudske aktivnosti, padavine, hidrološki kompleks zemljište - pokrivač).

Indikatori predstavljaju agregaciju faktora i procesa koji utiču na indikator u matematičkom obliku koji treba da, u meri u kojoj je to moguće, pruži okvirnu sliku u kojoj meri svaka od komponenti indikatora utiče na njegovu vrednost. Za definisanje broja komponenti indikatora ne postoji jasno utvrđena procedura, nego ona zavisi od problema koji se izučava. Na osnovu literature (UN 2007; GWP i INBO, 2009) ovaj broj ne treba da bude prevelik i treba se voditi idejom da izbor komponenti omogući okvirno kvantifikovanje i procenu procesa koji se izučava. Za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva usvojen je matematički izraz, koji u opštem obliku glasi:

$$IRKS = \sum_{i=1}^n W_i * K_i \quad (3.46)$$

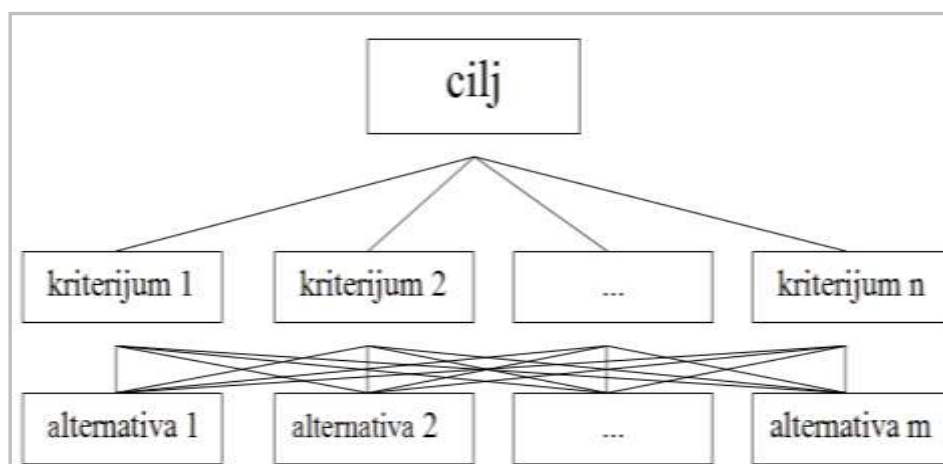
U gornjem izrazu IRKS je indikator retencionog kapaciteta sliva, n je broj komponenti K_i , a W_i težinski koeficijent za komponentu K_i . Kako se može videti iz gornje jednačine, indikator retencionog kapaciteta je zbir različitih komponenti čiji se uticaj na njegove vrednosti određuje težinskim koeficijentima. Da bi se utvrdio uticaj svake komponente K_i na indikator retencionog kapaciteta (odredili težinski koeficijenti W_i) primenjena je višekriterijumska metoda analitički hijerarhijski proces (AHP) čiju idejnu i matematičku postavku je dao Sati (Saaty, 1980).

Za primenu težinskih koeficijenata, neophodno je komponente indikatora retencionog kapaciteta normalizovati i jednačinu dovesti na istu metriku i bezdimenzionalnost. Da bi se zadovoljio ovaj uslov, komponente indikatora retencionog kapaciteta su normalizovane tako da se vrednosti svake od njih mogu prikazati numerički u rasponu od 0 do 1. Kao rezultat normalizacije komponenti indikatora retencionog kapaciteta i uticaja koje odabrane komponente imaju na vrednost indikatora retencionog kapaciteta sliva, jednačina (3.46) dobija oblik:

$$IRKS = W_1 * (1 - \eta) + W_2 * S_n + W_3 * K_s + W_4 * (1 - I_{sl}) + W_5 * (1 - A) \quad (3.47)$$

Da bi se vrednosti S mogle prikazati bezdimenzionalno u rasponu od 0-1 u jednačini za IRKS je uvedena promenljiva S_n koja predstavlja količnik zapremine maksimalno potencijalne retenzije za svaki podsliv i zapremine maksimalno potencijalne retenzije celog sliva. Na osnovu gornjeg izraza jasno je da sa povećanjem koeficijenta oticaja (η), pada sliva (I_{sl}) i koeficijenta oblika sliva (A) vrednost indikatora retencionog kapaciteta sliva opada, dok sa povećanjem maksimalno potencijalnog retencionog kapaciteta sliva (S), koji je u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač, kao i koeficijenta pošumljenosti K_s vrednost indikatora retencionog kapaciteta sliva raste.

AHP metod predstavlja pogodan pristup za rešavanje kompleksnih inženjerskih problema koji zahtevaju višekriterijumsku analizu, kao što su kompleksni problemi upravljanja vodama i vodoprivrednim objektima (Bajčetić, 2010; Srđević i Srđević, 2014), zaštita životne sredine (Vasiljević- Zelenović i saradnici, 2012), efikasnost malih retenzija kao usluge ekosistema na smanjenje suša i poplava (Mrozik i Idczak, 2017). Za primenu ove metode višekriterijumske analize neophodan je prikaz problema u vidu hijerarhije na čijem vrhu je cilj, dok se kriterijumi, pod kriterijumi i alternative nalaze na nižim nivoima kao što je prikazano na slici 3.8.



Slika 3.8 Šematski prikaz hijerarhije problema u AHP-u. Izvor: Srđević i saradnici, 2009.

Nakon formiranja hijerarhije, elementi jednog nivoa hijerarhije porede se međusobno u parovima primenom tzv. Satijeve skale relativnog značaja (tabela 3.3). Rezultati poređenja smeštaju se u matricu poređenja A.

Tabela 3.3 Satijeva skala relativnog značaja (Saaty, 1980)

| Definicija | Asocirana numerička vrednost |
|-------------------------|------------------------------|
| Isti značaj | 1 |
| Slaba dominantnost | 3 |
| Jaka dominantnost | 5 |
| Veoma jaka dominantnost | 7 |
| Apsolutna dominantnost | 9 |
| Međuvrednosti | 2,4,6,8 |

Jednak značaj dva elementa izražen je numeričkom vrednošću 1, a apsolutni značaj jednog elementa u odnosu na drugi brojem 9. U slučaju hijerarhije sa tri nivoa (cilj, kriterijumi, alternative), prvi korak u primeni AHP metoda je poređenje izabranih kriterijuma po intenzitetu značaja u odnosu na cilj i određivanje vektora težinskih vrednosti kriterijuma (matematički postupak određivanja težina dat je u sledećem pod poglavlju). Sledeći korak je međusobno poređenje alternativa u odnosu na svaki kriterijum posebno i određivanje lokalnih vektora (za

svaki kriterijum) težinskih vrednosti alternativa (Srđević i saradnici, 2009). Ovo znači da će lokalnih vektora težinskih vrednosti alternativa biti koliko ima kriterijuma. Konačan rezultat, odnosno identifikovanje najbolje alternative, dobija se sintezom lokalnih vektora težina sa težinama kriterijuma i određivanjem kompozitnog vektora težina alternativa. (Bajčetić, 2010) Najbolja alternativa je ona koja ima najveću težinsku vrednost. Kvalitet metoda je što za sve elemente odlučivanja (kriterijume i alternative) proizvodi kardinalnu informaciju o relativnom značaju elemenata, a istovremeno omogućava i njihovo rangiranje (ordinalna informacija).

Izračunavanje težinskih vrednosti elemenata hijerarhije

Neka je n broj elemenata u jednom nivou hijerarhije. U 'savršenom svetu', matrica A , u koju se smeštaju rezultati poređenja a_{ij} ,

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

bila bi ista kao sledeća matrica:

$$X = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

gde je w_i relativni težinski koeficijent elementa i (Saaty, 1980).

Kako navode Srđević i saradnici (2009) predložene su različite metode da bi se iz matrice A izdvojile vrednosti vektora težinskih koeficijenata, $\{w_i\}$, koje bi bile bliske aproksimacije odgovarajućih elemenata matrice X . Jedan od načina je da se za matricu A najpre odredi njena maksimalna sopstvena vrednost, λ_{max} , a zatim i odgovarajući vektor sopstvenih vrednosti koji se može usvojiti kao vektor približnih vrednosti težinskih koeficijenata, $\{w_i\}$ (Srđević i dr., 2009; Bajčetić, 2010; Kubicz i dr., 2015). Naime, važi:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

i vektor $w = \{w_i\}$ se može dobiti rešavanjem sledećeg sistema homogenih linearnih jednačina:

$$Aw = nw \text{ ili } (A - nI)w = 0 \quad (3.51)$$

3.4.2 Klasni intervali i normalizacija podataka

Broj optimalnih klasnih intervala nije teorijski rešen, ali nije poželjno da broj bude prevelik, a ni suviše mali jer to za rezultat ima zbijanje podataka u par kategorija, što može dovesti do gubitka informacija (Srebrenović, 1986). Primena klasnih intervala omogućava podelu osmotrenih podataka u klase i veoma je korisna za prvu procenu apsolutne i relativne učestalosti slučajne promenljive u seriji podataka i grafički i tabelarni prikaz ovih učestalosti. Svakako je važno napomenuti da klasni intervali omogućavaju i poređenje slučajno promenljivih koje imaju različite jedinice mere. Pored primene neke od formula, za broj klasnih intervala (K) se može usvojiti broj koji omogućava agregaciju informacija o različitim slučajnim promenljivim koje utiču na neke prirodne procese, na primer prilikom razvoja indikatora. Bez obzira da li se primenjuje neki od empirijskih obrazaca koji daje broj klasnih intervala u funkciji logaritma veličine uzorka, u zavisnosti od standardne devijacije uzorka ili na osnovu slobodne procene, raspon klasnih intervala (ΔK) se određuje po sledećoj formuli:

$$\Delta K = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N_k} \quad (3.52)$$

$X_{\max} - X_{\min}$ je razlika između najmanje i najveće promenljive u uzorku, N_k je broj klasnih intervala.

3.4.3 Metode i kriterijumi za odabir NWRM

Za analizu potencijalnih lokacija mera i površina na kojima se mogu primeniti korišćen je ArcGIS. U katalogu NWRM (EU, 2014) mera nalazi se ukupno 53 mere koje su podeljene na četiri osnovne kategorije: Mere pošumljavanja (14 mera), poljoprivredne mere (13 mera), urbane mere (12 mera) i hidromorfološke mere (14 mera). Na osnovu prirodnih karakteristika (izraženi nagibi terena i geološka i pedološka podloga su erodibilne, Drobnjak, 2016) sliva, uočenih problema na slivu i u skladu sa uputstvima za izbor mera (Strosser i dr., 2015) razmatrane su NWRM (osim urbanih, pošto se radi o neizučenom slivu) koje je moguće primeniti na području istraživanja. Važno je napomenuti da ove mere nije preporučljivo primenjivati na velikim površinama, da se one mogu integrisati u postojeće mere i da one ne rešavaju probleme velikih voda sa malom verovatnoćom pojave (velikim povratnim periodima). U katalogu mera NWRM (2014, EU) za svaku od mera postoji opis pozitivnog uticaja (nizak, srednji, visok), usluge ekosistema na koju utiče, kako doprinosi ostvarivanju ciljeva ODV, direktive o poplavama, i drugo, kao i uputstvo za dimenzionisanje i izbor lokacije (Tabela 3.4). Podaci prikazani u tabeli su kratka sinteza, samo ilustrativno, u katalogu mera se mogu naći mnogo detaljniji podaci, za svaki od kriterijuma prikazanih u tabeli, koji su dati na 10 strana za svaku od mera.

Tabela 3.4 Kriterijumi za izbor NWRM

| Mera | Uticaj | ESS | Doprinos ostvarivanju ciljeva | Dimenzionisanje |
|-------------|-------------------|------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| AM10 | Erozija i Oticaaj | Regulacija | ODV i Direktiva o Poplavama | F od 0 do 1 km ² |
| NM1 | Erozija i Oticaaj | Regulacija | ODV i Direktiva o Poplavama | nije jasno definisano |
| FM1 | Erozija i Oticaaj | Regulacija | ODV i Direktiva o Poplavama | F od 0 do 100 km ² |

U gornjoj tabeli oznaka AM10 se odnosi na prirodno terasiranje (po izohipsama), NM1 je hidromorfološka mera izgradnje retenzija a FM1 je mera uspostavljanja i održavanja riparijalnih šuma. Dimenzije retenzija su razmatrane i usvajane na način kao je opisano kod Mioduszewski (2014) za male retenzije u ruralnim oblastima.

4. ANALIZE I REZULTATI

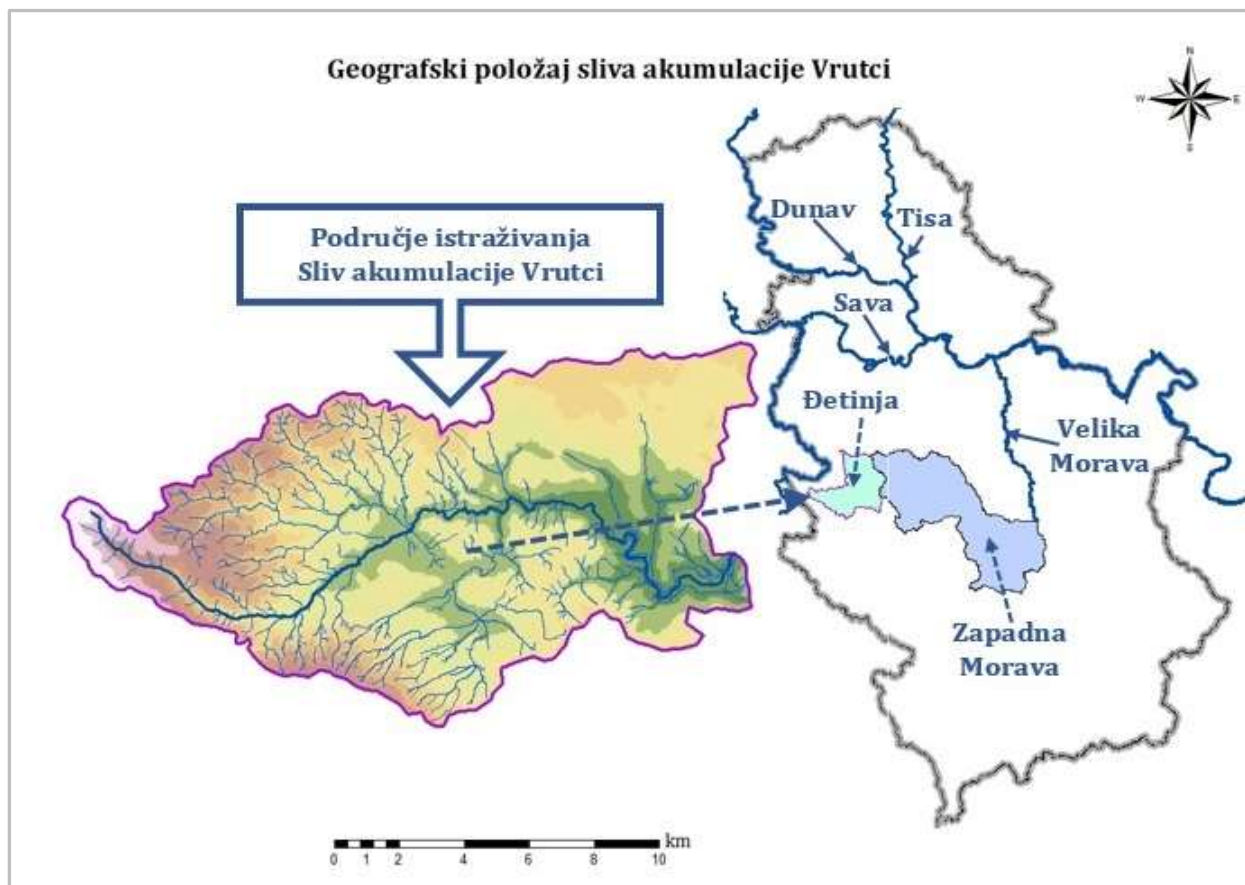
4.1 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA (SLIV AKUMULACIJE VRUTCI)

Područje istraživanja je sliv višenamenske akumulacije Vrutci na reci Đetinji, koja je (uzvodno od akumulacije) jedan od retkih vodotoka u Srbiji koji se odlikuje vodom za piće izvanrednog kvaliteta. Ovo slivno područje pripada slivu Zapadne Morave (slika 4.1), najvećem prirodnom rezervoaru vode za piće u Srbiji. Oticač sa jugoistočnih obronaka Tare i severnih padina Zlatibora formiraju vodotok čija slivna površina je, u gornjem toku, slabo naseljena i izrazito planinska. Zbog svega ovoga, gornji tok Đetinje je razvrstan u izvorište prvog reda (Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, 1990). Sve ovo je dovelo do izgradnje višenamenske akumulacije Vrutci sa ciljem da se obezbedi stabilno vodosnabdevanje Užica i okoline, zaštita od poplava nizvodno od brane, zadržavanje nanosa zbog prisustva erozionih procesa i popravljanja režima malih voda zbog neravnomerne unutar godišnje raspodele protoka. Pored toga akumulacija se koristi i u rekreativne svrhe, a u više navrata akumulacija je poribljavana radi upravljanja ribljim fondom (Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, 1990).

Sliv akumulacije Vrutci je bujični, sa velikim nagibima terena, usled čega su izraženi erozioni procesi. Pored ovih problema za upravljanje vodama na slivu javili su se i problemi sa kvalitetom vode u akumulaciji Vrutci (JČI, 2015).

Sve ovo čini područje istraživanja pogodnim za izučavanje uticaja kratkotrajnih jakih kiša na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama, primenom metodološkog okvira za okvirno određivanje indikatora retencionog kapaciteta sliva (u funkciji prirodnih činilaca i hidrološkog kompleksa zemljište - pokrivač) i njegovu primenu u proceni mera za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva koje će doprineti ravnomernijem režimu oticaja sa sliva.

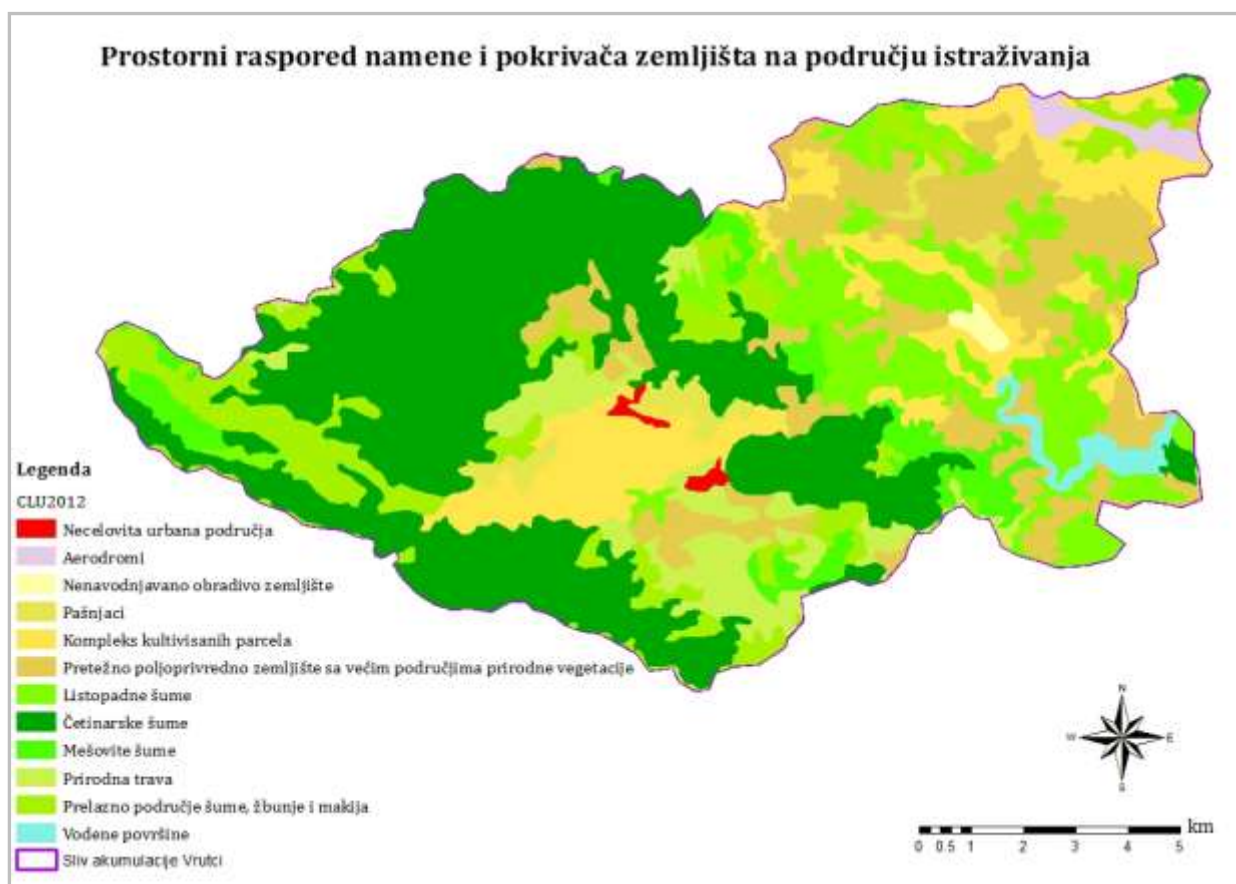
Sve karte koje prikazuju rezultate analiza u ovoj disertaciji izrađene su primenom alata ArcMap 10.1, na osnovu dostupnih podataka u formi digitalizovanih karata za: digitalni model terena (DEM), rečnu mrežu, CLC 2012, geološku podlogu, hidrogeološku kartu i hidrološke grupe zemljišta. Većina ovih podloga je dostupna u fondovskoj dokumentaciji Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi", osim digitalizovane karte geološke podloge i hidrološke grupe zemljišta za koje su korišćeni podaci dostupni u Drobnjak, 2016.



Slika 4.1 Geografski položaj područja istraživanja

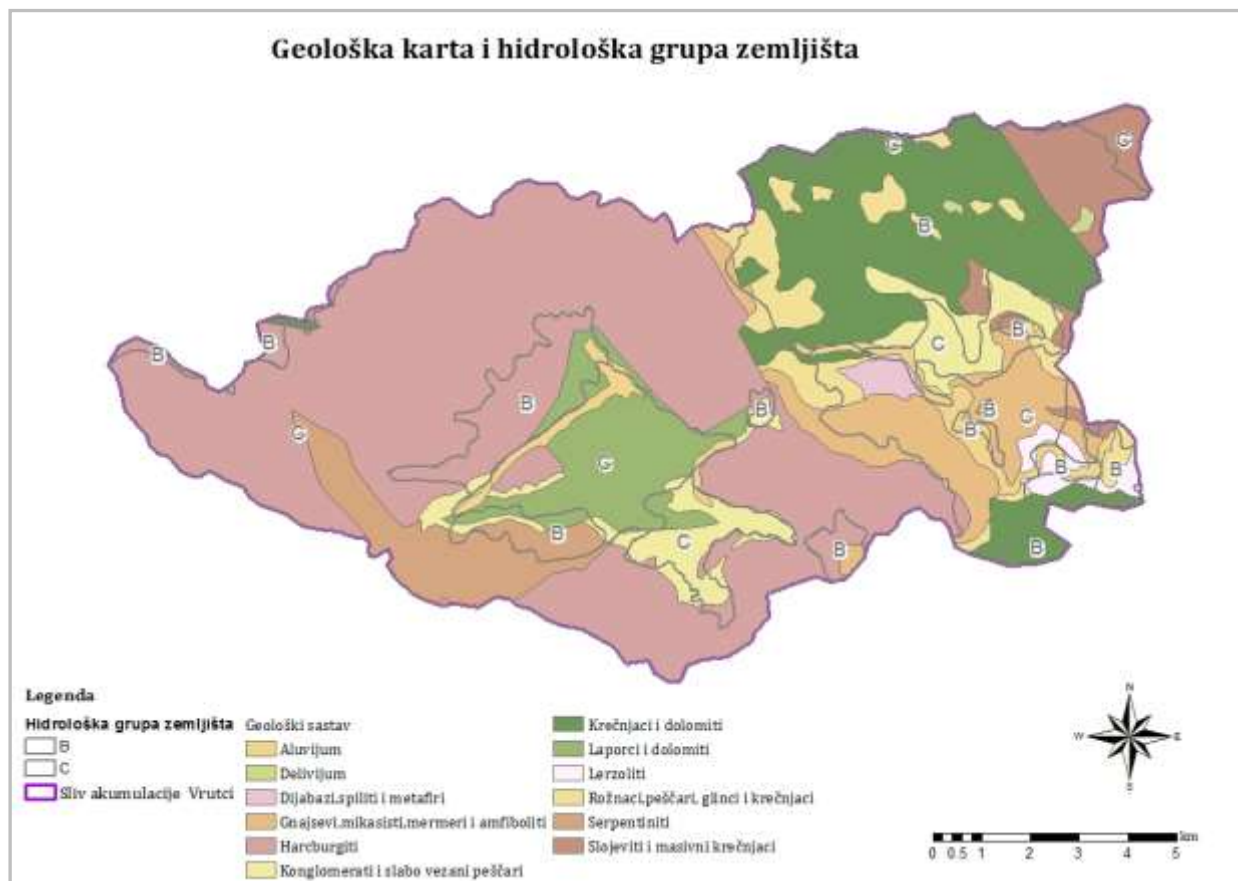
Na osnovu analize digitalnog elevacionog modela terena (slika 4.16) maksimalna visina sliva (H_{max}) je 1527 metara a minimalna (H_{min}), na izlaznom profilu, je 573 m a srednja nadmorska visina sliva iznosi 882 m. Dužina sliva (L) je 22 km, udaljenost težišta sliva do izlaznog profila (L_c) je 10.8 km a površina sliva (F) je 146 km².

Kao što se može videti na slici 4.2 preovlađujući zemljišni pokrivač su šume, koje prekrivaju oko 52% površine sliva, od čega je 35 % pod četinarskim šumama, 12 % su listopadne šume dok je 5 % pokriveno mešovitim šumama. Najmanji procenat sliva zauzimaju necelovita urbana područja i ne navodnjavano poljoprivredno zemljište oba sa oko 0.4 %. Pretežno poljoprivredno zemljište sa većim područjima prirodne vegetacije zauzima oko 15 % dok je oko 12 % sliva zauzimaju kultivisane parcele. Prelazno područje koje po CLC klasifikaciji čine šume, žbunje i makija prekriva oko 10% površine. Udeo pašnjaka u zemljišnom pokrivaču je oko 1.8 %. Na severo istoku sliva nalazi se aerodrom koji zauzima oko 1 % površine.



Slika 4.2 Prostorni raspored zemljišnog pokrivača i korišćenja zemljišta na području istraživanja. Izvor: CLC 2012 (fondovska dokumentacija Instituta za vodoprivredu Jaroslav Černi)

Na osnovu dostupnih podataka o geološkoj građi i hidrološkim grupama zemljišta (HSG) izrađena je karta prikazana na slici 4.3. Analiza geološke građe na osnovu literature (JČI, 2014) je pokazala da su najrasprostranjeniji, oko 55 %, zlatiborski peridotitski masiv, odnosno harzburgiti i serpentiniti pukotinske poroznosti. Miocenski sedimenti (laporci, dolomiti i konglomerati i slabo vezani peščari), pretežno pukotinske poroznosti, zauzimaju oko 17 % teritorije kao i jurski sedimenti (gnajsevi, mikašisti, mermeri i amfiboliti) koji su uslovno bezvodni tereni. Najmanje rasprostranjenje imaju sedimenti trijasa (krečnjaci i dolomiti), oko 10 %, u kojima je formirana karstno pukotinska izdan.



Slika 4.3 Geološka karta i hidrološka grupa zemljišta na području istraživanja. Grafički prikaz B.Matić na osnovu: Drobnyak, 2016.

Na slivu su zastupljene samo dve hidrološke grupe zemljišta. B i C Prostorni raspored hidroloških grupa zemljišta (slika 4.3) ukazuje da je na većem delu sliva zastupljena hidrološka grupa zemljišta sa slabom infiltracijom (1.3-3.8 mm/h) i dobrim potencijalom za oticaj, na osnovu analiza utvrđeno je da je površina sliva sa hidrološkom grupom zemljišta C 102 km², što je 70 % od ukupne površine sliva na kome je slab retencioni potencijal. U ovoj hidrološkoj grupi zemljišta su, na osnovu dostupnih podataka (Drobnyak, 2016), koji su predstavljeni na pedološkoj karti (slika 4.4) najviše je zastupljena crnica na serpentinu (humusno-silikatno zemljište) sa 70 %. Hidrološka grupa zemljišta B koja ima dobar retencioni potencijal a slab potencijal oticaja, na osnovu klasifikacije prikazane u tabeli 3.1, rasprostire se uglavnom na severoistočnom delu sliva, a mali procenat je zastupljen u središnjem delu sliva i skoro zanemarljiv procenat na krajnjem severozapadnom obodu sliva. Najveći udeo ima smeđe rudo zemljište na krečnjaku koje čini oko

65 % od ukupne površine hidrološke grupe zemljišta B koja iznosi 44 km² na celom području istraživanja.



Slika 4.4 Pedološka karta za područje istraživanja. Prilagodila B.Matić na osnovu: Drobnjak, 2016.

Na osnovu hidrogeološka karte koja je data u prilogu I i podataka i informacija u literaturi (JČI, 2014) procenjena je vodopropusnost izdvojenih celina na osnovu kriterijuma koji su korišćeni za ocenu hidrološke grupe zemljišta. Treba imati u vidu da su date vrednosti isključivo empirijskog karaktera a za preciznije podatke neophodno izvršiti detaljne analize, terenske, laboratorijske i kabinetske:

Broj 3 - opisan kao gornjotrijaske karbonatne naslage (karstna pukotinske izdan) ($T^{3_{1+2}}$) koje se mogu okarakterisati kao dobro vodopropusne. U skladu sa tim, one pripadaju grupi B sa infiltracijom 3.8-7.6 mm/h.

Broj 20 - opisane kao tvorevine zlatiborskog peridotitskog masiva, odlikuju se srednjom do niskom vodopropusnošću (pukotinska poroznost) ali na osnovu informacija iz JČI, 2014 o njihovoj ispucalosti i površinskom raspadanju, zaključuje se da im je izdašnost verovatno ipak veća, te je usvojeno da pripadaju grupi C sa infiltracijom od 1.3-3.8 mm/h.

Broj 22 - opisan kao miocen (²M, ¹M) (pukotinska izdan), u principu se odlikuju malom izdašnošću ali na osnovu informacija (JČI, 2014) o njihovoj ispucalosti i površinskom raspadanju, zaključuje se da im je izdašnost ipak veća. Verovatno pripadaju grupi C sa infiltracijom 1.3-3.8 mm/h.

Broj 36 - opisan kao dijabazi i dijabaz – rožna formacija (J_{2,3}) se uslovno mogu smatrati praktično vodonepropusnim stenama (uslovno bezvodni tereni) ali na osnovu informacija (JČI, 2014) o njihovoj ispucalosti i površinskom raspadanju, zaključuje se da im je izdašnost verovatno ipak veća. Na osnovu tih informacija verovatno pripadaju grupi C sa infiltracijom 0-1.3 mm/h.

Kao što je prikazano, rezultati ocene hidroloških klasa zemljišta na osnovu infiltracije i procena hidrogeoloških karakteristika ukazuju da je na većem delu područja istraživanja potencijal za formiranje brzih i naglih oticaja je dobar a retencioni potencijal na većem delu sliva je slab.

4.2 ANALIZA REŽIMA PADAVINA

Kako bi se kvantifikovao uticaj režima padavina na retencioni kapacitet sliva, u zavisnosti od prirodnih karakteristika i različitog hidrološkog kompleksa zemljište - pokrivač, jedna od pretpostavki prilikom postavljanja ciljeva istraživanja je da kiša ravnomerno pada nad celim slivom što je u skladu i sa literaturom (Žugalj, 2010) za manje slivove. Na slivu akumulacije Vrutci ne postoji meteorološka stanica, te su za ostvarivanje ciljeva istraživanja razmotrene okolne meteorološke stanice koje imaju dovoljno duge vremenske serije osmotrenih suma dnevnih padavina da bi se analizirali trendovi kao i intenzitet kratkotrajnih jakih kiša.

Kriterijum za izbor merodavne meteorološke stanice je bio njihovo odstojanje od težišta sliva akumulacije Vrutci i nadmorska visina, imajući u vidu da je u planinskim predelima vertikalni gradijent padavina od 26 do 40 mm/ 100 mnv. Meteorološka stanica Požega je udaljena 35 km od težišta sliva i nalazi se u kotlini, na 310 mnv, stanica Sjenica se nalazi na 1038 mnv i udaljena je od težišta sliva 72 km, dok je stanica Zlatibor udaljena od težišta sliva 15 km a nadmorska visina je 1028 m. Kao merodavna, izabrana je meteorološka stanica Zlatibor, jer je udaljenost od težišta

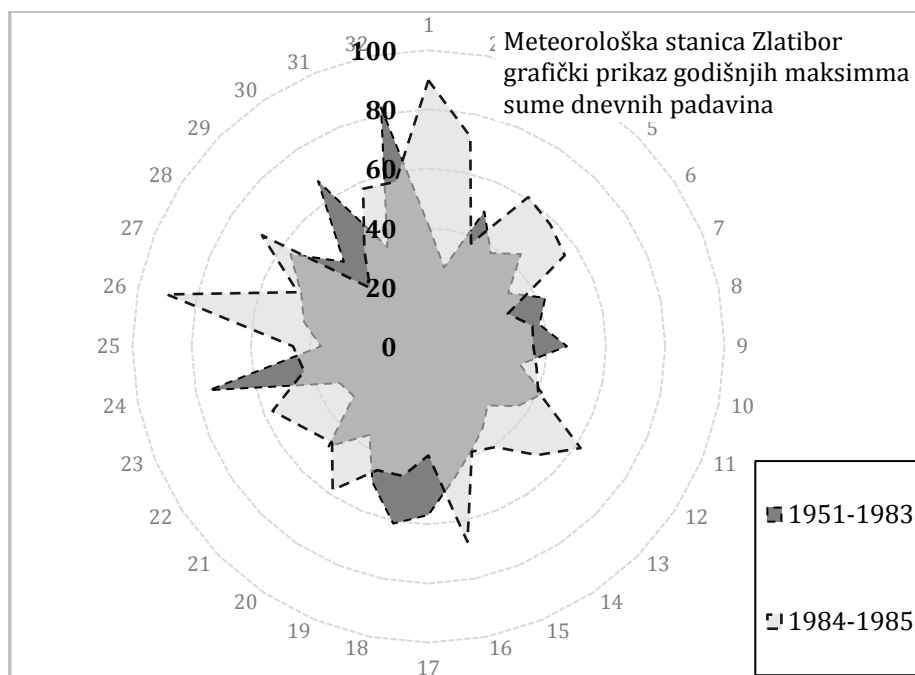
sliva mnogo manja nego za Sjenicu, dok za Požegu , pored udaljenosti od težišta sliva, treba imati u vidu da je srednja nadmorska visina sliva 882 metara a kota izlaznog profila je na 573 metra.

4.2.1 REZULTATI ANALIZE KRATKOTRAJNIH KIŠA JAKOG INTENZITETA

Osmotreni podaci o sumama dnevnih padavina dostupni su za period od 1950 do 2015 godine. Analizama nisu obuhvaćen dve godine, 1950 jer su podaci dostupni od maja meseca, dok za 1974. godinu na osnovu literature (Zelenhasić i Ruski, 1991) vrednosti nisu dovoljno reprezentativne, pa je za potrebe analiza padavina usvojen niz od 64 godine. Zbog šire upotrebe u praksi, kao i činjenice da analiza uticaja različitih pristupa formiranja vremenskih nizova maksimalnih godišnjih suma padavina nije predmet ove disertacije, nizovi maksimalnih dnevnih suma padavina formirani su izdvajanjem godišnjih maksimuma.

Na portalu (web stranici) RSRHMZ (pristup Januar 2018) za meteorološku stanicu Zlatibor nalaze se, pored srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti meteoroloških promenljivih, vrednosti ekstrema. Prikaz je dat za dva perioda 1961 – 1990 i 1991- 2010. Za padavine su pored srednjih mesečnih suma, maksimalnih dnevnih suma, prikazane i vrednosti za srednji broj dana sa kišom većom od 0.1 mm i srednji broj dana sa kišom > 10 mm. Za sve prikazane pokazatelje režima padavina vrednosti su veće u kasnijem periodu.

Iako nije navedeno da li postoji statistička značajnost, rezultati su u skladu sa aktuelnim stavovima da postoje trendovi u režimu padavina i da ti trendovi postoje i u broju dana sa kišom većom od 10 mm, jednim od indikatora koje je se nalazi u priručniku WMO (Klein Tank , 2009) za analizu promene ekstrema na osnovu dnevnih suma padavina. Za analizu intenziteta jakih kiša za meteorološku stanicu Zlatibor u ovoj disertaciji, formirana su dve identične vremenske serije (32 godine) godišnjih maksimuma dnevnih suma padavina čije razlike u maksimalnim godišnjim vrednostima su prikazane na slici 4.5.



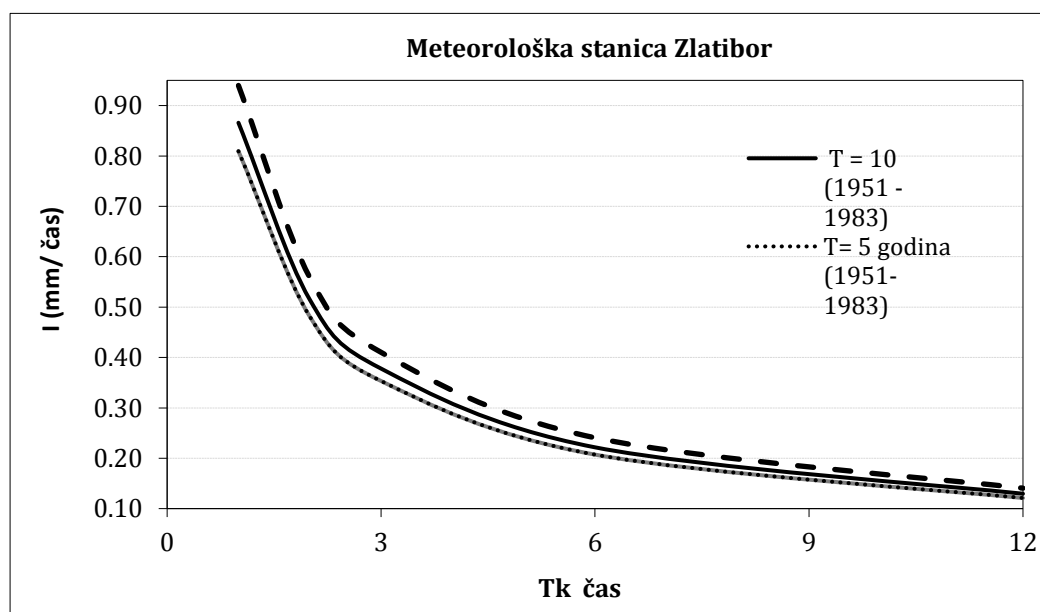
Slika 4.5 Grafički prikaz vremenskih serija godišnjih maksimuma dnevnih suma padavina za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanici Zlatibor

Na osnovu grafičkog prikaza odnosa godišnjih maksimuma očigledno je da su, u većini slučajeva, osmotreni godišnji maksimumi dnevnih suma padavina veći u drugom periodu. Pošto se Gumbelova teorijska raspodela verovatnoće (3.1 i 3.2) najčešće primenjuje širom sveta za analizu gornjih ekstrema (WMO, 1981) kratkotrajnih jakih kiša, ona je korišćena za dobijanje maksimalnih vrednosti za povratne periode 2- 100 godina trajanja kiše 0.5 minuta do 24 sata na osnovu (3.3), (3.4) i (3.5) . Statistički parametri α i β određeni su jednačinama (3.6) i (3.7), dok faktor frekvencije za različite povratne periode računat na osnovu jednačine (3.8). Visine sloja računskih kiša, trajanja 0.5 minuta do 24 sata, za povratne periode od 2 do 10 a računane su na osnovu (3.9) za obe izdvojene vremenske serije iste dužine i povratne periode (3.10). Za meteorološku stanicu Zlatibor vrednost za parametar redukcije jakih kiša B je očitana sa karte izolocija (Janković, 1994) i iznosi 0.79, konstante a (1) i A (0.3) su iste za celu Srbiju.

Dobijeni rezultati su upotrebljeni kao ulazni podaci, za analizu intenziteta i učestalosti kratkotrajnih jakih kiša primenom matematičkog modela (Janković, 1994) za ITP krive (izrazi od 3.11 do 3.16), pošto se u literaturi može naći da se u budućnosti, kako u Srbiji tako i šire, mogu očekivati promene intenziteta padavina (RSRHMZ on line pristup; Kržić i saradnici, 2012; IPCC, 2012;) ili da su već osmotrene promene intenziteta jakih kiša na osnovu promene vrednosti za

ITP krive (Vasiljević i dr., 2012) postoji interes da se eventualne promene intenziteta kiša sagledaju iz više uglova, ovo se naročito odnosi na kratkotrajne jake kiše, koje doprinose genezi oticaja na bujičnim slivovima, kao što je slučaj na području istraživanja.

Na osnovu rezultata, koji su tabelarno prikazane u prilogu 2, uočljivo je da se ITP krive razlikuju kada se dve serije uporede i intenziteti su veći su za kasniji period (1984- 2015), a uočljiva je i promena frekvencije na način da je intenzitet kiše različitog trajanja, za petogodišnji povratni period i period osmatranja 1984 - 2015. godina, veći nego intenzitet kiše desetogodišnjeg povratnog perioda za vremensku seriju 1951- 1983, kao što je prikazano na slici 4.6, prilikom analiza padavina, pored prosečnih vrednosti, (godišnjih i sezonskih) padavina, postoji potreba da se sagledaju jačina i frekvencija kratkotrajnih kiša, imajući u vidu da promene u istim mogu imati negativan uticaj na upravljanje vodama. Svakako ne treba zanemariti postojanje nepouzdanosti u vezi budućih trendova u osmotrenim vremenskih serija i projekcija za budućnost (Mair i Vasiljević, 2013; ICPDR CC AS; 2018) ovo je naročito važno za upravljanje vodama na slivu.



Slika 4.6 Grafički prikaz analiza kratkotrajnih kiša jakog intenziteta za dva vremenska perioda

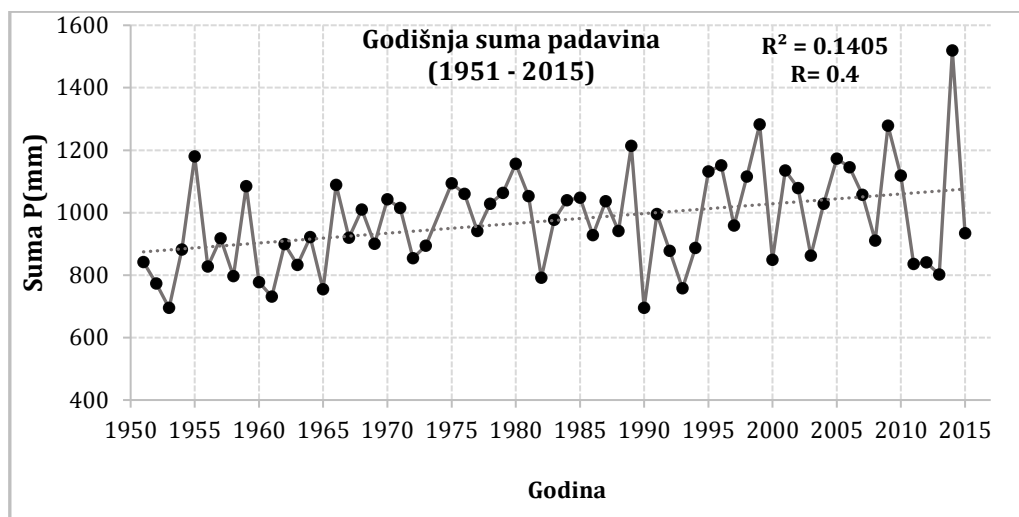
Statistička značajnost nije analizirana detaljnije, jer to nije predmet ove disertacije. Vrlo je moguće, da bi detaljnija analiza osmotrenih kratkotrajnih jakih kišnih epizoda za dovoljno dug vremenski niz, dala jasniju sliku kako u pogledu statističke značajnosti tako i u vezi periodičnosti u vremenskim serijama, ukoliko postoje.

4.2.2 REZULTATI ANALIZA TRENDOVA U REŽIMA PADAVINA

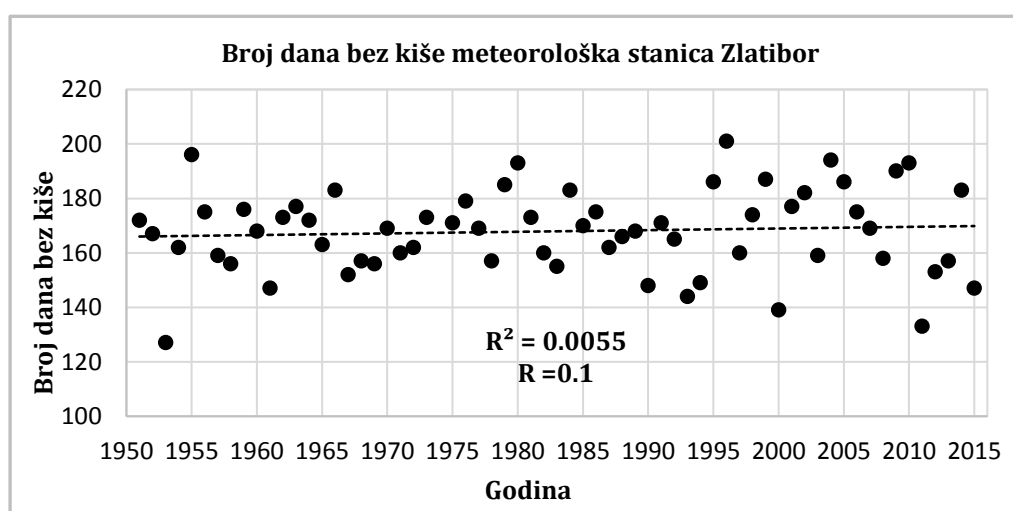
Analiza režima padavina je sprovedena sa ciljem da se utvrdi da li i u kojoj meri postoje promene i trendovi u vremenskoj raspodeli u nizu osmotrenih suma dnevnih kiša. Kako pluviografski podaci o jakim kišama nisu uvek dostupni, ne samo u Srbiji nego širom sveta, a postoji veliki interes za njihovim izučavanjem, uobičajena je praksa da se analiza trendova primeni na učestalost u vremenu neke slučajno promenljive koju je moguće definisati iz osmotrenih suma dnevnih padavina, kao što je trend broja dana bez kiše, sume godišnjih padavina (Vasiljević i saradnici, 2013) koji mogu da pruže barem okvirnu sliku da li je došlo do promena intenziteta kiša, povećanja gornjih i donjih ekstrema slučajno promenljive koja se izučava. Kao odgovor na vremenske i prostorne promene ekstrema, i potrebe za njihovim detaljnijim izučavanjem, WMO je publikovala priručnik za analizu ekstrema (Klein Tank i sar., 2009) na osnovu 27 indikatora koji su definisani graničnim vrednostima, na primer R 10 mm indikator je trend u broju dana sa jakom kišom većom od 10 mm, R20 mm je indikator broja dana sa veoma jakom kišom, i tako dalje. Osnovni cilj ovog dokumenta, koji je prvenstveno namenjen hidrometeorološkim servisima, je uspostavljanje okvira za izučavanje ekstremnih meteoroloških događaja na osnovnu vremenskih serija dnevnih suma padavina osmotrenih kišomerom, do kojih je lakše doći nego do podataka osmotrenih pluviografom. Iako je analiza jakih kiša ukazala na promene intenziteta kratkotrajnih jakih kiša, primenjena je dekompozicija vremenske serija osmotrenih podataka na podserije slučajno promenljivih da bi se analizirali trendovi i njihov uticaj na sume godišnjih padavina, učestalost dana bez kiše i broj dana sa kišom većom od 10 i 20 mm, pošto su ove kiše od strane WMO označene kao jake i veoma jake (WMO, 2009) kao i broj dana sa kišom većom od 50 mm.

Linerani trendovi

Analiza lineranog trenda u učestalosti broja dana bez kiše, sumi godišnjih padavina, kao i učestalosti dana sa sumom dnevnih padavina većom od 10 i 20 mm u svakoj godini za period 1951-2015, godine je urađena primenom jednačine 3.17, a Pirsonov koeficijent determinacije je računat na osnovu (3.18). Rezultati, koji su poslužili prvenstveno za vizuelnu ocenu prisustva trenda, prikazani su na slikama 4.7, 4.8, 4.9 i 4.10.



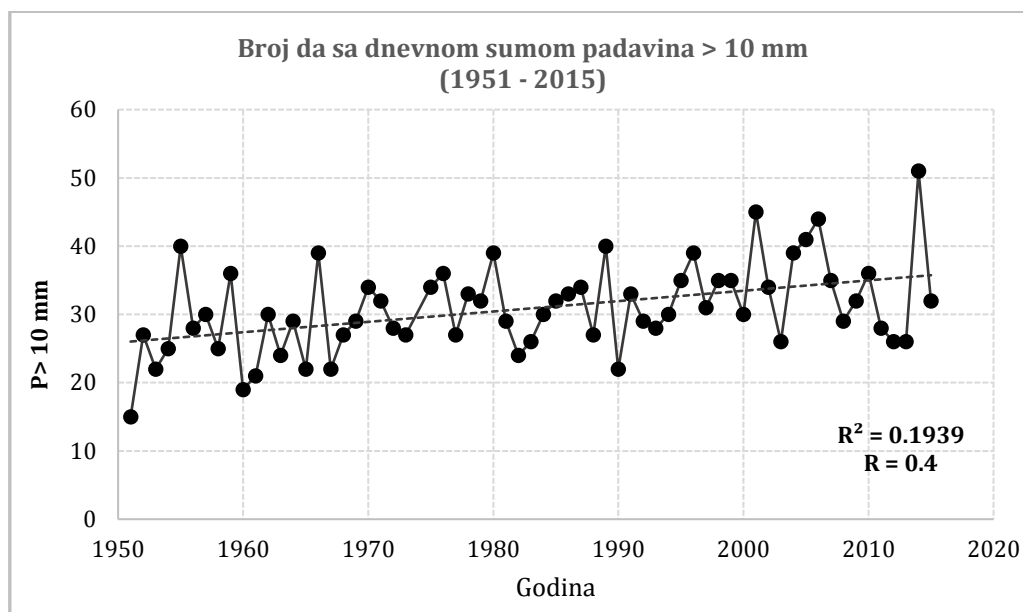
Slika 4.7 Grafički prikaz analize trenda u nizu suma godišnjih padavina za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)



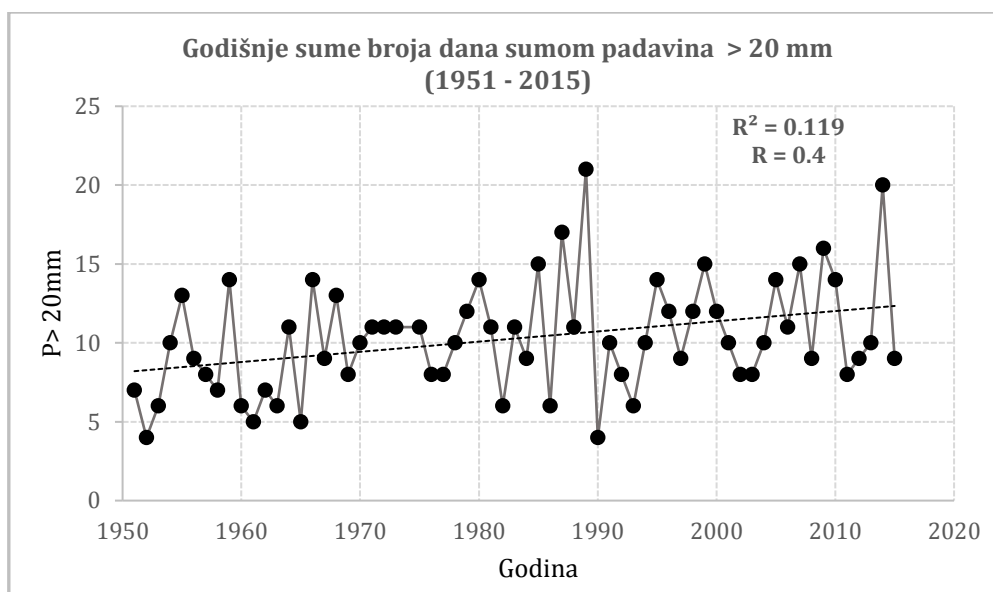
Slika 4.8 Grafički prikaz analize trenda u nizu godišnjih suma broja dana bez kiše za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

Maksimalna suma godišnjih padavina 1519.7 mm je osmotrena 2014. godine, dok je minimalna suma 694.9 osmotrena 1953. Kao što je prikazano na slikama od 4.7 - 4.10, postoji pozitivan trend u svim analiziranim nizovima. Vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije R je najmanja za učestalost broja dana bez kiše i iznosi 0.08, za godišnju sumu padavina i broj dana sa padavinama većim od 10 i 20 mm R = 0.4, Iako je prisustvo linearnih trendova analizirano za ceo period osmatranja, rezultati koji ukazuju na prisustvo pozitivnog trenda su u skladu sa analizama prikazanim na portalu RSRHMZ gde su prikazane srednje godišnjih suma padavina i broja dana

sa padavinama za dva perioda (1961-1990 i 1981-2010). U oba slučaja vrednosti su veće u kasnijem periodu.

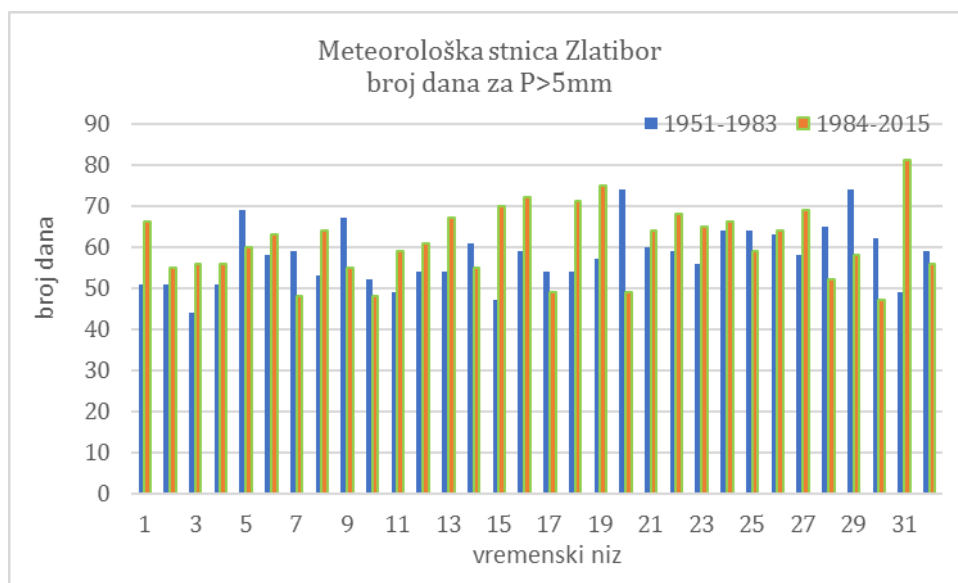


Slika 4.9 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 10 mm za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

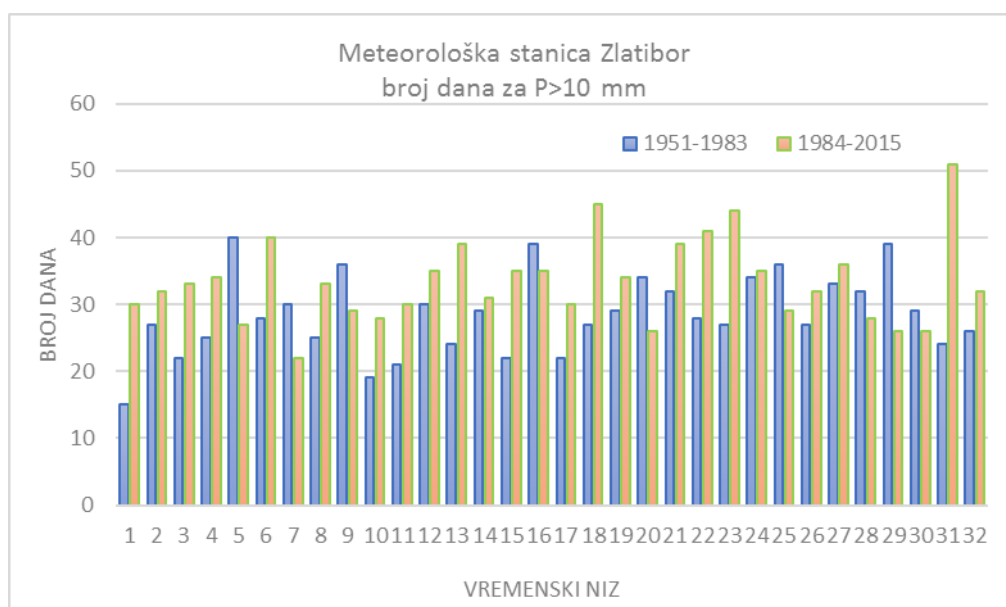


Slika 4.10 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 20 mm za meteorološku stanicu Zlatibor (1951-2015)

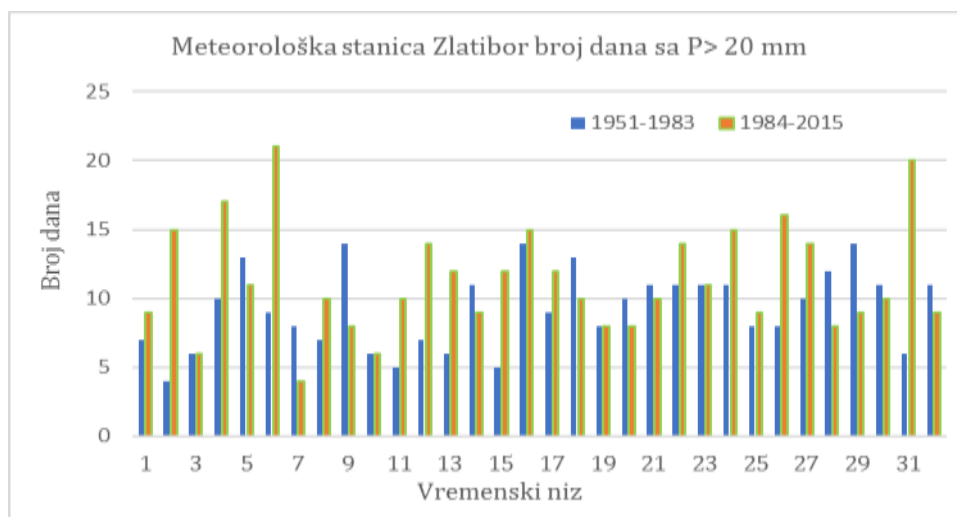
Pored lineranog trenda, analizirana je učestalost broja dana sa kišom većom od 5,10, 20 i 50 mm za dva niza (1951-1983 i 1984-2015) suma dnevnih kiša, koji su formirani za analizu jakih kiša. Kao što se može videti na slikama 4.11 do 4.14, koje grafički prikazuju komparaciju učestalosti broja dana sa kišom za dva perioda, uočljiv je porast frekvencije u periodu od 1984 do 2015.



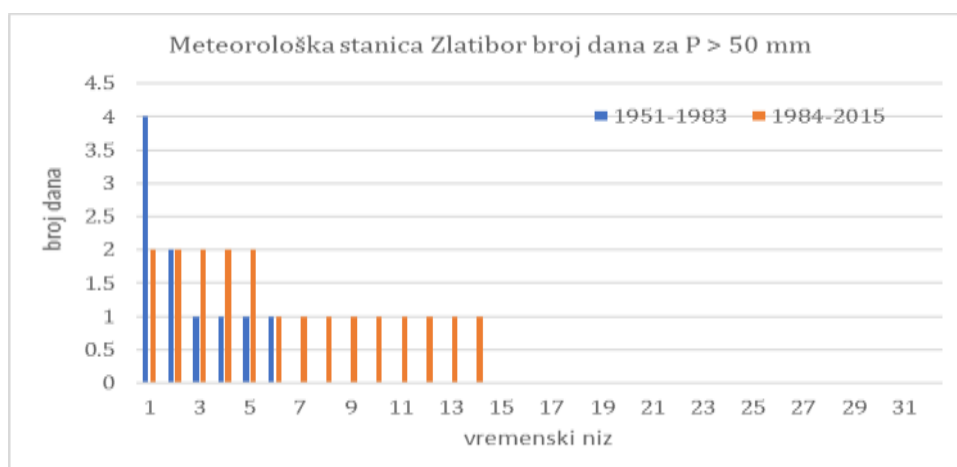
Slika 4.11 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevnim sumom padavina većom od 5 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor



Slika 4.12 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevnim sumom padavina većom od 10 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor



Slika 4.13 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 20 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor



Slika 4.14 Grafički prikaz analize trenda u godišnjoj sumi broja dana sa dnevniom sumom padavina većom od 50 mm za dva perioda osmatranja na meteorološkoj stanicu Zlatibor

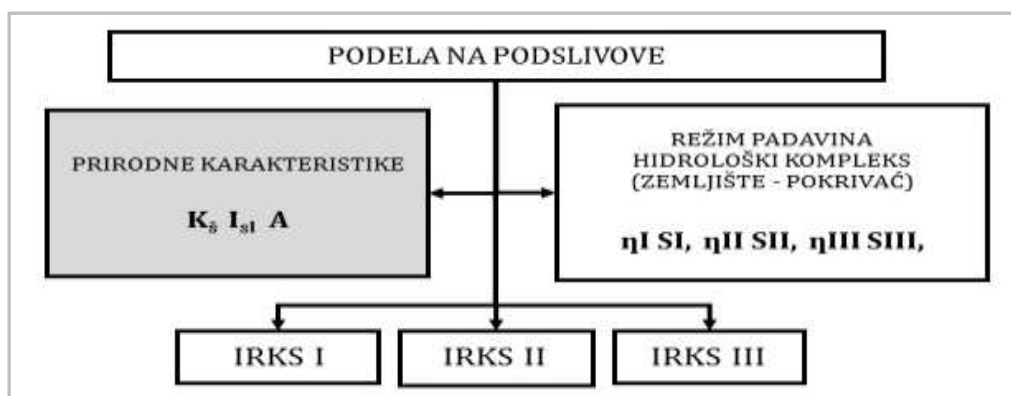
Analiza godišnje učestalosti broja dana sa kišom iznad usvojenih graničnih vrednosti i komparacija između dva niza ukazuju na porast učestalosti za sve usvojene pragove u periodu od 1984-2015. godine, što odgovara rezultatima koje su dobili Kržić i drugi (2011), podacima dostupnim na RSRHMZ da se u poslednjim decenijama u Republici Srbiji povećava intenzitet jakih kiša, što ukazuju i osmotrene promene intenziteta u drugim delovima sveta (Vasiljević, 2008; Klein Tank i Können, 2010) U skladu sa činjenicom da se nagli površinski oticaj na malim planinskim slivovima, uglavnom formira pod uticajem jakih kratkotrajnih kiša, i osmotrenim promenama u frekvenciji i uočenim trendovima, u razvoju metodologije za kvantifikovanje IRKS

i procene uticaja mera za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva korišćena je vremenska serija jakih kratkotrajnih kiša za period 1984 – 2015. godine, uz pretpostavku da su kratkotrajne jake kiše padale nad celim slivom, što je karakteristika malih slivova (Žugaj, 2010).

Rezultati analiza primene Mann-Kendall testa

Za vremenski period od 1951- 2015 godine (1974. nije uzeta u razmatranje) na meteorološkoj stanicu Zlatibor (1951-2015), primena Mann – Kendall testa ukazuje na postojanje rastućeg trenda u vremenskoj seriji osmotrenih podataka maksimalnih dnevnih suma padavina i odabranim indeksima za jake kratkotrajne kiše, u skladu sa preporukama WMO (Klein Tank i sar., 2009) za granične vrednosti broja dana sa kišom većom od 5 mm, 10 mm i 20 mm i broj dana sa kišom za svaku godinu za vremenske serije. Test statistika je računata na osnovu (3.20) dok je standardna devijacija $V(S)$ određena primenom jednačine (3.23) zato što broj članova niza veći od 10. Rezultati analiza S statistike testa ukazuju na postojanje trenda za sva četiri testa. Nulta hipoteza - H_0 glasi da je S statistika nula. Alternativa hipoteza H_a je da postoji rastući ili opadajući trend koji nije statistički značajan za usvojen prag značajnosti (0.05) a H_b da postoje trendovi koji su statistički značajni na osnovu kriterijuma da je kritična vrednost $Z_{(1-0.05)}$ manja od kritične vrednosti MK statistike (Z_0) koja je računata na osnovu (3.21). Nulta hipoteza, da nema trenda, je odbačena, a prihvaćena je hipoteza H_a da postoji trend jer je $S > 0$ za sva četiri testa. Na osnovu usvojenog praga značajnosti $\alpha = 0.05$ i kritične vrednosti z 1.96 usvojena je alternativna hipoteza H_b da postoji statistički značajan rastući trend za učestalost broja dana sa kišom većom od 5 mm, 10 mm i 20 mm jer su vrednosti test statistike Z_0 veće od 1.96 i kreću se u rasponu od 2.58, za učestalost broja dana sa dnevnom sumom padavina većom od 5 mm i 20 mm, do 3.33 za učestalost broja dana dnevnom sumom padavina većom od 10 mm. Svi rezultati analiza koje su primenjene za izučavanje režima padavina dnevnih i časovih jakih kiša, ukazuju na promenu intenziteta kratkotrajnih jakih kiša i potrebu sagledavanja trendova u vremenskim serijama osmotrenih podataka iz različitih uglova. U skladu sa svim prikazanim rezultatima analiza režima padavina, primenom različitih metoda, postoji rastući trend.

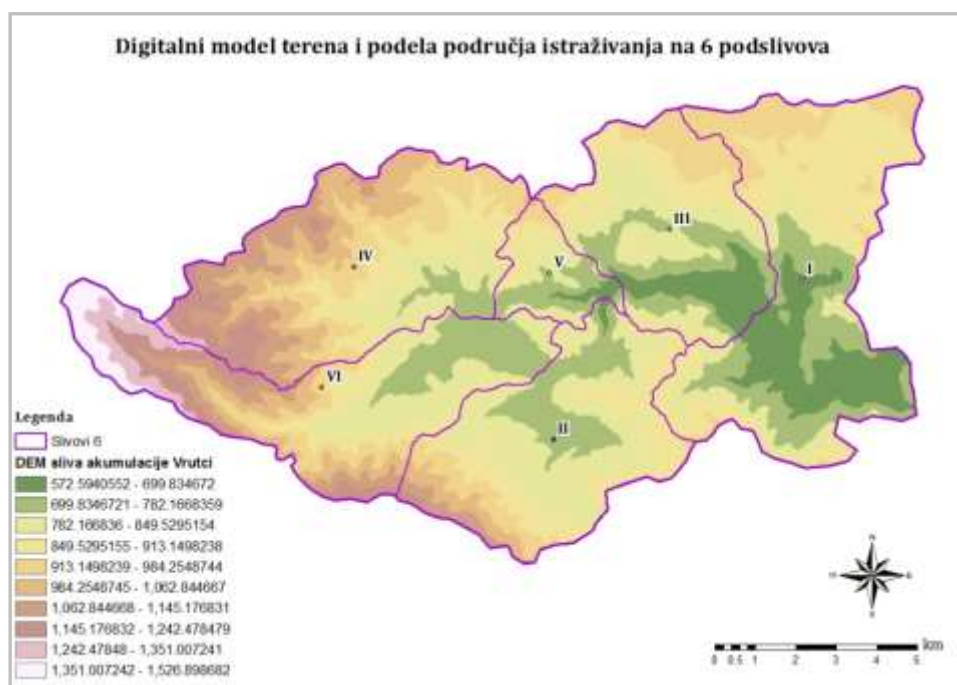
4.3 ANALIZE I REZULTATI ZA KOMPONENTE INDIKATORA RETENCIONOG KAPACITETA SLIVA



Slika 4.15 Šematski prikaz analiza komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva

4.3.1 REZULTATI ANALIZA PRIRODNIH KOMPONENTI INDIKATORA RETENCIONOG KAPACITETA

Radi analize prirodnih komponenti IRKS, Sliv akumulacije Vrutci je podjeljen na podslivove, tako da je jedna podjela detaljnija, to jest dobijeno je 17 podslivova, dok je drugom podjelom dobijeno 6 podslivova. Dekompozicija područja istraživanja na manji i veći broj podslivova prikazana je na slikama 4.16 i 4.17.



Slika 4.16 Digitalni model terena i podjela na 6 podslivova područja istraživanja

Sve analize prirodnih komponenti indikatora retencionog kapaciteta su urađene analizom digitalnog modela terena primenom alata ArcMap 10.1. Na osnovu podele na podslivove na području istraživanja, analizirane su prirodne karakteristike koje utiču na komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva. Pored nadmorskih visina koje su neophodne za računanje nagiba sliva i uravnati nagib, određene su površine slivova, dužine slivova i udaljenosti težišta sliva od izlaznog profila i njihovi obimi. Na osnovu baze podataka CLC 2012 procenjen je udeo površine pod šumom za svaki podsliv.



Slika 4.17 Podela područja istraživanja na 17 podslivova i hidrografska mreža

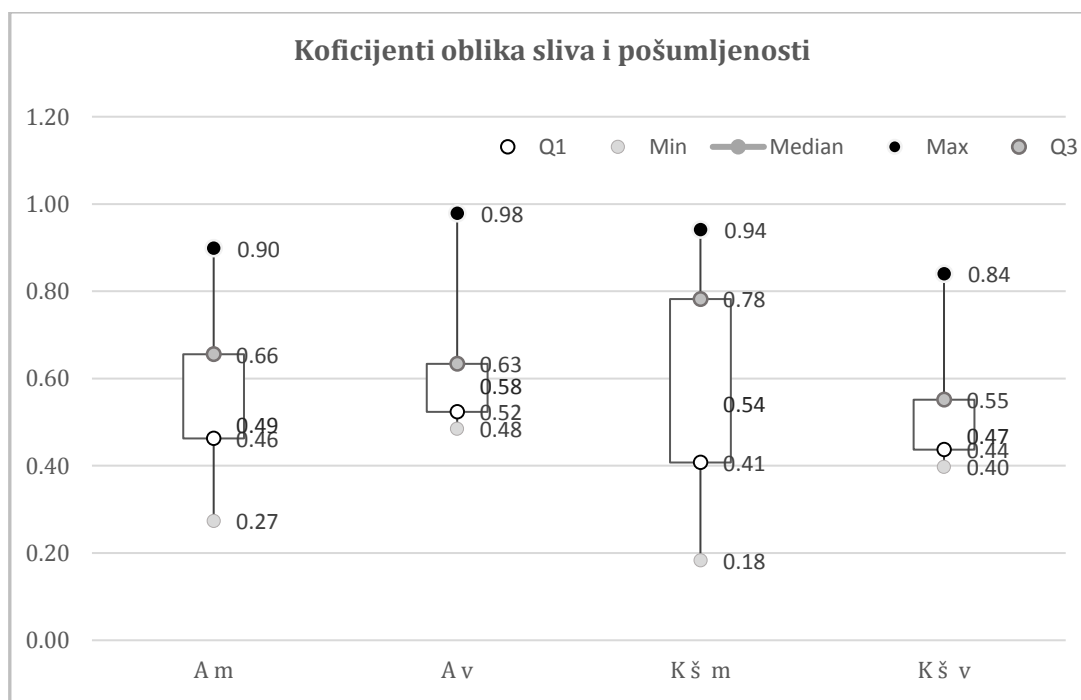
Koeficijent pošumljenosti K_{ξ}

Šume, kao jedan od tipova ekosistema imaju veliki potencijala da zadrže padavine (EEA, 2015) a samim tim imaju i regulacionu ulogu jer doprinose smanjenju formiranja brzih i naglih oticaja sa sliva. Imajući u vidu pozitivan uticaj šumskog pokrivača na oticaj sa sliva (Jevđević, 1956) jer doprinose ujednačenju vodnog režima u slivu (Gavrilović, 1972), a samim tim i smanjuju negativne efekte kratkotrajnih jakih kiša, koeficijent pošumljenosti (K_{ξ}), odabran je kao jedan od komponenti IRKS i računat je primenom formule (3.25) na osnovu podataka o CLC 2012 (baza podataka za vrstu pokrivača zemljišta i korišćenja zemljišta) koji su dostupni u Institutu za vodoprivredu "Jaroslav Černi". Za određivanje koeficijenta pošumljenosti ukupna površina pod

šumom je računata kao zbir površina pod listopadnim, četinarskim i mešovitim šumama za koje su CLC kodovi 311,312 i 313. Analize su pokazale da za ceo sliv ovaj koeficijent iznosi 0.51, dok se za 6 (slika 4.16) i 17 (slika 4.17) podslivova on kreće u rasponu od 0.40 do 0.84 i 0.18 do 0.94. Najveće vrednosti za imaju sliv IV i H dok je najmanji procenat površine sliva pod šumom imaju O za manje i sliv I za veće podslivove. Grafički prikaz raspona koeficijenta pošumljenosti za veće i manje slivove dat je na slici 4.18 zajedno sa rasponom koeficijenta oblika sliva.

Koeficijent oblika sliva A

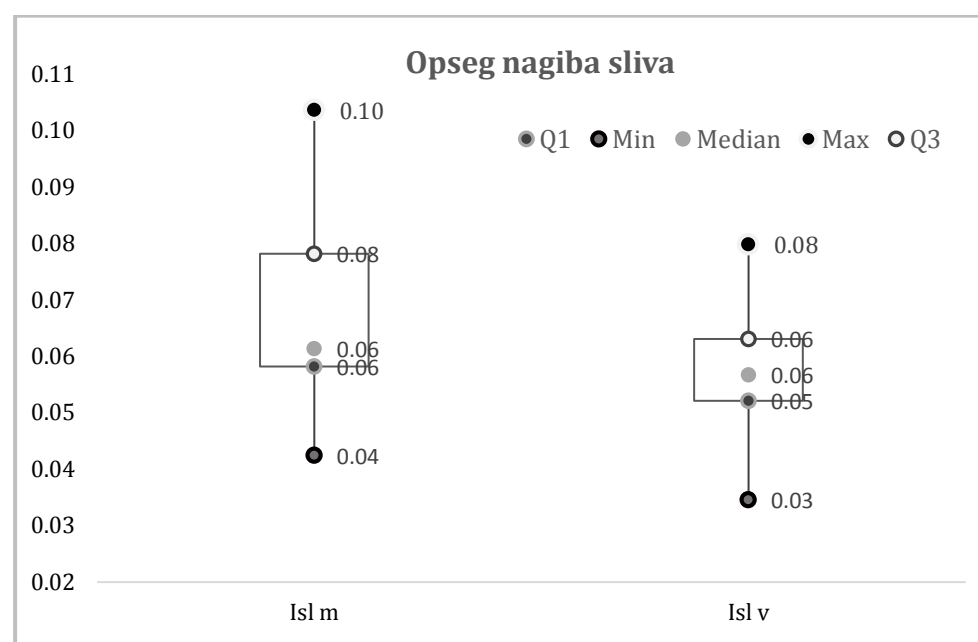
Na osnovu jednačine (3.24) analize koeficijenta oblika sliva su sprovedene primenom ArcGIS alatki na DEM koji je dostupan u Institutu za vodoprivredu "Jaroslav Černi". Koeficijent oblika sliva se kreće u dijapazonu od 0.27 do 0.90 za 17 podslivova, a za 6 podslivova ovaj raspon iznosi od 0.51 do 0.98. Hidrološki najnepovoljniji oblik sliva, nagla koncentracija direktnog oticaja sa sliva, imaju slivovi C i O (0.9) kada se radi o 17 podslivova, dok je to sliv I (0.98) za 6 podslivova. Koeficijent oblika sliva je najpovoljniji za slivove I (od 17 podslivova) i V ako se radi o manje detaljnoj podeli područja istraživanja. Raspon koeficijenta oblika sliva grafički je prikazan na slici 4.18, zajedno sa koeficijentom pošumljenosti.



Slika 4.18 Koeficijent pošumljenosti i oblika sliva za podslivove

Nagib sliva I_{sl} i dužine L i L_c

Nagibi sliva su računati kao količnik razlike maksimalne i minimalne nadmorske visine (m) i dužine sliva (km) i kreću se u rasponu od 3% do 8% za 6 podslivova, dok je za 17 podslivova ovaj raspon od 5 do 10%. Od 6 slivova najveći nagib ima sliv I, dok je u slučaju 17 slivova to sliv M. Dužine od težišta sliva do izlaznog profila za 17 podslivova su u rasponu od 0.96 do 6.31 kilometara, a dužine toka se kreću od 1.63 do 12.77 km. Za 6 podslivova raspon dužina od težišta slivova do izlaznih profila je od 1.8 do 6.31 kilometara, a dužina toka se kreće u rasponu od 4.7 do 12.77 km. Oznake pored nagiba sliva **v** i **m** se odnose na "veće" (manje detaljna podela) i "manje"



Slika 4.19 Grafički prikaz opsega nagiba sliva (I_{sl}) za sve podslivove

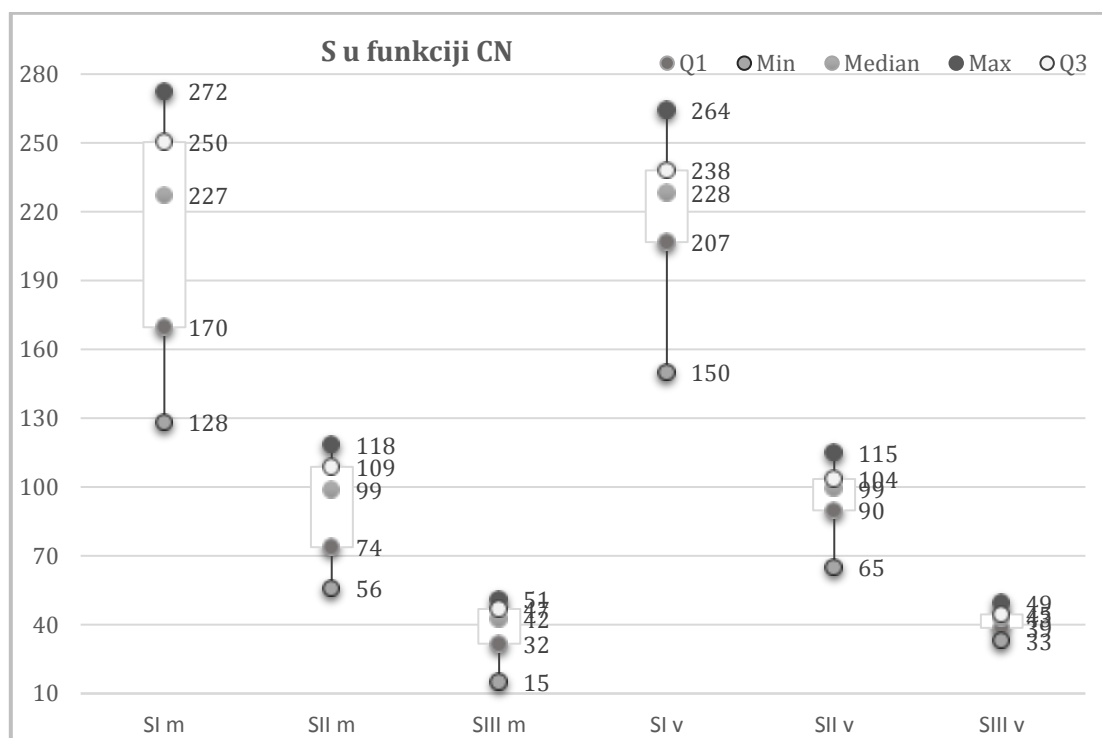
4.3.2 REZULTATI PROUČAVANJA VODNO-ZEMLJIŠNIH I HIDROLOŠKIH KARAKTERISTIKA NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

Rezultati određivanja brojeva krivih oticaja i maksimalnog retencionog kapaciteta

Nakon utvrđivanja broja krivih oticaja - CNII za normalne uslove vlažnosti brojevi CNI i CNIII su izračunate na osnovu jednačina (3.30) i (3.31). Na osnovu brojeva krivih oticaja određen je retencioni kapacitet sliva (S) primenom jednačina (3.32, 3.33 i 3.34) za S II (normalni uslovi vlažnosti zemljišta), S I (uslovi vlažnosti zemljišta ispod proseka) i S III (uslovi vlažnosti zemljišta iznad proseka) Broj krive oticaja za normalne uslove vlažnosti (CN II) za ceo sliv je 70 a

maksimalni retencioni kapacitet sliva, S , je 107.39 mm. Za uslove vlažnosti ispod i iznad proseka ove vrednosti su 50.70 i 84.62 za broj krive a 247 mm i 46 mm za S I i S III. Što se tiče hidrološke klase zemljišta, 30 % površine sliva pripada klasi B za koju je minimalna infiltracija 3.8 – 7.6 mm/čas, dok 70 % površine sliva ima hidrološku klasu zemljišta C, za koju se minimalne vrednosti infiltracije nalaze između 1.3 i 1.8 mm/čas, što ukazuje na nepovoljne hidrološke uslove na slivu.

Da bi se utvrdio raspon vrednosti komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva, na osnovu prirodnih karakteristika i hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač, većina analiza je sprovedena za oba pristupa podele na podslivove, za 6 (slika 4.16) i 17 (slika 4.17) podslivova. Na ovaj način, je dobijen veći stepen detaljnosti informacija za razmatranje i vrednovanje IRKS u funkciji odabranih komponenti na području istraživanja. Kao što se može videti na slici 4.20, za normalne prethodne uslove vlažnosti tla, maksimalni potencijalni retencioni kapacitet sliva (**SII**) za 17 podslivova je u rasponu od 35 do 134, dok je za 6 podslivova ovaj raspon od 87 do 130.



Slika 4.20 Vrednosti S u funkciji CN za različite uslove prethodne vlažnosti tla i dva pristupa dekompozicije područja istraživanja

Analize su pokazale da je raspon za prethodne uslove vlažnosti koje su iznad proseka (jako zasićeno tlo pre početka kišne epizode) za veći broj podslivova(17), za **SIII** iznosi od 27.31 do 53.79 mm, dok je za 6 podslivova ovaj raspon od 37.38 do 56.26 mm. Vrednosti maksimalnog potencijalnog kapaciteta za prethodne uslove vlažnosti ispod proseka (**SI**) variraju od 145.05 do 287.74 mm kada je u pitanju 17 slivova, dok je ovaj raspon za 6 slivova od 37.8 mm do 56.6 mm.

Oznake na slici 4.20 Sv i Sm se odnose na "velike" i "male" slivove, to jest podelu na manji (6) i veći broj slivova (podslivova). U prilogu III tabelarno su prikazane vrednosti brojeva krivih i vrednosti za CN i S, za sva tri prethodna uslova vlažnosti i za oba pristupa podele područja istraživanja na podslivove. (6 i 17).

Rezultati analiza modela oticaja – efektivne kiše

Visina sloja oticaja je računata SCS modelom padavine – oticaj, koji ima široku primenu širom sveta za proračun direktnog površinskog oticaja usled kratkotrajnih intenzivnih kiša sa malih i neizučenih slivova koje su ravnomerno padale nad celim slivom. Za računanje oticaja sa svakog sliva primenjena je jednačina (3.29) za trajanja kiše od 0.5 do 24 sata, povratne periode koji se uobičajeno koriste (2- 100 godina) i sva tri uslova prethodne vlažnosti za 6 i 17 podslivova uz uslov dat jednačinom (3.28) da je model CN padavine – oticaj primenjiv samo ako je sloj kiše veći od inicijalne abstrakcije na slivu koja na osnovu jednačine (3.28) iznosi 0.2 S.

Model nije primenjen samo na neke od podslivova za uslove prethodne vlažnosti ispod proseka, u slučajevima kada nije zadovoljen kriterijum da su padavine veće od inicijalne abstrakcije (I_a). Visine sloja oticaja (efektivne kiše) za svih 17 podslivova, za trajanja kiše od 1 čas i povratni period od 5 godina date su u tabeli 4.1. Za ostale povratne periode i trajanja kiše, za normalne uslove prethodne vlažnosti, visina sloja oticaja se kreće od 1.6 do 65.7 mm za trajanja kiše od 0.5 do 6 časova za povratne periode od 2 do 25 godina i period osmatranja padavina od 1984 do 2015.

Za uslove visoke prethodne zasićenosti tla raspon visine sloja oticaja se, za ista trajanja kiše i povratne periode, kreće od 3.7 do 76.7 mm, a za uslove prethodne vlažnosti ispod proseka visina sloja oticaja je u rasponu od 0 (za sliv I, povratni period 2 godine, trajanje kiše 0.5 časova), tada ne postoje uslovi za formiranje oticaja jer je $I_a > P$ pa ne postoje uslovi da se formira oticaj, do 34.

mm. U tabeli 4.1 I, II i III se odnose na prethodne uslove vlažnosti zemljišta ispod preseka, normalne i potpuno zasićeno tlo (iznad preseka).

Tabela 4.1 Visina sloja oticaja – Q_0 za T_k 1 sat, T 5 godina (1984 - 2015) i različite uslove prethodne vlažnosti zemljišta

| Sliv | Q_0 (mm) za povratni period 5 godina sva tri prethodna uslova vlažnosti zemljišta | | |
|------|---|-----------|------------|
| | I | II | III |
| | Tk =1čas | Tk =1čas | Tk =1čas |
| A | 3 | 15 | 31 |
| B | 0 | 8 | 24 |
| C | 4 | 18 | 33 |
| D | 0 | 9 | 24 |
| E | 0 | 9 | 24 |
| F | 0 | 8 | 23 |
| G | 0 | 7 | 22 |
| H | 3 | 15 | 31 |
| I | 1 | 10 | 25 |
| J | 2 | 14 | 30 |
| K | 3 | 16 | 32 |
| L | 0 | 10 | 25 |
| M | 0 | 8 | 23 |
| N | 0 | 9 | 24 |
| O | 6 | 20 | 35 |
| P | 2 | 14 | 29 |
| R | 2 | 14 | 29 |

Koeficijent oticaja i maksimalni oticaj

Koeficijent oticaja je računat na osnovu (3.36) za računске kiše povratnog perioda od 5-25 godina za vremensku seriju od 1984 - 2015 godine (zbog većih intenziteta na osnovu analiza sprovedenih u ovoj disertaciji), trajanja kiše od 0.5 do 3 sata i 17 podslivova. Za prethodne uslove vlažnosti tla ispod preseka, koeficijent η iznosi od 0.01 (ove vrednosti služe ilustrativno jasno je da u realnoj situaciji nema oticaja jer je $I_a > P$) do 0.45. Vrednosti koeficijenta oticaja za normalne prethodne uslove vlažnosti se kreću u rasponu od 0.1 do 0.5, dok je za prethodne uslove vlažnosti tla iznad preseka (potpuno zasićeno tlo) koeficijent oticaja od 0.2 do 0.7. Naveće vrednosti koeficijenta oticaja uočene su na slivovima C i O za koje je karakteristično da su površine pod

šumom relativno male (18 i 21) i prisutne su u velikom procentu u odnosu na površinu sliva kompleksi poljoprivrednih površina, ovo je posebno interesantno za sliv O na kome je više od 50 % površine hidrološka grupa zemljišta grupe B.

Sintetički jedinični hidrogrami, za različite prirodne činioce i hidrološki kompleks zemljište - pokrivač za normalne uslove vlažnosti, računati su za kiše trajanja 0.5 do 3 sata za povratni period 5 godina i kasniji period osmatranja (1984 - 2015). Vreme kašnjenja trenutnog jediničnog hidrograma t_0 , analizirano je na osnovu (3.37) i dobijene su vrednosti u rasponu od 0.6 do 2.2 časa, a vreme kašnjenja sintetičkog jediničnog hidrograma na osnovu (3.38), vreme podizanja hidrograma je računato na osnovu (3.40), dok je vremenska baza SJH T_b računata na osnovu (3.42) imajući u vidu odnos vremena podizanja i recesije hidrograma.

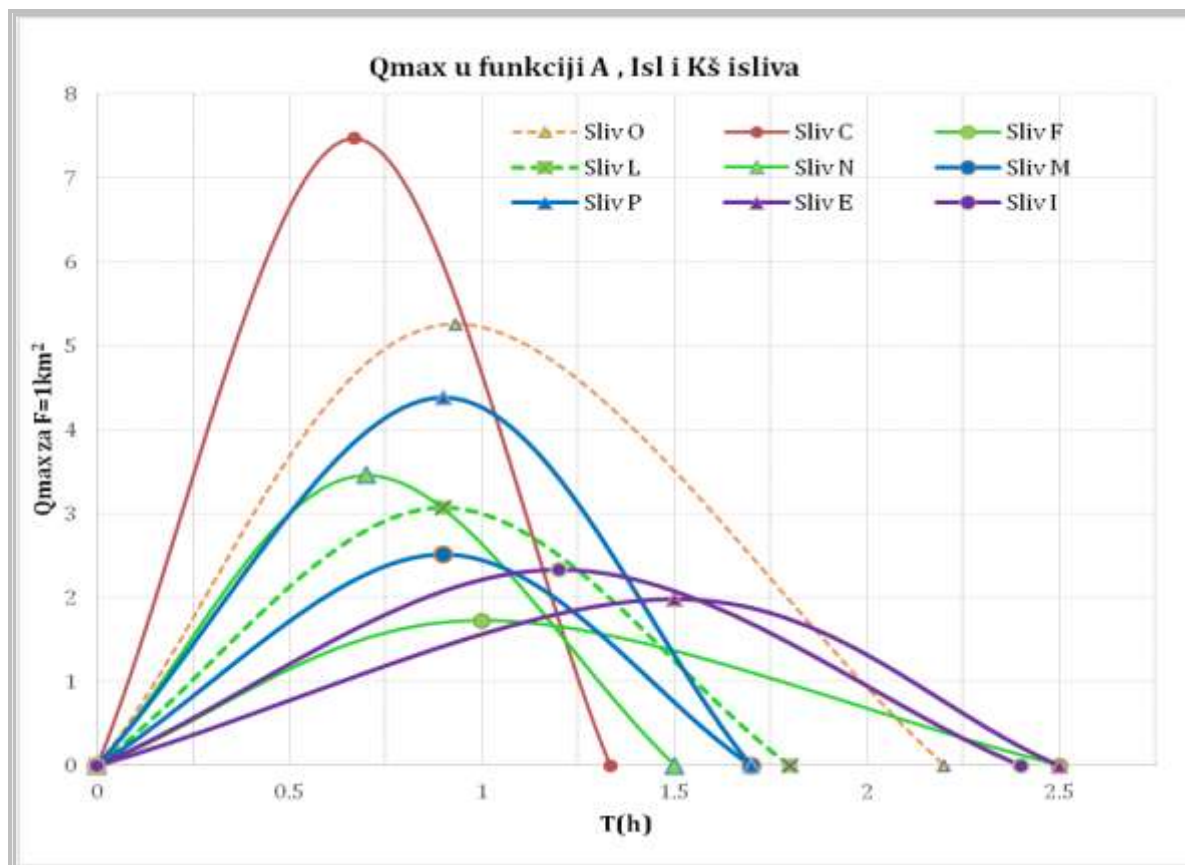
Vreme podizanja hidrograma T_p računato je na osnovu (3.40) a T_r u skladu relacijom datom izrazom (3.41). Maksimalne ordinate hidrograma računate su na osnovu matematičkog izraza (3.44), to jest (3.45). Proračunom sintetičkih jediničnih hidrograma za 17 podslivova, petogodišnji povratni period i trajanje kiše od 0.5 do 3 časa došlo se do Q_{max} u rasponu od 2.5 m³/s (za trajanje kiše od 3 sata) do 132 m³/s (za trajanje kiše od 0.5 časova).

Rezultati analize uticaja komponenti IRKS na SJH

Analize i rezultati sintetičkih jediničnih hidrograma su poslužili samo da se, na području istraživanja, analizira uticaj različitih prirodnih karakteristika (nagibi terena, obim sliva, i drugo), hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač i izvedenih koeficijenata na maksimalne vrednosti ordinate sintetičkih jediničnih hidrograma, kao i procena u kojoj meri odabrane komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva opisuju procese na slivu od kojih zavisi retencioni kapacitet sliva.

Pošto je Q_{max} , pored ostalog, u funkciji površine sliva za koji se računa sintetički jedinični hidrogram, da bi se utvrdio uticaj različitih komponenti IRKS maksimalni proticaji na izlaznim profilima, za odabranu kišnu epizodu, su normalizovani tako što su deljeni sa pripadajućom površinom podsliva, pa se rezultati koji su prikazani grafički na slici 4.21 odnose na Q_{max} za površinu od 1 km² uz nepromenjene ostale parametre i za normalne uslove prethodne vlažnosti tla za odabrane slivove. Kriterijum za izbor slivova je bio da se, na osnovu dostupnih podloga i informacija, u meri u kojoj je to moguće prikaže uticaj različitih vrednosti komponenti IRKS na

oblik i karakteristike normalizovanih sintetičkih jediničnih hidrograma, za jaku kišu istog intenziteta. Odnos maksimalnih ordinata sintetičkih jediničnih hidrograma, za kišu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat, i različitih prirodnih karakteristika za odabrane podslivove prikazan je na slici 4.21.



Slika 4.21 Komparacija oblika i Q_{max} SJH za odabrane podslivove za normalne prethodne uslove vlažnosti i različite A, K_s i I_{sl} , povratni period 5 godina i trajanje kiše 1 sat

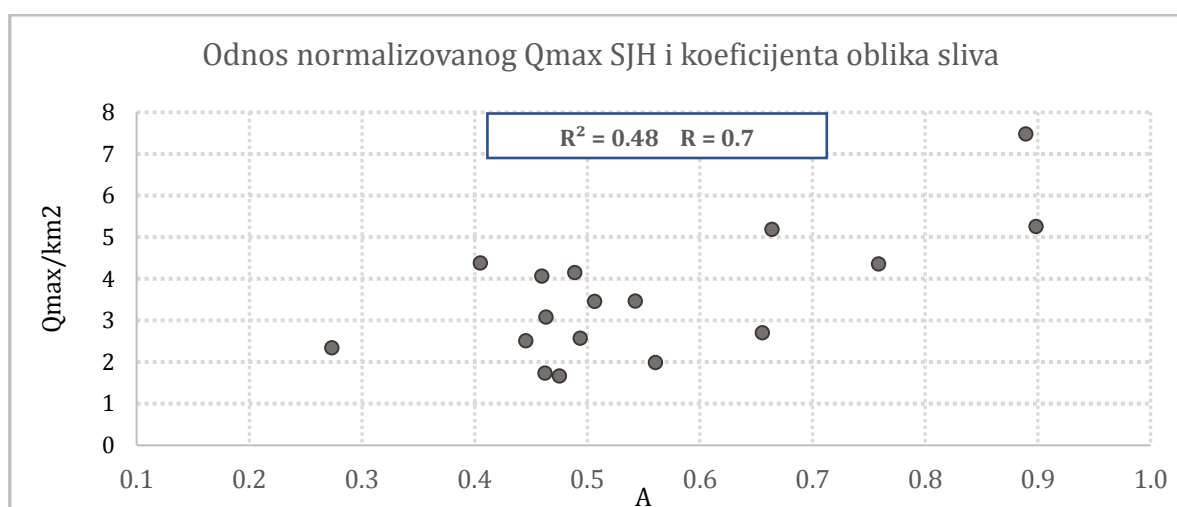
Na slici 4.21 sliv C i sliv O imaju najnepovoljnije vrednosti koeficijenta oblika sliva koji iznosi 0.9, ali se razlikuju nagibi i koeficijent pošumljenosti, kao i vreme kašnjenja trenutnog jediničnog hidrograma, što utiče i na Q_{max} za hipotetičku površinu od 1 km, tako i na vreme podizanja i vremensku bazu hidrograma.

Slivovi F, L i N imaju koeficijent oblika sliva 0.5, maksimalni potencijal da retnziraju vodu u rasponu od 114 mm do 104 mm, a koeficijent pošumljenosti je najmanji za sliv F i iznosi 0.48. Na osnovu ovoga, ukoliko bi se razmatrali samo koeficijent oblika sliva (A) i koeficijent pošumljenosti sliva (K_s) realno je očekivati da se vršni proticaj za ova tri sliva, najbrže javlja na

slivu F jer ima najmanji koeficijent pošumljenosti. Kao što se može videti na slici, to nije slučaj, jer je vreme podizanja hidrograma najkraće za sliv N koji ima KŠ 0.8 ali je pad sliva 10%.

Slivovi M i P imaju koeficijent oblika sliva 0.4, vreme podizanja jediničnog hidrograma je isto, 1.2 sata, nagib je veći za sliv M, dok je indeks pošumljenosti 0.91 za sliv M a za sliv N 0.70. Kao što je prikazano na slici 4.16 vreme podizanja hidrograma je kraće za sliv N. Slivovi E i I imaju koeficijent pošumljenosti 0.54 i 0.58 i broj krive oticaja 71 i 72 za normalne uslove prethodne vlažnosti tla. Na osnovu prikazanog na slici 4.16 vreme podizanja hidrograma sliva I je kraće usled razlike u nagibu koji je 6 % za sliv E a 9% za sliv I. Iz prethodne analize uticaja oblika sliva, nagiba sliva i pošumljenosti na Q_{max} i vreme podizanja hidrograma, jasno je da svi ovi prirodni činioci utiču na kapacitet sliva da zadrži – retenzira padavine.

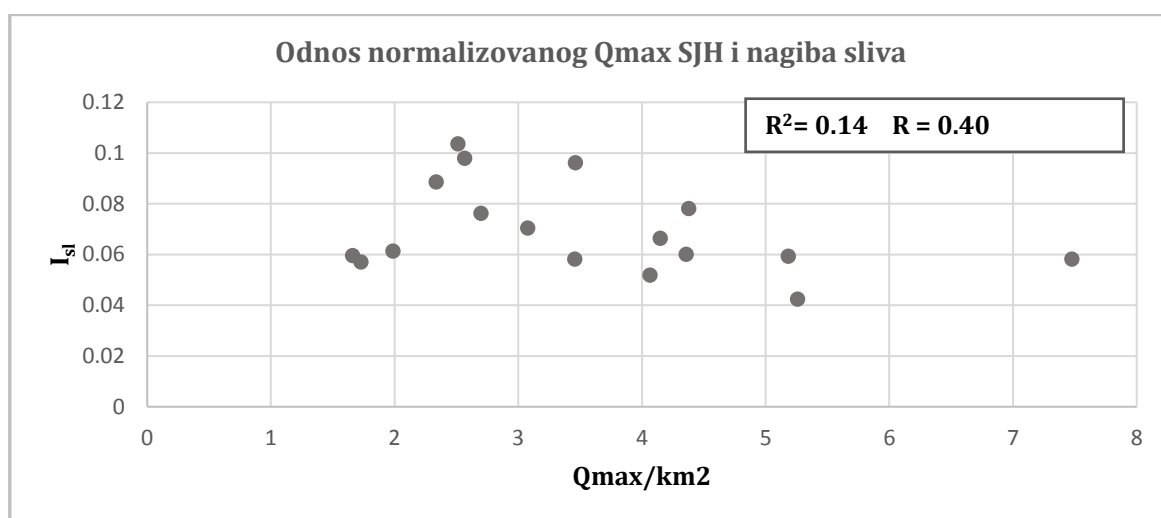
U skladu sa grafičkim prikazom rezultata analiza sintetičkih jediničnih hidrograma, prikazanih na slici 4.21, najpovoljnije uslove da retenzira padavine ima sliv F, dok slivovi I i E imaju skoro identične kapacitete za retenziranje padavina, s tim što se vršni proticaj javlja ranije u slučaju sliva I koji ima veći pad sliva, a manji koeficijent oblika sliva.



Slika 4.22 Grafički prikaz korelacije Q_{max}/km^2 i koeficijenta oblika sliva A za povratni period 5 godina i trajanje kiše 60 minuta

Kao što je prikazano na slici 4.22 koeficijent determinacije za linearnu vezu Q_{max} i A iznosi 0.294, što daje koeficijent korelacije 0.7, što ukazuje da postoji linearna veza koja ima praktičnu važnost (Vukadinović, 1970), a u ovom slučaju potvrdu izbora koeficijenta oblika sliva kao jedne od komponenti IRKS.

Na osnovu korelacije za odnos nagiba sliva (I_{sl}) i Q_{max} jediničnog hidrograma, slika 4.23, utvrđen je koeficijent determinacije od 0.14 što daje koeficijent korelacije od 0.4, što ukazuje na postojanje veze ova dva parametra i potvrđuje izbor nagiba sliva kao jedne od komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva. Pošto se korelacije hidroloških promenljivih bolje prikazuju kada se izvrši transformacija podataka, podatke prikazane na slici 4.22 i 4.23 treba shvatiti više informativno, za vizuelnu ocenu veze normalizovanih jediničnih hidrograma i odabranih komponenti IRKS.



Slika 4.23 Grafički prikaz zavisnosti Q_{max}/km^2 i nagiba sliva (I_{sl})

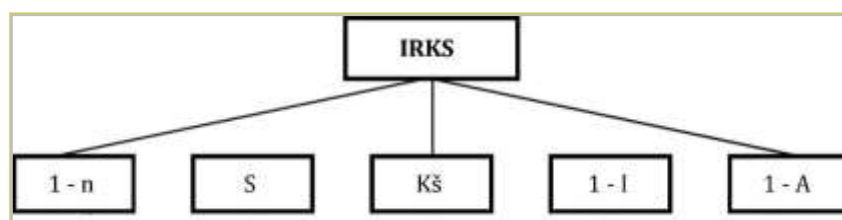
4.3.3 Verifikacija procene činilaca hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač

Na izlaznom profilu sliva postoji niz od 4 godine osmotrenih nereguliranih dnevnih proticaja. Da bi se utvrdilo u kojoj meri odabrani model padavine – oticaj daje realnu sliku režima površinskog oticaja analizirana je zapremina otekle vode sa sliva za odabrane brojevi krivih oticaja za hidrološki kompleks zemljište – pokrivač. Zapremina otekle vode je računata na osnovu izraza (3.35). Na osnovu dostupnih podataka o nereguliranim dnevnim proticanjima i sumama dnevnih padavina za period osmatranja nereguliranih dnevnih proticaja odabrane su kišne epizode uz uslov da je $P > I_a$. Na osnovu analiza nizova osmotrenih proticaja na izlaznom profilu sliva akumulacije Vrutci za period sredine 1973-1977 (za 1974. godinu ne postoje podaci o proticanjima na izlaznom profilu) i odabranih kišnih epizoda (> 5 mm u skladu sa preporukama Klein Tank i saradnici za inekse jakih kiša na osnovu osmotrenih dnevnih padavina) režim padavina za normalne i zasićene prethodne uslove vlažnosti, koeficijent korelacije za odnos

4.4 REZULTATI PRIMENE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE U ODREĐIVANJU ZNAČAJA KOMPONENTI INDIKATORA RETENCIONOG KAPACITETA SLIVA

4.4.1 Rezultati analiza težinskih koeficijenata komponenti IRKS

Na osnovu prethodno prikazanog da komponente IRKS svaka na svoj način, u manjoj ili većoj meri, utiču na kapacitet sliva da zadrži padavine i da postoji potreba da se proceni u kom obimu svaka od komponenti doprinosi IRKS to jest kvantifikovanje uticaja komponenti na vrednost indikatora dodeljivanjem težinskih koeficijenata svakoj od komponenti. AHP metoda za višekriterijumsku analizu primenjena je za normalizovane vrednosti komponenti IRKS (3.47). U skladu sa osnovnim principima ove metode, prvi korak je hijerarhijsko strukturiranje problema, to jest dekompozicija, da bi se dobila hijerarhija na čijem vrhu se nalazi cilj (IRKS), na kriterijumskom nivou se nalaze komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva. Nakon definisanja hijerarhije problema poređenjem parova utvrđeni su prioriteti između kriterijuma. Šema analitičkog hijerarhijskog procesa primenjenog za određivanje težina komponenti IRKS-a i uticaja različitih scenarija za mere prikazana je na slici 4.25.



Slika 4.25 Šematski prikaz višekriterijumske analize za određivanje težinskih koeficijenata i analizu osetljivosti indikatora retencionog kapaciteta primenom analitičkog hijerarhijskog procesa

Analiza osetljivosti, koja je primenjena u ovom radu zasnovana je na korišćenju Analitičkog hijerarhijskog procesa - AHP, koji osim osnovne skale za određivanje međusobnog značaja elemenata istog nivoa u hijerarhiji problema, koristi dve, ili više skala sa pomeranjem svih brožanih vrednosti međusobnog značaja elemenata u istom smeru, osim međusobno istog značaja, odnosno značaja izraženog Saaty skalom kao 1. Isključenje broja 1 iz "pomeranih" skala je iz razloga zadržavanja konzistentnosti matrice odlučivanja, što bi bilo nesumnjivo poremećeno u slučaju centralne dijagonale matrice. Drugim rečima, konzistentnost matrice odlučivanja bi se poremetila kada bi poređenje značaja jednog elementa sa samim sobom bilo drugačije od "istog značaja", odnosno, bio bi narušen jedan od postulata AHP: $a_{ii} = 1$.

Kako je u prikazu metodologije već rečeno, ocene međusobnih značaja date su skupom S, i kod klasične Saaty analize elementi skupa S su:

$$S = \{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

U slučaju primene takozvane "Saaty-1" skale i Saaty+1" skale, elementi skupova S-1 i S+1 dobijaju vrednosti date u tabeli 4.2:

Tabela 4.2 Uporedne vrednosti skala po Satiju (Saaty, 1980)

| Skala | zona dominiranosti | | | | | | | | | | zona dominacije | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|-----------------|---|---|---|---|---|---|----|--|
| S | 1/9 | 1/8 | 1/7 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| S ₋₁ | 1/8 | 1/7 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| S ₊₁ | 1/10 | 1/9 | 1/8 | 1/7 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |

Osobine S-1 skale su ciljno smanjenje međusobnih značaja elemenata za -1, čime se ne narušava konzistentnost matrice, a za posledicu ima umanjeње pozitivnih dominacija. Najniže vrednosti dominacije i dominiranosti elemenata se izjednačavaju čime se postiže efekat takozvanog "praga značajnosti", kada se međusobno bliski, ali ne i jednako značajni elementi u potpunosti izjednačavaju. Skalu S-1 treba koristiti u slučajevima kada ignorisanje vrlo slabe dominacije ili opšte umanjeње razlika među kriterijumima ima svrhu. Osobine S+1 skale su ciljno povećanje međusobnih značaja elemenata, a čime se, kao i u prethodnom slučaju, ne narušava konzistentnost matrice, a za posledicu ima potenciranje (uvećavanje) postojanja dominantnosti između isto značajne dominacije i iste do slabe dominacije. Najniže vrednosti dominacije i dominiranosti elemenata se potenciraju čime se postiže efekat isticanja značaja, pogotovo kod elemenata veoma bliskih po međusobnom značaju. Skalu S+1 treba koristiti u slučajevima kada je među entitetska dominacija slabo izražena, a njenom upotrebom dominaciji se daje veći značaj. Korišćenjem sve tri skale (mada je u praksi pokazano i korišćenje većeg broja skala), pri prikazu težinskih vrednosti elemenata istog hijerarhijskog nivoa, uočava se centralna vrednost težinske vrednosti elementa, kao i dve dijametralno postavljene vrednosti po skalama S-1 i S+1. Razlika težinskih vrednosti po ove dve skale daje dijapazon mogućih trendova, ukoliko dođe do minimalnih pomeranja mišljenja o međusobnom značaju elemenata. Ovo je od velikog značaja pri određivanju značaja alternativnih rešenja problema, koje imaju bliske ukupne težinske

vrednosti, odnosno ukoliko su najviše rangirana alternativa i sledeća po rangi veoma bliskih vrednosti. Tada analizu osetljivosti treba raditi za svaki od nivoa hijerarhije, da bi se uočili trendovi eventualnih promena međusobnih značaja elemenata kriterijuma i posledica toga na rangiranje najboljeg (ili najboljih) rešenja.

Vrednosti težinskih koeficijenata za normalizovane komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva dobijene su primenom AHP višekriterijumske analize na osnovu izraza (3.48-3.51), a matrica poređenja parova komponenti i odlučivanja za težinske vrednosti ima oblik prikazan na slici 4.26.

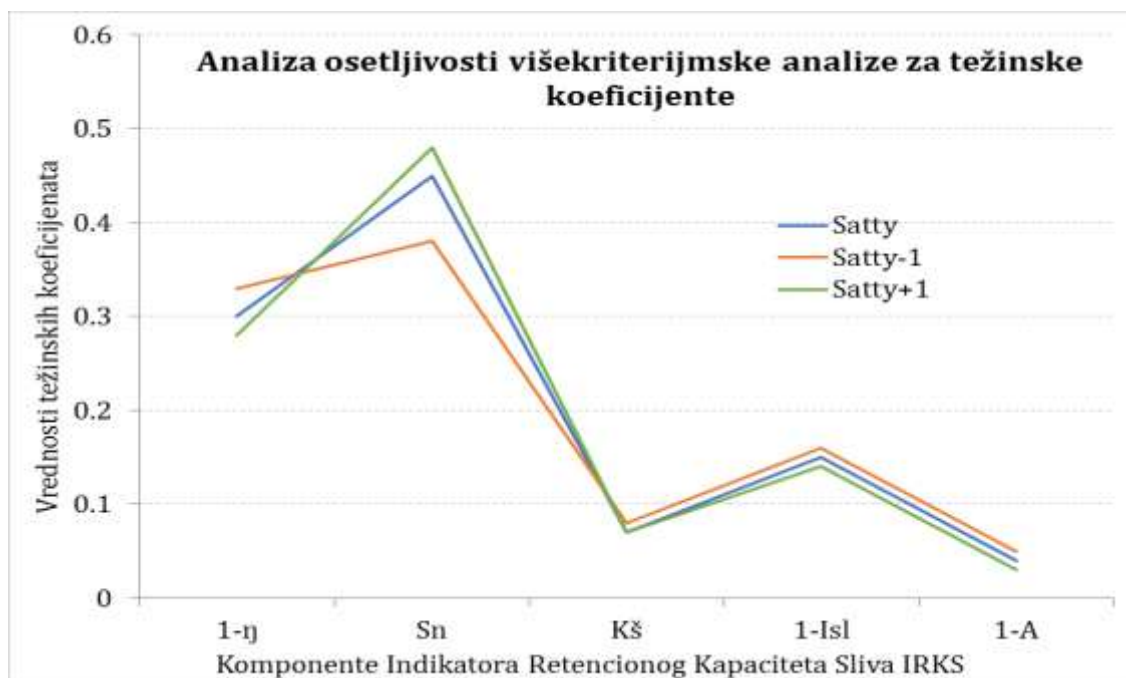
| | 1-η | S_n | K_š | 1-I_{sl} | 1-A |
|-------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------|
| 1-η | 1 | 1/2 | 5 | 3 | 7 |
| S_n | 2 | 1 | 6 | 4 | 8 |
| K_š | 1/5 | 1/6 | 1 | 1/3 | 3 |
| 1-I_{sl} | 1/3 | 1/4 | 3 | 1 | 5 |
| 1-A | 1/7 | 1/8 | 1/3 | 1/5 | 1 |

Slika 4.26 Matrica odlučivanja za težinske koeficijente komponenti IRKS

Analiza osetljivosti sprovedena je analizom uticaja pomeranja Saaty skale za -1 i +1, na način kako je prikazano u tabeli 4.3 i na slici 4.27 za određivanje težinskih koeficijenata komponenti indikatora retencionog kapaciteta.

Tabela 4.3 Težinske vrednosti komponenti po tri skale

| | Satty | Satty -1 | Satty+1 |
|-------------------------|--------------|-----------------|----------------|
| 1-η | 0.3 | 0.33 | 0.28 |
| S_n | 0.45 | 0.38 | 0.48 |
| K_š | 0.07 | 0.08 | 0.07 |
| 1-I_{sl} | 0.15 | 0.16 | 0.14 |
| 1-A | 0.04 | 0.05 | 0.03 |



Slika 4.27 Analiza osetljivosti težinskih vrednosti za komponente IRKS

Da bi se proverila tačnost rezultata analizirane su vrednosti stepena konzistentnosti, CR (Saaty, 1980), za sve tri Satty skale dobijene su vrednosti koje su manje od 0.1 i iznose 0.047 za Satty skalu, dok je su vrednosti stepena konzistentnosti, za Satty-1 i Satty+1, 0.008 i 0.097, što ukazuje na tačnost rezultata analize osetljivosti težinskih vrednosti za komponente indikatora retencionog kapaciteta.

U skladu sa dobijenim vrednostima težinskih koeficijenata za komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva matematički izraz (3.47) za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta dobija oblik:

$$IRKS = 0.30 \cdot (1 - \eta) + 0.45 \cdot S_n + 0.07 K_{\xi} + 0.150 \cdot (1 - I_{s1}) + 0.04(1 - A)$$

Na osnovu gornjeg izraza, dobiće se vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva u rasponu od 0-1.

4.4.2 Rezultati utvrđivanja klasnih intervala za kvantifikovanje IRKS

Prethodno prikazani pristup pruža, u meri u kojoj je to moguće na neizučnim slivovima, zadovoljavajući stepen detaljnosti za analizu indikatora retencionog kapaciteta sliva u zavisnosti od prirodnih karakteristika sliva i prethodnih uslova vlažnosti tla. Drugi, manje precizan, pristup

kvantifikovanja indikatora koji se može naći u literaturi je primena bodovanja na komponente indikatora koji se izučava (Šatalová i Kenderessy, 2017). Prvi korak u primeni ovakvog pristupa je podela komponenti na klase kojima se dodaju bodovi koji se množe sa težinskim koeficijentima. Imajući u vidu različite vrednosti odabranih komponenti IRKS za dva pristupa podele područja istraživanja na podslivove, usvojen je broj od 10 klasnih intervala za sve komponente indeksa retencionog kapaciteta i sve prethodne uslove vlažnosti. Raspon klasnih intervala ΔK je utvrđen primenom izraza (3.53) a zbirni prikaz dodeljenih bodova za svaku komponentu indikatora retencionog kapaciteta sliva u skladu sa uticajem koji svaka od njih ima na retencioni kapacitet sliva, to jest da li doprinosi njegovom smanjenju ili povećanju, prikazan je zbirno u tabeli 4.4.

Tabela 4.4 Bodovanje komponenti IRKS za 10 klasnih intervala

| Bodovi | Komponente indikatora retencionog kapaciteta | | | | |
|--------|--|--------------|-------------|-----------|-------------|
| | S_n | η | I_{sl} | A | KŠ |
| 1 | 0.013-0.021 | 0.722-0.801 | 0.097-0.104 | 0.92-0.98 | 0.182-0.258 |
| 2 | 0.022-0.030 | 0.643-0.721 | 0.091-0.097 | 0.85-0.91 | 0.259-0.334 |
| 3 | 0.031-0.036 | 0,564-0.642 | 0.084-0.090 | 0.78-0.84 | 0,335-0.410 |
| 4 | 0.0361-0.045 | 0.485-0.563 | 0.077-0.083 | 0.71-0.77 | 0.411-0.486 |
| 5 | 0.0451-0.062 | 0.406 -0.484 | 0.070-0.076 | 0.64-0.70 | 0.487-0.562 |
| 6 | 0.063-0.066 | 0.327-0.405 | 0.063-0.069 | 0.57-0.63 | 0.563-0.638 |
| 7 | 0.067- 0.084 | 0.248 -0.326 | 0.056-0.062 | 0.49-0.56 | 0.639-0.713 |
| 8 | 0.085-0.118 | 0.169-0.247 | 0.049-0.055 | 0.42-0.48 | 0.714-0.789 |
| 9 | 0.119-0.174 | 0.09 -1.68 | 0.042-0.048 | 0.35-0.41 | 0.790-0.865 |
| 10 | 0.175-0.280 | 0.01-0.089 | 0.035-0.041 | 0.27-0.34 | 0.866-0.941 |

Na osnovu rezultata analize klasnih intervala i dodele bodova za različite raspone komponenti indikatora retencionog kapaciteta izraz za izračunavanje IRKS dobija oblik:

$$IRKS = 0.30*\eta + 0.45*S_n + 0.07*K_s + 0.150*I_{sl} + 0.04*A$$

U skladu sa prikazanim u tabeli 4.4, najveću vrednost za indikator retencionog kapaciteta imao bi sliv koji, hipotetički, ima vrednost za normalizovano S u rasponu od 0.0175 do 0.280, koeficijent oticaja koji je manji od 0.09, pad sliva koji je manji od 4 %, koeficijent oblika sliva od 0.27 do 0.34 i uslove da je više od 87 % sliva pod šumom. Ovaj pristup za određivanje IRKS je dat samo kao alternativa, jer se na ovaj način smanjuje tačnost kao i količina informacija.

4.4.3 Analiza scenarija prirodnih mera za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva

Na osnovu aktuelnih stavova koji se mogu naći u literaturi (Mioduszewski i dr., 2014; Strosser i dr., 2015) mere koje doprinose povećanju maksimalnog retencionog kapaciteta sliva doprinose ostvarivanju ciljeva upravljanja vodama koje je adaptivno i integralno (EU 2014). Pored toga, zbog pozitivnog uticaja koji retencioni kapacitet sliva ima u adaptaciji na klimatske promene ove mere, pored ostalih, su navedene kod za Republiku Srbiju (Matić i saradnici, 2015) i u Strategiji za adaptaciju na klimatske promene (ICPDR, 2018). Svakako je važno istaći da primene mera koje poboljšavaju prirodni retencioni kapacitet sliva zahteva saradnju više sektora kao i postojanje odgovarajućeg zakonodavnog okvira.

U skladu sa prirodnim karakteristikama područja istraživanja i uočenih problema i izazova za upravljanje vodama (naglo formiranje površinskog oticaja, erozioni procesi, pogoršanje kvaliteta vode usled difuznog zagađenja, i drugo) razmatrane su 3 grupe mera koje utiču na poboljšanje retencionog kapaciteta sliva na način prikazan u (3.4.3), a samim tim i doprinose ostvarivanju ciljeva upravljanja vodama tako da je ono adaptivno i integralno na nivou sliva. Kao što je prikazano u tabeli 4.5 odabrano je 6 potencijalnih mera na osnovu kojih su razvijena 3 moguća scenarija uz pretpostavku da postoji odgovarajući zakonodavni okvir za podršku primene mera.

Tabela 4.5 Tabelarni prikaz odabranih mera za 3 scenarija

| SCENARIO | MERE | | | | | |
|------------|------|-----|-----|-----|------|-----|
| | FM2 | FM5 | FM6 | AM2 | AM10 | NM1 |
| <i>SC1</i> | + | + | + | + | + | + |
| <i>SC2</i> | + | + | + | + | + | + |
| <i>SC3</i> | - | - | - | - | - | + |

U tabeli 4.5 oznake SC1, SC2 i SC3 su različite alternative(scenarija) za mere koje su primenjive na području istraživanja. Grupa mera koja ima oznake u tabeli FM2(ovo su zbirno mere koje imaju oznake F01 i F02 u katalogu NWRM), FM5 i FM6 se odnosi na uspostavljanje i održavanje riparijalnih šuma i šuma u gornjim tokovima sliva, pretvaranje poljoprivrednih površina u šumsko zemljište i kontinuirano pošumljavanje. Poljoprivredne mere su označene kao AM2 i AM10, prva oznaka – AM2 se odnosi na uspostavljanje zaštitnih pojaseva na poljoprivrednim površinama dok mera AM10 obuhvata prirodno terasiranje (terasiranje po izohipsama). Oznaka NM1 se odnosi na izgradnju retenzija. Predložene mere pozitivno utiču na režim voda jer

doprinosu smanjenju naglih i brzih oticaja sa sliva jer povećavaju retencioni kapaciteta tako što direktno utiču na tri komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva. Kao prvo, jasno je da one direktno smanjuju koeficijent oticaja (η), povećavaju maksimalni retencioni kapacitet sliva u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač (S) i koeficijent pošumljenosti (K_s) za koji važi da što je bliži jedinici režim voda na slivu je uravnoteženiji (Gavrilović, 1972). Iako su pad sliva i oblik sliva komponente koje nije moguće modifikovati, jasno je da se primenom ovih mera umanjuju negativni uticaji koje veliki padovi sliva (I_{sl}) i koeficijent oblika sliva (A) imaju na upravljanje vodama.

Za svaku od alternativa računati su $IRKS_{(mere)}$ da bi se procenilo u kom obimu predložena kombinacija mera doprinosi poboljšanju retencionog kapaciteta sliva. Radi utvrđivanja uticaja mera na povećanje vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva i režim oticaja sa sliva, a samim tim i na upravljanje vodama, novi izraz za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva ($IRKS_{max}$) u skladu sa primenjenim merama glasi:

$$IRKS_{max} = IRKS + IRKS_{mere}$$

4.5 REZULTATI OKVIRNOG KVANTIFIKOVANJA I UTICAJA MERA NA IRKS

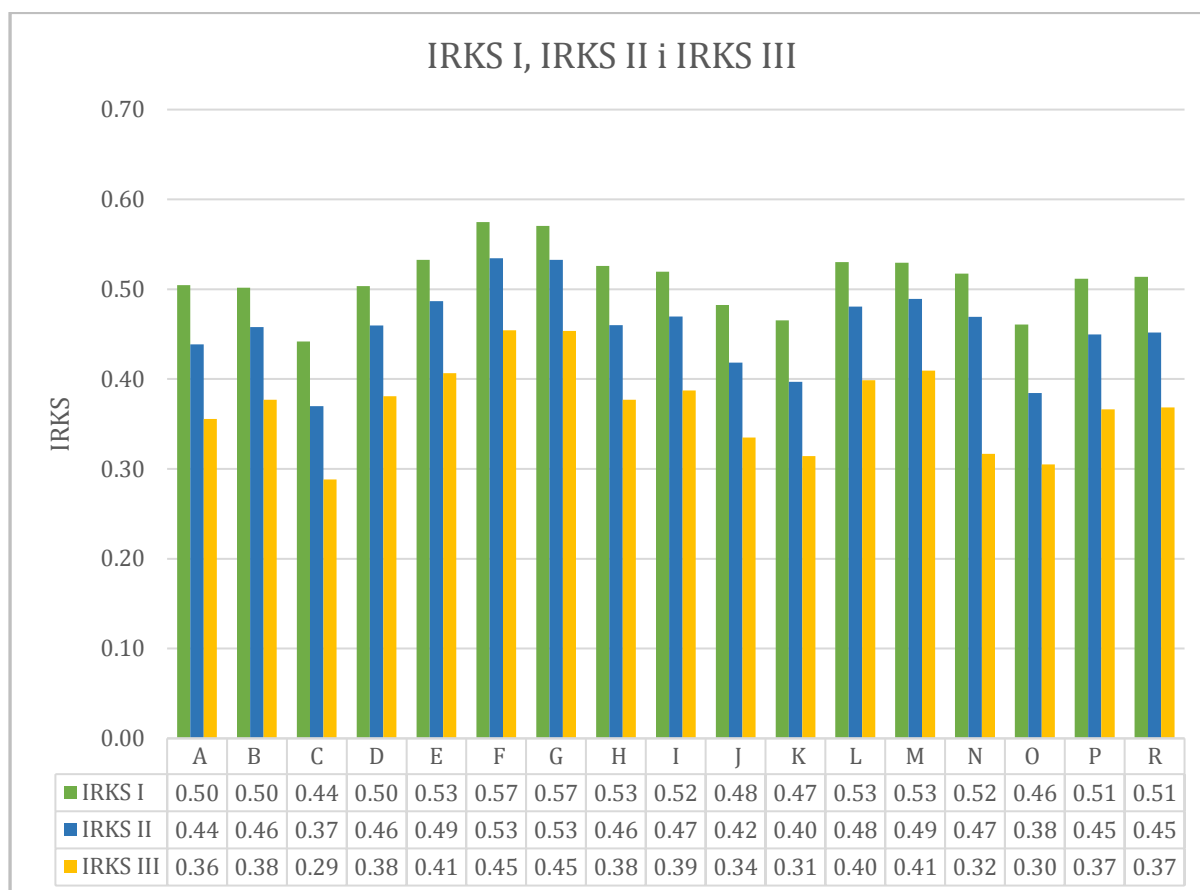
4.5.1 Rezultati određivanja indikatora retencionog kapaciteta sliva

Za odabrane komponente i njihove pripadajuće težinske koeficijente indikator retencionog kapaciteta sliva kvantifikovan je za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanja jednog sata, za sva tri prethodna uslova vlažnosti tla primenom izraza:

$$IRKS = 0.30 * (1 - \eta) + 0.45 * S_n + 0.07K_s + 0.150 * (1 - I_{sl}) + 0.04(1 - A)$$

Težinski koeficijenti su određeni primenom AHP višekriterijumske analize na način opisan u poglavlju 4.4.1. Indikator retencionog kapaciteta sliva računat je za obe podele područja istraživanja na podslivove (hidrološke jedinice za modeliranje), za 17 i 6 podslivova. Za detaljniju podelu područja istraživanja na podslivove (17) najmanje vrednosti IRKS za sva tri uslova prethodne vlažnosti tla su identifikovane za sliv C, dok su najveće vrednosti za indikator retencionog kapaciteta sliva određene na slivu F i G. Koeficijent oblika sliva C je 0.9, koeficijent pošumljenosti 0.18, dok je za slivove sa najvećim indikatorom retencionog kapaciteta koeficijent oblika sliva identični i iznosi 0.5, koeficijent pošumljenosti za sliv F je 0.48 a za sliv G 0.78. Padovi za sva tri sliva su 6% ali je razlika u maksimalnom retencionom kapacitetu (S) u funkciji

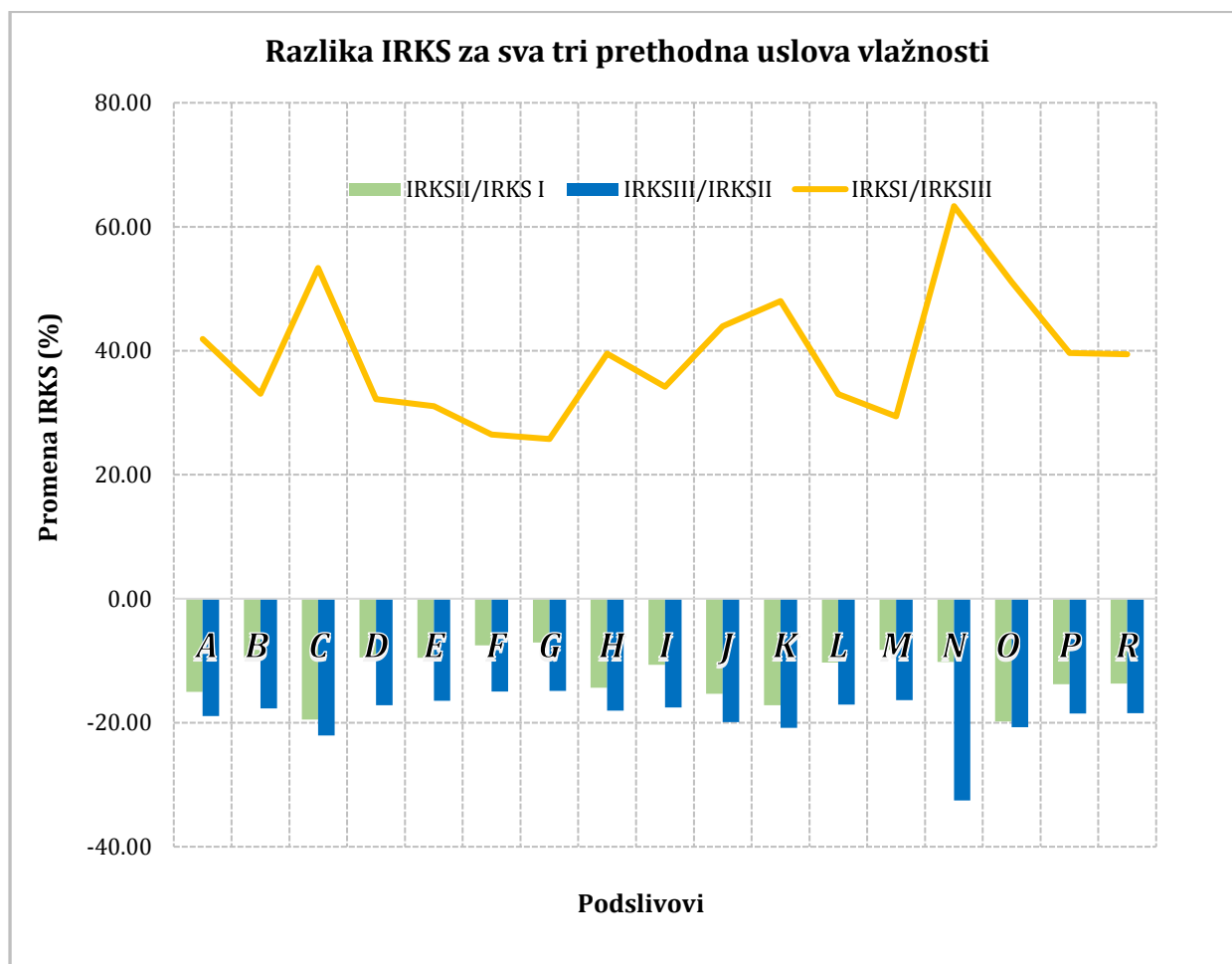
hidrološkog kompleksa zemljište pokrivač velika, za normalne uslove vlažnosti ona iznosi 64 za sliv C a za slivove F i G ona iznosi 114 i 118. Rezultati primene metodologije za okvirno kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva za sva tri prethodna ulova vlažnosti i sedamnaest podslivova prikazan je na slici 4.28. Simboli IRKS I, IRKS II i IRKS III označavaju prethodne uslove vlažnosti tla ispod proseka, normalne i iznad proseka.



Slika 4.28 Rezultati primene metodologije za kvantifikovanje IRKS za sva tri uslova prethodne vlažnosti tla i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat

U skladu sa prikazanim rezultatima na slici 4.28 razlika u vrednostima indikatora retencionog kapaciteta sliva za različite uslove prethodne vlažnosti nije uniformna za podslivove, a najveće razlike IRKS, što se moglo i očekivati, između IRKS I i IRKS III su u rasponu od 26 % za sliv G do 63 % za sliv N, što ukazuje na uticaj koji režim padavina (prethodna vlažnost zemljišta) ima na kapacitet sliva da retenzira intenzivne kratkotrajne jake kiše. Za iznad prosečne (IRKS III) i normalne prethodne uslove vlažnosti (IRKS II) najmanje smanjenje retencionog kapaciteta je identifikovano za podsliv G i iznosi 15 % , a najveća razlika je 33 % za sliv N. Raspon razlike

vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva za IRKS II i IRKS I, procentualnog smanjenja kapaciteta sliva da retenzira padavine, se kreće od 7 % za sliv G do 20 % za sliv O. Rezultati analize uticaja prethodnog režima padavina na vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva prikazani su na slici 4.29.



Slika 4.29 Rezultati analize razlike IRKS za sva tri uslova prethodne vlažnosti tla i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat

Rezultati primene metodologije za kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva na manji broj podslivova (6) za sva tri prethodna uslova vlažnosti (Tabela 4.6) ukazuju da najmanji kapacitet za zadržavanje padavina ima podsliv V, dok najveći kapacitet za retenziranje padavina ima podsliv IV koji ima skoro duplo veći koeficijent pošumljenosti sliva. Najveće razlike za retenziranje vode za sva tri prethodna uslova vlažnosti su za sliv III kod koga je, na osnovu vrednosti IRKS, retencioni kapacitet za 38 % veći za uslove prethodne vlažnosti ispod proseka

nego kada je zasićenost tla iznad proseka, dok je razlika za iste prethodne uslove vlažnosti na slivu IV ova razlika 20%.

Tabela 4.6 Vrednosti i razlike IRKS za šest podslivova i sva tri uslova prethodne vlažnosti tla za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanja kiše 1 sat

| Podsliv | IRKS I | IRKS CII | IRKS III | IRKSII/IRKS I | IRKSIII/IRKSII | IRKSI/IRKSIII |
|---------|--------|----------|----------|---------------|----------------|---------------|
| I | 0.56 | 0.51 | 0.43 | -10 | -16 | 31 |
| II | 0.58 | 0.54 | 0.46 | -8 | -15 | 26 |
| III | 0.53 | 0.47 | 0.38 | -13 | -18 | 38 |
| IV | 0.63 | 0.61 | 0.53 | -3 | -14 | 20 |
| V | 0.52 | 0.47 | 0.39 | -11 | -17 | 34 |
| VI | 0.58 | 0.53 | 0.45 | -8 | -15 | 28 |

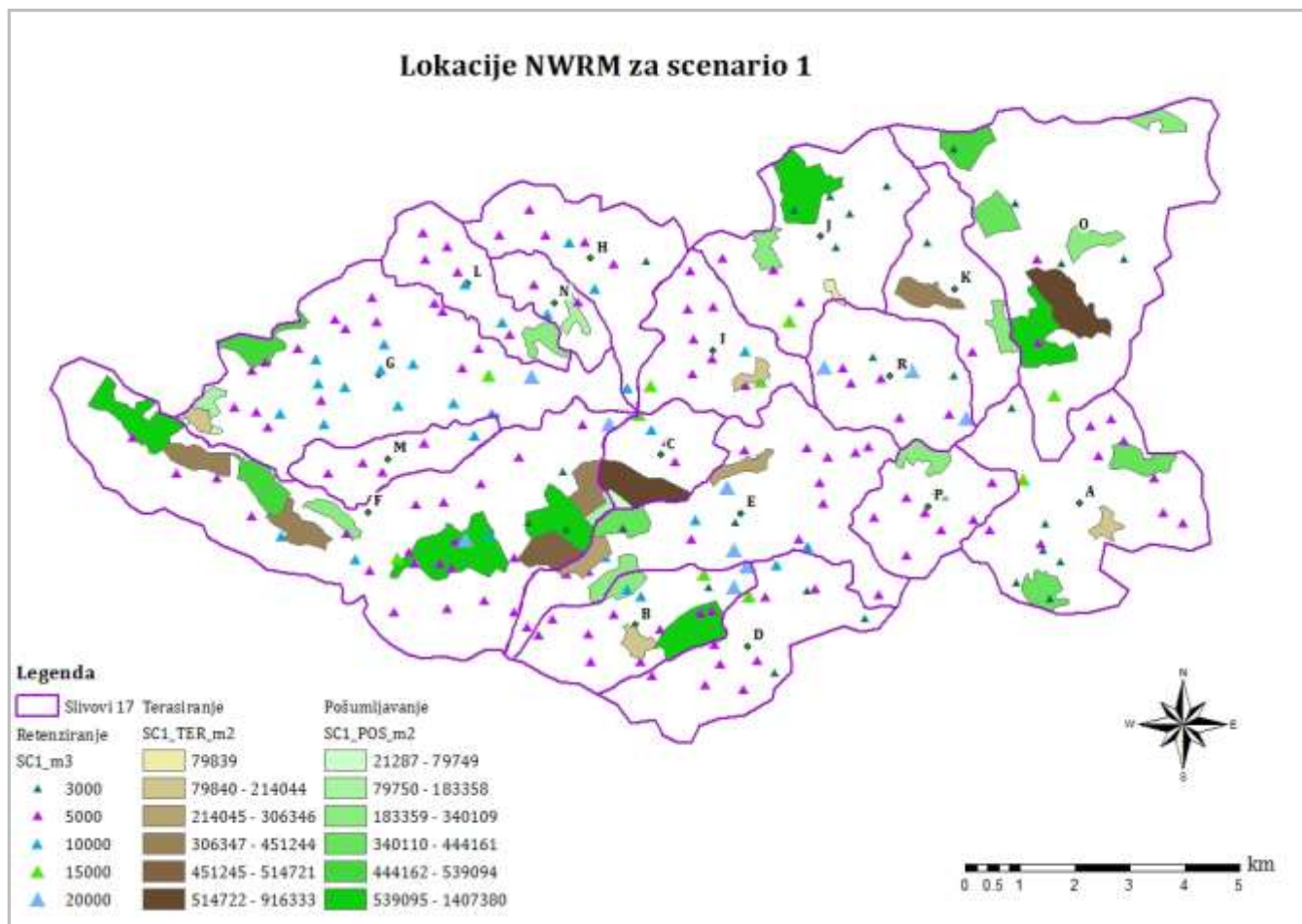
U sledećem poglavlju dati su rezultati analiza uticaja svake od 3 potencijalne alternative za prirodne mere koje doprinose poboljšanju višenamenske hidrološke usluge ekosistema - retencionog kapaciteta sliva, a samim tim doprinose i ostvarivanju ciljeva upravljanja vodama. Vrednost indikatora retencionog kapaciteta sliva primenom mera označena je skraćenicom $IRKS_{max}$.

4.5.2 Uticaj NWRM na IRKS i mapiranje njihovih lokacija na slivu

Mere obuhvaćene scenariom 1

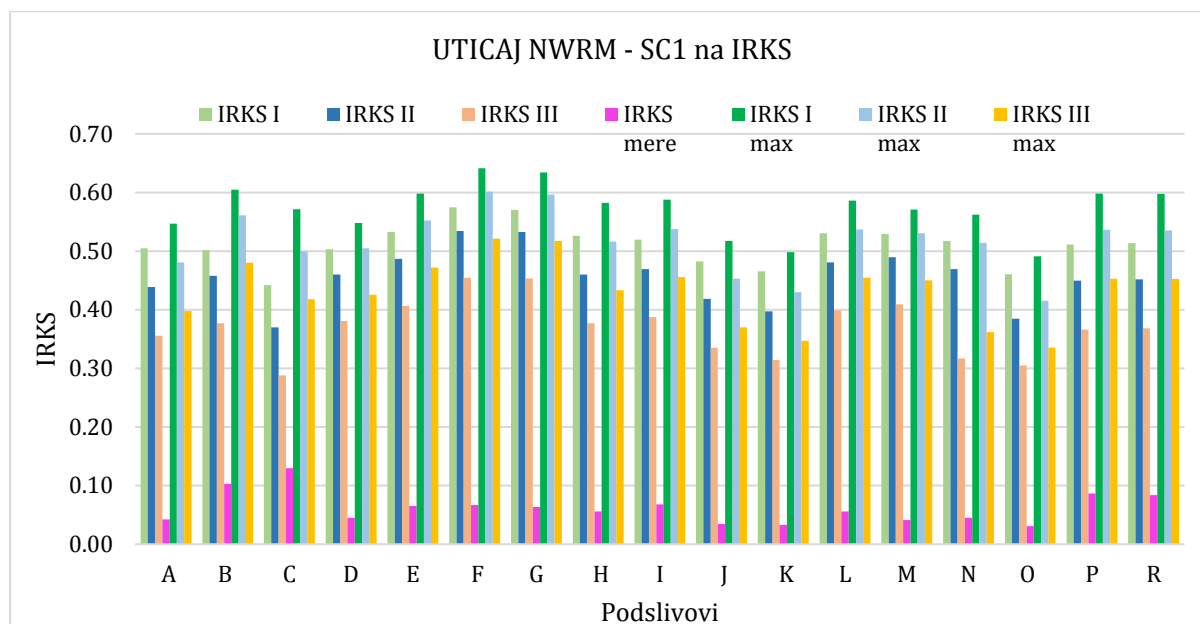
U okviru scenarija 1 za koji su potencijalne mere prikazane na slici 4.30 predviđeno je sledeće:

- Mere pošumljavanja (FM2, FM5 i FM6), zbirno date, podrazumevaju podizanje šumskih površina na svim potencijalnim lokalitetima ukupne površine od 12.164 km²;
- Poljoprivredne mere AM2 i AM10 obuhvataju uspostavljanje zaštitnih pojaseva i tradicionalno terasiranje na poljoprivrednim površinama većeg nagiba, gde je to moguće u zavisnosti od prirodnih karakteristika terena, što ukupno iznosi 5.301 km².
- Mere za povećanje zapremine retenzirane vode (NM1) na slivu zasnovane su na izgradnji 200 retenzija (oko 60% od maksimalno mogućeg broja), čija ukupna zapremina iznosi 1,345, 000 m³. Kao što je prikazano na slici 4.25, retenzije su ravnomerno raspoređene kako po podslivovima tako i po maksimalnim zapreminama (od 3,000 m³, 5,000 m³, 10,000 m³, 15,000 m³ i 20,000 m³).



Slika 4.30 Mapiranje lokacija NWRM obuhvaćenih alternativom 1(SC1)

Na osnovu primene razvijene metodologije na 17 slivova, najveći uticaj primene NWRM je na slivu C za koji vrednost IRKS mere iznosi 0.13 a najmanji uticaj imaju mera primenjene na slivu O. Važno je istaći da primenom mera po scenariju 1, za slivove B i C za IRKS III_{max} (uslovi vlažnosti iznad proseka) prevazilazi vrednosti IRKS II bez mera, kao što se može videti na slici 4.30 a u prilogu V dat je tabelarni prikaz (tabela V-1).



Slika 4.31 Uticaj predloženih NWRM za SC1 na indikator retencionog kapaciteta sliva i prikaz poređenja vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva bez i sa primenom mera za sva tri scenarija prethodnih uslova vlažnosti tla

Tabela 4.7 Uticaj primene mera SC1 na indikator retencionog kapaciteta sliva za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanje kiše 1 sat za sva tri scenarija prethodne vlažnosti tla

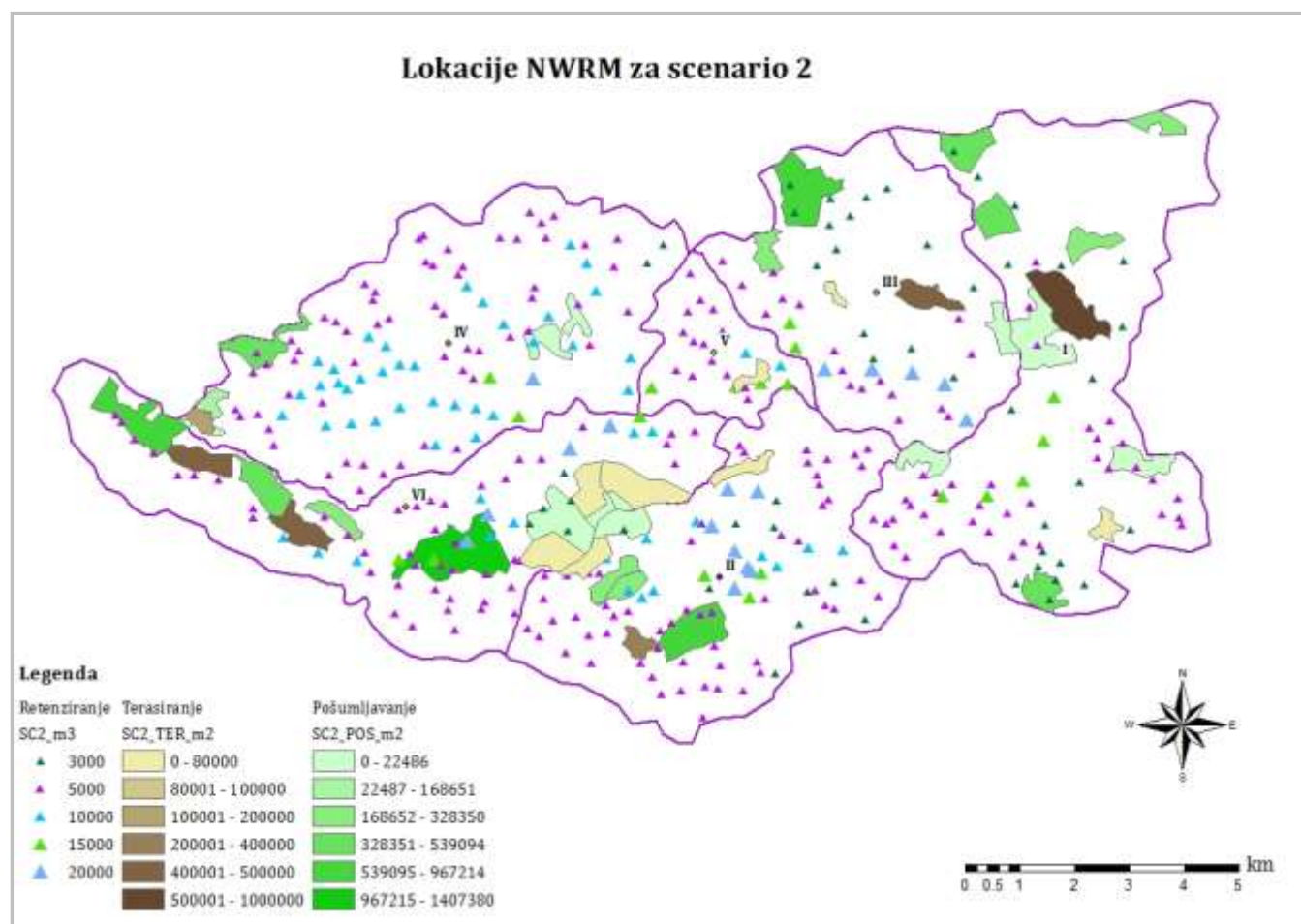
| Sliv | IRKS I | IRKS II | IRKS III | IRKS mere | IRKS I max | IRKS II max | IRKS III max |
|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| I | 0.56 | 0.51 | 0.43 | 0.04 | 0.60 | 0.55 | 0.47 |
| II | 0.58 | 0.54 | 0.46 | 0.07 | 0.65 | 0.61 | 0.53 |
| III | 0.53 | 0.47 | 0.38 | 0.05 | 0.58 | 0.52 | 0.43 |
| IV | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.08 | 0.72 | 0.63 | 0.58 |
| V | 0.52 | 0.47 | 0.39 | 0.07 | 0.59 | 0.54 | 0.46 |
| VI | 0.58 | 0.53 | 0.45 | 0.08 | 0.65 | 0.61 | 0.53 |
| MAX | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.085 | 0.72 | 0.63 | 0.58 |
| MIN | 0.52 | 0.47 | 0.38 | 0.044 | 0.58 | 0.52 | 0.43 |

Analizom uticaja ovog scenarija na indikator retencionog kapaciteta sliva za 6 podslivova dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 4.7. Primenom metodologije utvrđeno je da je najveći efekat primene mera za scenario 1 je na slivu IV i VI za koje je dobijen $IRKS_{mere}$ 0.08, a vrednost $IRKS_{III\ max}$ je veća nego $IRKS_{II}$ za sliv IV. Najpovoljniji uticaj na povećanje kapaciteta sliva da zadrži vodu je, na osnovu primenjene metodologije, identifikovano na slivu IV kao što se može videti u tabeli 4.7.

Mere obuhvaćene scenariom 2

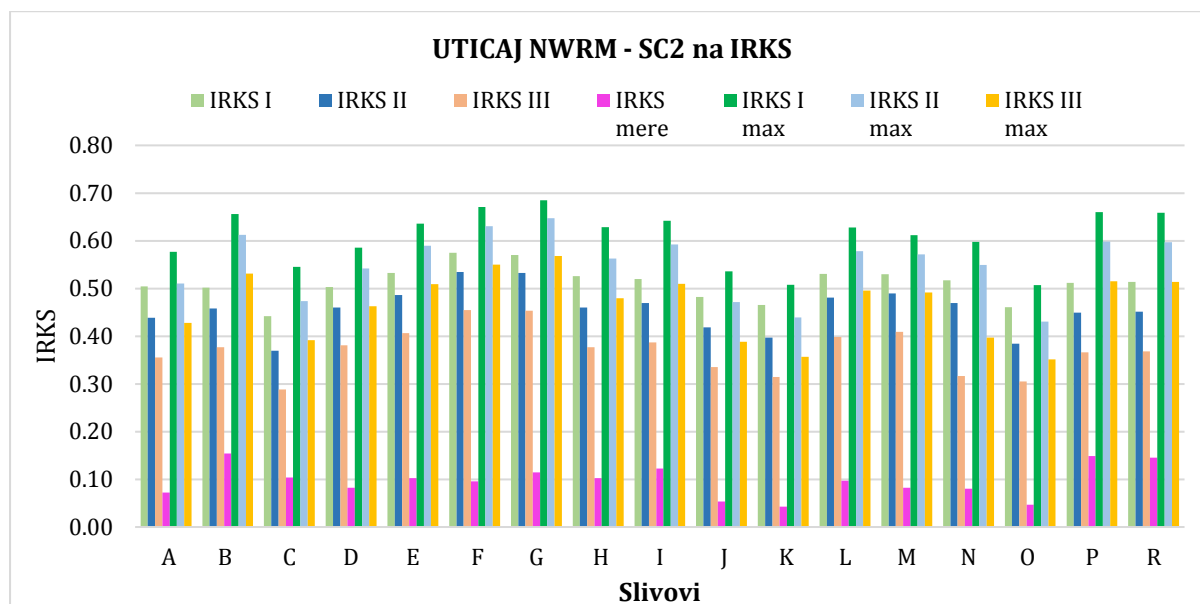
Scenariom 2, za koji je mapiranje potencijalnih NWRM prikazano na slici 4.32, obuhvaćeno je sledeće:

- Mere pošumljavanja (FM2, FM5 i FM6), zbirno date, podrazumevaju podizanje šumskih površina na 50% potencijalno mogućih lokacija, ravnomerno raspoređenih po podslivovima, što ukupno iznosi 8.286 km²;
- Poljoprivredne mere (AM2 i AM10) kojima se podrazumeva podizanje zaštitnih pojaseva na 50% mogućih lokacija, kao i tradicionalno terasiranje na poljoprivrednim površinama većeg nagiba na 50% potencijalno mogućih lokacija, što ukupno iznosi 2.663 km².
- Mere za povećanje zapremine retenzirane vode (NM1) zasnovane su na izgradnji 372 retenzije, (maksimalnih zapremina od 3,000 m³, 5,000 m³, 10,000 m³, 15,000 m³ i 20,000 m³), odnosno na izgradnji retenzija na svim potencijalno mogućim lokacijama, što daje ukupan kapacitet retenzija od 2,467,000 m³.



Slika 4.32 Mapiranje lokacija NWRM obuhvaćenih alternativom 2 (SC2)

Analizom rezultata dobijenih primenom metodologije za vrednovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva za mere predviđene scenarijom 2, najveća vrednost za IRKSmere je za sliv B(0.15), a najmanja za sliv K(0.42). Za 9 slivova (B, C, E, F, G, H, L, P, R) primenom mera po alternativni 2, IRKS III_{max} (uslovi vlažnosti tla iznad proseka) prevazilazi vrednosti retencionog kapaciteta sliva za normalne prethodne uslove vlažnosti tla (IRKS II) bez mera, kao što se može videti na slici 4.33, kao i u tabeli za scenario 2 koja je data u prilogu V (tabela V-2). Ukupna površina ovih slivova je 83 km² što predstavlja 57 % od cele površine sliva akumulacije Vrutci.



Slika 4.33 Uticaj predloženih NWRM za SC2 na indikator retencionog kapaciteta sliva i prikaz poređenja vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva bez i sa primenom mera za sva tri scenarija prethodnih uslova vlažnosti tla

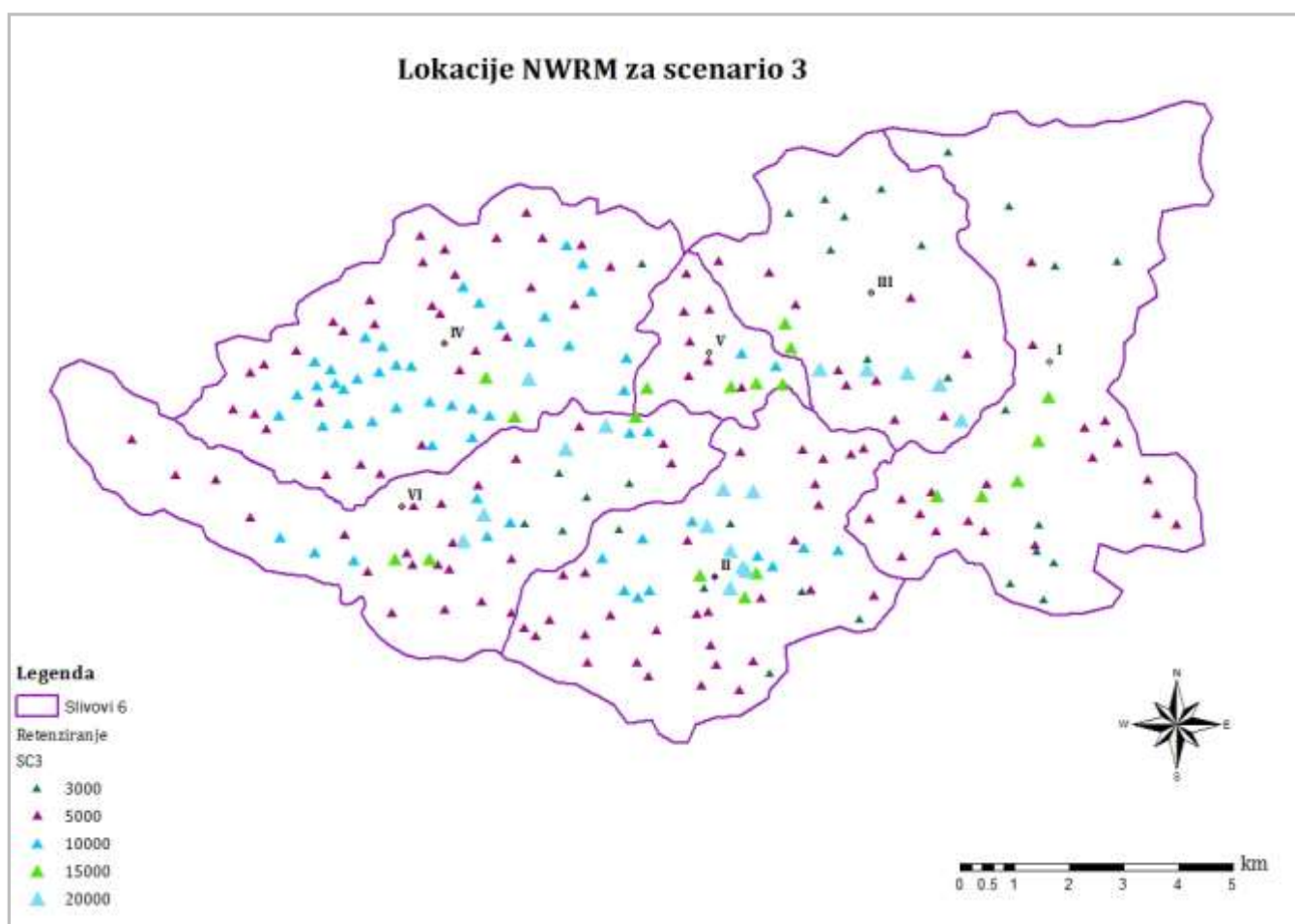
Rezultati analiza uticaja mera na indikator retencionog kapaciteta sliva za 6 podslivova prikazani su u tabeli 4.8. Na osnovu priloženog, najveći uticaj mera je na sliv VI za koji vrednost $IRKS_{mere}$ iznosi 0.16, dok je najmanji uticaj na sliv I. Na ukupno 3 od 6 slivova vrednost $IRKS_{III\ max}$ prevazilazi vrednosti $IRKS_{II}$ (normalni uslovi vlažnosti) bez mera, kao što se može videti tabeli 4.8.

Tabela 4.8 Uticaj primene NWRM SC2 na indikator retencionog kapaciteta sliva za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanje kiše 1 sat za sva tri scenarija prethodne vlažnosti tla

| Sliv | IRKS I | IRKS II | IRKS III | IRKS mere | IRKS I max | IRKS II max | IRKS III max |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| I | 0.56 | 0.51 | 0.43 | 0.070 | 0.63 | 0.58 | 0.50 |
| II | 0.58 | 0.54 | 0.46 | 0.113 | 0.69 | 0.65 | 0.57 |
| III | 0.53 | 0.47 | 0.38 | 0.078 | 0.61 | 0.55 | 0.46 |
| IV | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.155 | 0.79 | 0.71 | 0.65 |
| V | 0.52 | 0.47 | 0.39 | 0.123 | 0.64 | 0.59 | 0.51 |
| VI | 0.58 | 0.53 | 0.45 | 0.099 | 0.67 | 0.63 | 0.55 |
| MAX | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.16 | 0.79 | 0.71 | 0.65 |
| MIN | 0.52 | 0.47 | 0.38 | 0.07 | 0.61 | 0.55 | 0.46 |

Mere obuhvaćene scenariom 3

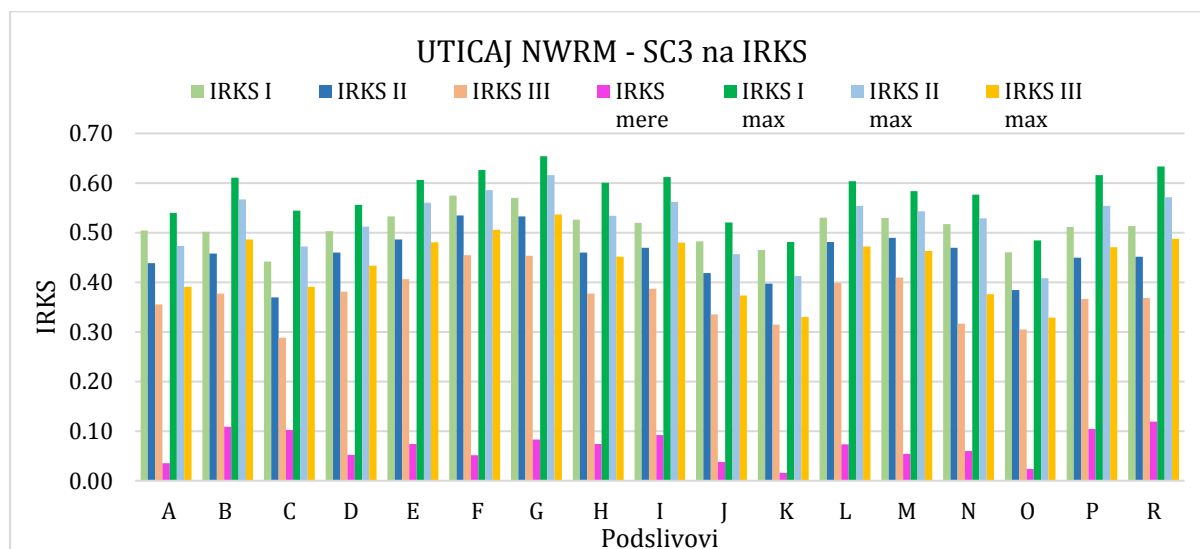
U okviru scenarija 3, kao potencijalne mere razmatrane su samo one za povećanje zapremine retenzirane vode (NM1) na slivu. Ovaj scenario je zasnovan na izgradnji 240 retenzija, različitih zapremina čije lokacije su prikazane na slici 4.34. Ukupna zapremina retenzija je 1,855,000 m³ i obuhvata manje retenzije kapaciteta (3,000 m³ i 5,000 m³) na 50% potencijalnih lokacija, dok su veće retenzije (10,000 m³, 15,000 m³ i 20,000 m³) razmatrane na svim potencijalnim lokalitetima u zavisnosti od prirodnih karakteristike sliva.



Slika 4.34 Mapiranje lokacija NWRM obuhvaćenih scenariom 3

Na osnovu rezultata primene metodologije za kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva na 17 slivova, najveći uticaj primene mera je na slivu R za koji vrednost $IRKS_{mere}$ iznosi 0.12 a najmanji uticaj imaju mera primenjene na slivu K za koji $IRKS_{mere}$ iznosi 0.016. Za ukupno 5 slivova (B, C, I, P i R) primena mera po scenariju 3, daje rezultate za $IRKS_{max}$ koji su veći od

vrednosti IRKS II bez mera, kao što se može videti na slici 4.35 dok je tabelarni prikaz rezultata dat u tabeli za SC3 u prilogu V (tabela V-3).



Slika 4.35 Uticaj predloženih NWRM za SC3 na indikator retencionog kapaciteta sliva i prikaz poređenja vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva bez i sa primenom mera za sva tri scenarija prethodnih uslova vlažnosti tla

Analizom uticaja ove alternative mera, samo pošumljavanje, na indikator retencionog kapaciteta sliva za 6 podslivova dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 4.9. Primenom metodologije utvrđeno je da je najveći efekat primene mera za scenario 3 je na slivu IV za koji je dobijen $IRKS_{mere}$ 0.11 dok je najmanji učinak mera za sliv I a vrednost $IRKS_{III\ max}$ je veća nego $IRKS_{II}$ za sliv IV i V.

Tabela 4.9 Uticaj primene mera SC3 na indikator retencionog kapaciteta sliva za kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina i trajanje kiše 1 sat za sva tri scenarija prethodne vlažnosti tla

| Sliv | IRKS I | IRKS II | IRKS III | IRKS mere | IRKS I max | IRKS II max | IRKS III max |
|------|--------|---------|----------|-----------|------------|-------------|--------------|
| I | 0.56 | 0.51 | 0.43 | 0.03 | 0.59 | 0.54 | 0.46 |
| II | 0.58 | 0.54 | 0.46 | 0.07 | 0.65 | 0.61 | 0.53 |
| III | 0.53 | 0.47 | 0.38 | 0.05 | 0.58 | 0.52 | 0.44 |
| IV | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.11 | 0.74 | 0.66 | 0.61 |
| V | 0.52 | 0.47 | 0.39 | 0.09 | 0.61 | 0.56 | 0.48 |
| VI | 0.58 | 0.53 | 0.45 | 0.06 | 0.63 | 0.59 | 0.51 |
| MAX | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.11 | 0.74 | 0.66 | 0.61 |
| MIN | 0.52 | 0.47 | 0.38 | 0.03 | 0.58 | 0.52 | 0.44 |

Zbirni prikaz uticaja mera za sva tri scenarija na IRKS

Pozitivan uticaj NWRM na indikator retencionog kapaciteta je očigledan. Na osnovu analiza uticaja sva tri scenarija mera, na indikator retencionog kapaciteta sliva, najveći uticaj na povećanje retencionog kapaciteta sliva imaju mere obuhvaćene scenarijom 2 za koji IRKS III max (indikator retencionog kapaciteta sliva sa primenjenim merama za prethodne uslove vlažnosti iznad proseka), na 9 od 17 slivova prevazilazi vrednosti IRKS II, sa najvećom vrednošću za sliv B, dok za sva tri scenarija mere imaju najmanji uticaj na sliv K. U tabeli 4.10 prikazane su zbirno NWRM za sve tri razmatrane alternative, sa površinama na kojima su primenjene mere pošumljavanja i poljoprivredne mere i zapreminama retenzija koje su razmatrane.

Tabela 4.10 Zbirni prikaz razmatranih alternativa NWRM (površina/zapremina)

| SCENARIO | MERE | | |
|----------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | FM (km ²) | AM (km ²) | NM1 m ³ |
| SC1 | 12.164 | 5.301 | 1,345, 000 |
| SC2 | 8.286 | 2.663 | 2,467,000 |
| SC3 | - | - | 1,855,000 |

Za dekompoziciju područja istraživanja na 6 slivova, najveći efekat primene mera je za alternativu 2. i to je slučaj za svih 6 slivova, a takođe i na celom području istraživanja na kome je indikator retencionog kapaciteta sliva 0.98, kao što je prikazano u tabeli 4.11.

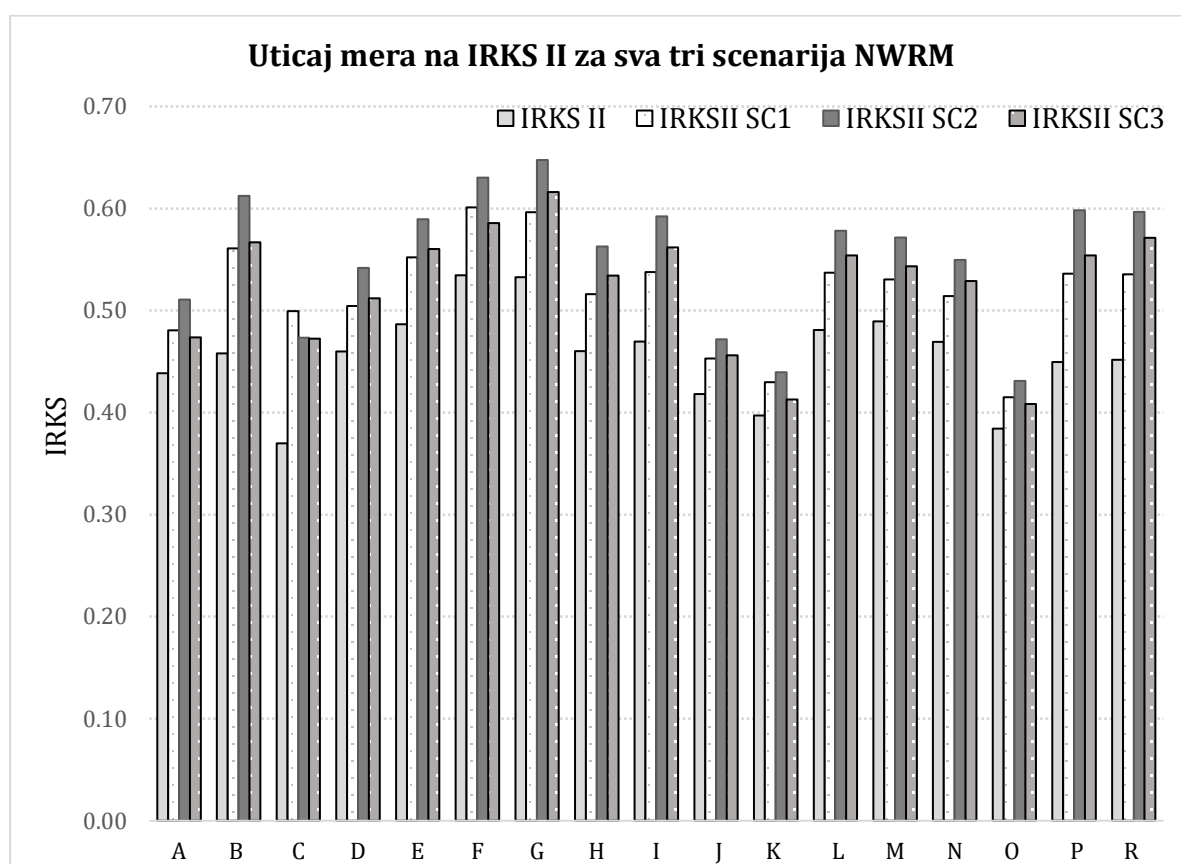
Tabela 4.11 IRKS i IRKS_{max} za sve tri alternative NWRM i normalne uslove vlažnosti

| SLIVОВИ | IRKS II | IRKSII SC1 | IRKSII SC2 | IRKSII SC3 |
|----------|---------|---------------|---------------|---------------|
| I | 0.51 | 0.55 | 0.58 | 0.54 |
| II | 0.54 | 0.61 | 0.65 | 0.61 |
| III | 0.47 | 0.52 | 0.55 | 0.52 |
| IV | 0.55 | 0.63 | 0.71 | 0.66 |
| V | 0.47 | 0.54 | 0.59 | 0.56 |
| VI | 0.53 | 0.61 | 0.63 | 0.59 |
| CEO SLIV | 0.90 | 0.93 | 0.98 | 0.96 |

Kako se može videti iz ove zbirne tabele, za uticaj mera za sva tri scenarija i normalne prethodne uslove vlažnosti, NWRM koje su razmatrane u okviru alternative 1 i 3 imaju identičan efekat za

sliv II i III, dok je na slivu I i VI veći efekat NWRM za alternativu 1, do je alternativa mera koja uključuje samo pošumljavanje efikasnija za sliv V i ceo sliv.

Za veći broj slivova (17) na osnovu procene uticaja predloženih mera, za scenario 1, najpovoljniji uticaj je na slivu C, a za scenario 3 za sliv R. Alternativa NWRM koja se pokazala najefikasnija u povećanju retencionog kapaciteta sliva je broj dva. Prikaz vrednosti indikatora retencionog kapaciteta bez mera i sa merama za sve tri alternative i detaljniju dekompoziciju područja istraživanja prikazan je na slici 4.36. Na osnovu prikazanog jasno je da ne postoji uniformni uticaj mera na slivove i da primena mera nije moguća na svim slivovima zbog prirodnih karakteristika, na primer terasiranje po izohipsama.



Slika 4.36 Odnos IRKS i $IRKS_{max}$ za sva tri scenarija mera i normalne uslove vlažnosti

Svi prikazani rezultati opravdavaju razmatranje različitih scenarija i njihovo mapiranje za okvirnu procenu uticaja predloženih mera na IRKS.

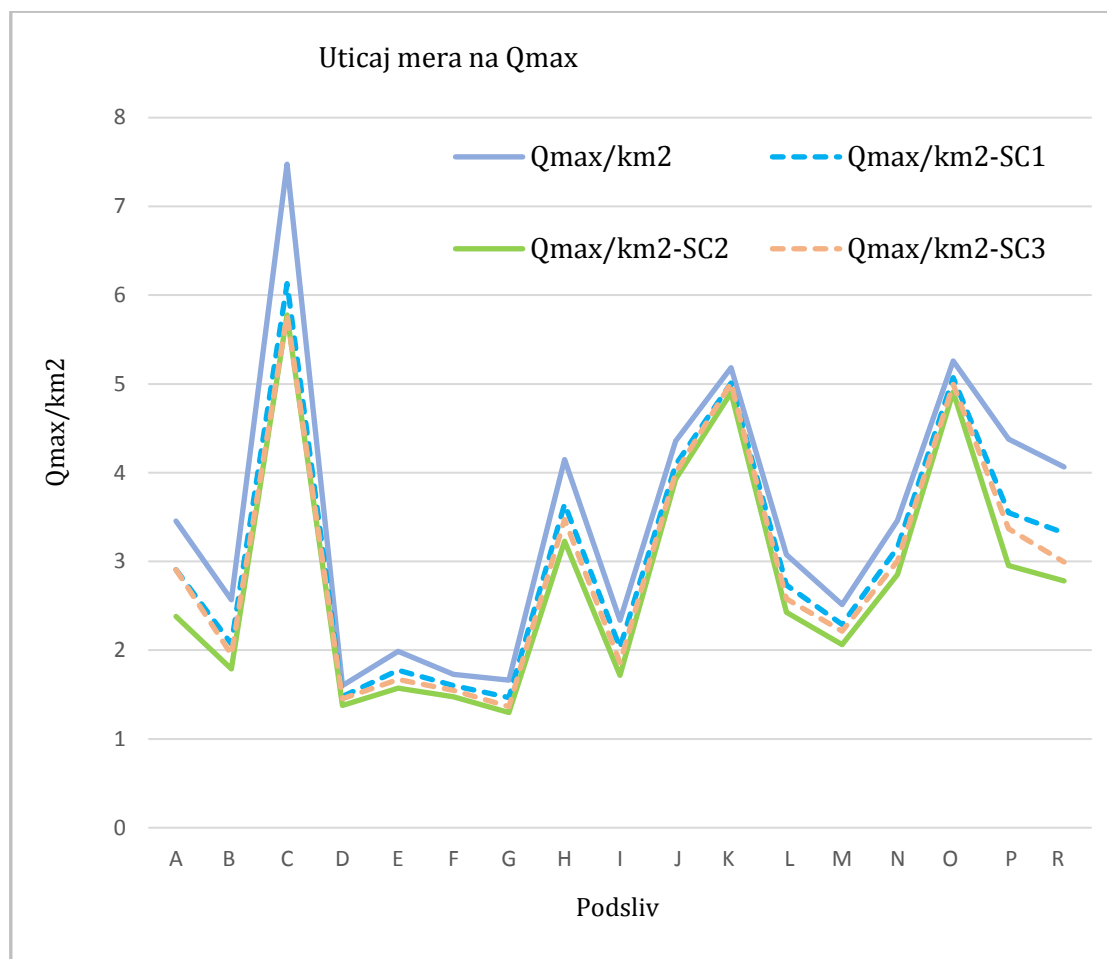
4.5.3 Uticaj primene mera na režim oticaja za odabrane podslivove

Jedan od velikih problema za upravljanje vodama na slivu koji je izabran za studiju slučaja (sliv akumulacije Vrutci) predstavlja formiranje naglih i brzih oticaja sa sliva usled nepovoljnih prirodnih karakteristika. U prethodnom poglavlju je detaljno opisan uticaj predloženih mera na indikator retencionog kapaciteta sliva u zavisnosti od odabranog scenarija.

Vrednosti za $IRKS_{max}$ su najveće za Scenario 2, koji je zasnovan na povećanju šumskih površina za 50%, primenu poljoprivrednih mera tradicionalnog terasiranja i podizanje zaštitnih pojaseva. Pored toga ovaj scenario obuhvata izgradnju retenzija različitih maksimalnih zapremina (od 3000 m³ do 20 000 m³) na svim potencijalno mogućim lokacijama koje su identifikovane na osnovu izučavanja prirodnih karakteristika. U skladu sa tim, kao što je izloženo u prethodnom poglavlju, NWRM za povećanje zapremine padavina su mapirane za svaki podsliv i u skladu sa tim, analiziran je uticaj mera za sva tri scenarija na normalizovane vrednosti Q_{max} , koji su rezultat kišne epizode povratnog perioda 5 godina i trajanja kiše 1 sat, za normalne prethodne ulove vlažnosti i sve podslivove.

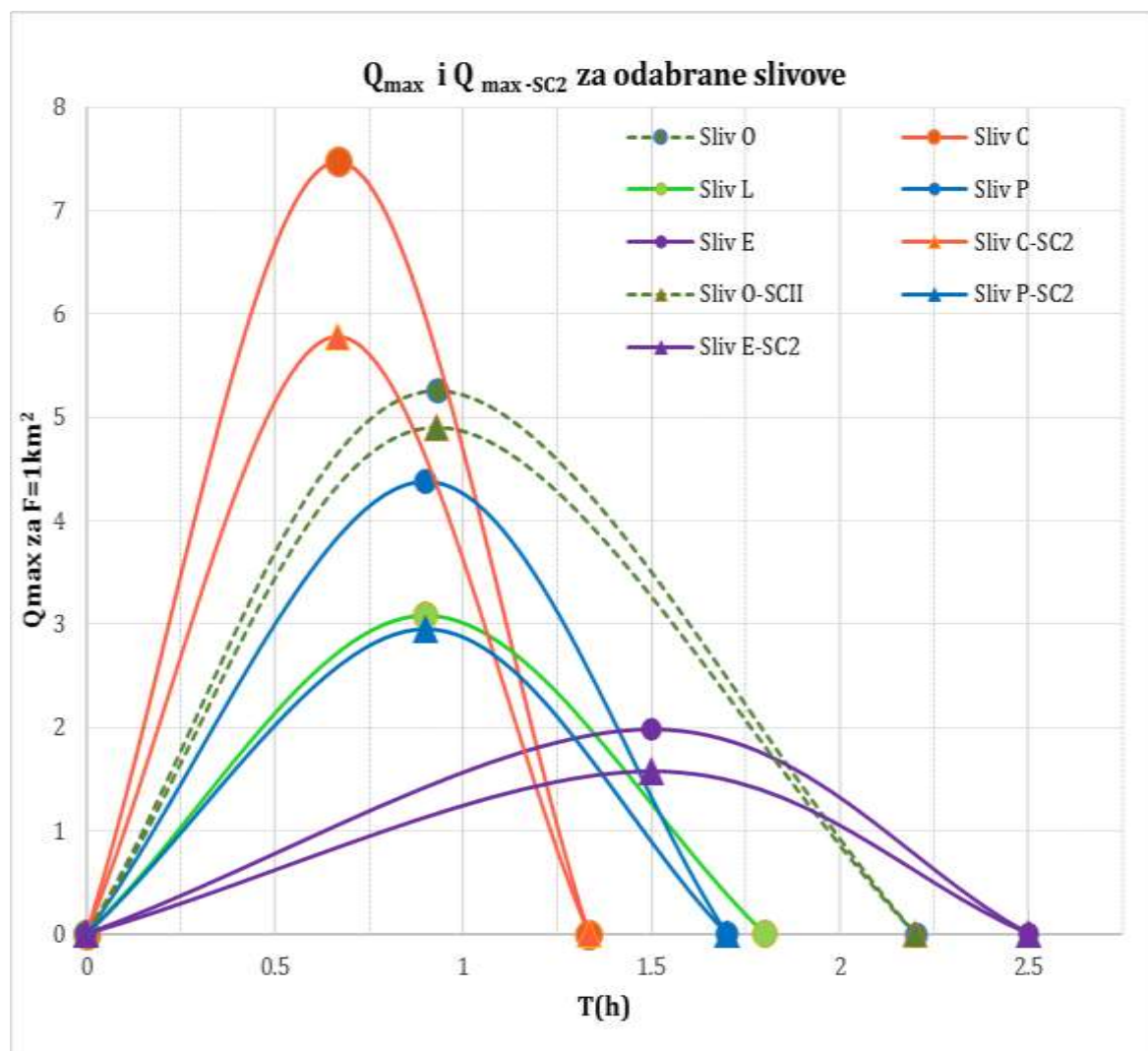
Za alternativu 1 raspon smanjenja zapremine normalizovanog vršnog proticaja se kreće od 3% do 19 %, najmanje smanjenje je za podsliv K, dok je najveći uticaj na režim oticaja sa sliva identifikovan na podslivovima B i P, u skladu sa primenjenim merama. Grafički prikaz uticaja mera za povećanje retencionog kapaciteta sliva na normalizovane hidrograme oticaja, za normalne uslove prethodne vlažnosti tla i sva tri scenarija dat je na slici 4.37.

Za najpovoljnije uslove zadržavanja padavina na slivu, uticaj scenarija 2 na $IRKS$, smanjenje oticaja sa sliva za kišnu epizodu povratnog perioda i trajanja od jednog sata se kreće od 5 % za sliv K do 33 % za podsliv P. Analizom uticaja grupe mera scenarija 3, koje obuhvataju samo mere za povećanje zapremine zadržanih padavina na slivu, izgradnju retenzija, najveći pozitivan uticaj na režim voda uočen je za sliv R gde je smanjenje oticaja sa sliva 26% , dok se najmanje smanjenje (3%) može očekivati na podslivu K, kao i za ostala dva scenarija.



Slika 4.37 Grafički prikaz uticaja primene mera na normalizovane sintetičke jedinične hidrograme za 17 podslivova, normalne prethodne uslove vlažnosti i kišne epizode povratnog perioda 5 godina za trajanje kiše 1 sat

Najveći pozitivan uticaj na uravnanje režima proticaja na izlaznim profilima, ima grupa mera obuhvaćenih scenarijom dva. U skladu sa tim za odabrane podslivove na slici 4.38 prikazan je uticaj ovih mera na sintetičke jedinične hidrograme za normalne prethodne uslove vlažnosti. Na slici 4.38 su prikazani normalizovani sintetički jedinični hidrogrami za podslivove C i O koji imaju najveće normalizovane Q_{max} i hidrološki najnepovoljnije koeficijente oblika sliva (0.9), sliv E koji ima koeficijent oblika sliva 0.6, i sliv P koji ima vrednost koeficijenta A je 0.4 dok je za sliv L prikazan samo sintetički jedinični hidrogram bez mera jer je vrednost normalizovanog Q_{max} za ovaj sliv najbliža srednjoj vrednosti za normalizovane maksimalne proticaje sa 17 podslivova.

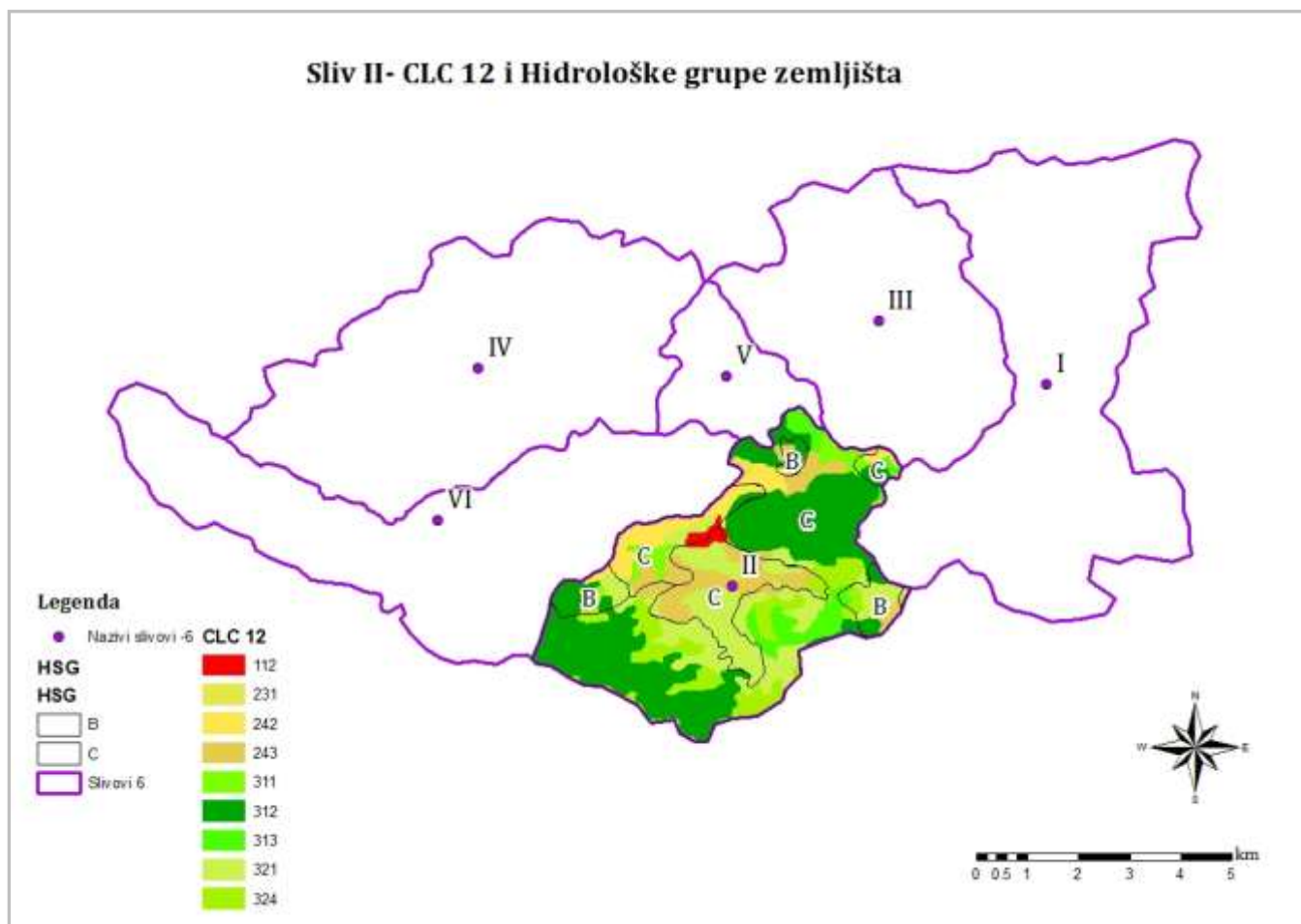


Slika 4.38 Uticaj primene mera za Scenario 2 na odabrane sintetičke jedinične hidrograme za normalne prethodne uslove vlažnosti i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina za trajanje kiše 1 sat

Na osnovu prikazanih rezultata, evidentan je pozitivan uticaj predloženih mera za povećanje retencionog kapaciteta sliva na sintetičke jedinične hidrograme. Na osnovu prikazanog na slici 4.38 očigledno je da je najveći pozitivan uticaj na režim oticaja sa sliva identifikovan za podsliv P kod koga je primene mera doprinela smanjenju normalizovanog Q_{max} tako da je sa primenom mera manje nego za sliv L koji, na osnovu prikazanog ima povoljnije hidrološke uslove da retenzira padavine.

4.6 PRIKAZ PRIMENE METODOLOGIJE NA ODABRANOM SLIVU

Podsliv II je odabran za detaljni prikaz zbog zastupljenosti skoro svih klasa CLC pa samim tim i brojeva krivih oticaja za hidrološki kompleks zemljište – pokrivač na osnovu CLC 2012 (slika 4.39). Površina sliva je 26 km², preko 30% sliva nalazi se pod četinarskom šumom (312), mali deo sliva (0.3 km²) zauzima necelovita urbana površina (112), oko 16% sliva čine poljoprivredna područja, dok listopadne i mešovite šume zauzimaju oko 7% površine sliva.



Slika 4.39 Hidrološki kompleks zemljište pokrivač za sliv II

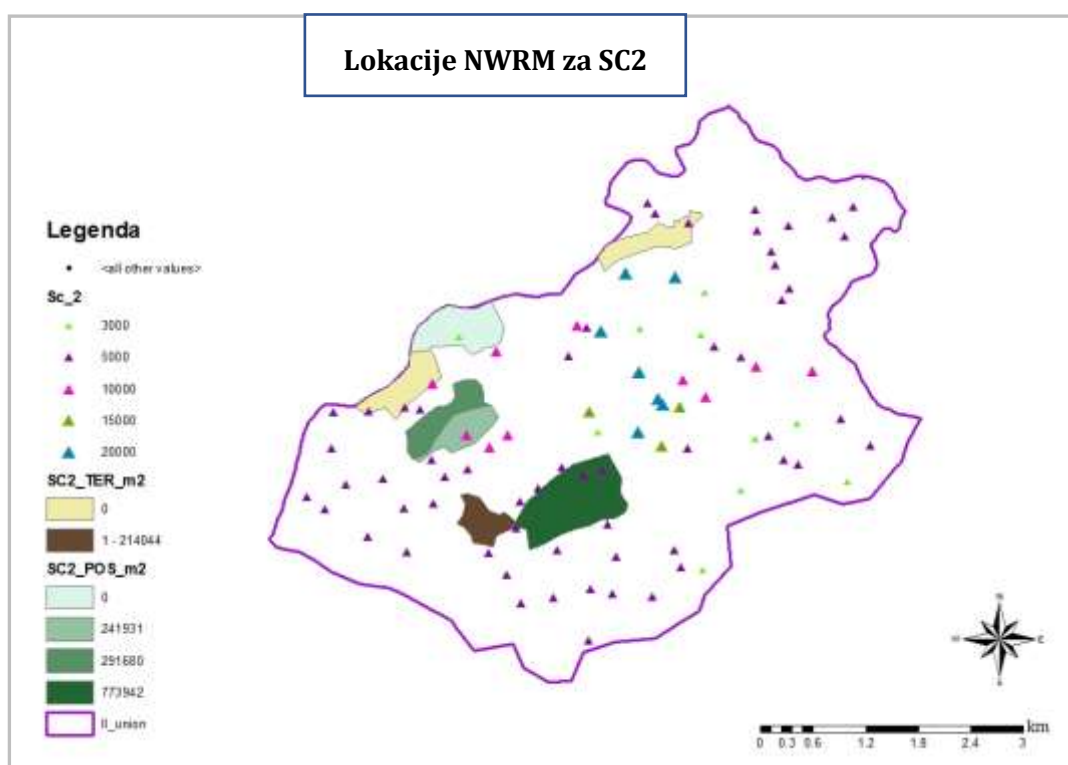
Što se tiče HSG na slivu, kao što je prikazano sa slici, veći deo sliva pripada grupi C koja ima slab retencioni potencijali dobar potencijal oticaja, kao što je opisano u tabeli 3.1. dok je na 8 % sliva prisutna hidrološka grupa zemljišta B, koju čine skeletno zemljište na serpentin, parapodzol (pseudoglej) i skelet – kamenjar. Na osnovu postupka opisanog u poglavlju 3.3.2 dobijen je kompozitni – ponderisani broj krive oticaja (CN) na osnovu koga su određeni brojevi krive za

prosečne uslove vlažnosti 69, za uslove vlažnosti iznad proseka ovaj broj je 49 dok je za uslove vlažnosti ispod proseka zemljišta on 84. Vrednosti maksimalnog potencijalnog retencionog kapaciteta sliva S su 115 mm za normalne uslove vlažnosti a 49 mm i 246 mm za uslove prethodne vlažnosti tla iznad i ispod proseka. Na osnovu zastupljenosti šumskog pokrivača određen je koeficijenti pošumljenosti sliva koji iznosi 0.48. Koeficijent oblika sliva iznosi 0.56, dok je a nagib sliva 6%. Koeficijent oticaja (η) za normalne uslove vlažnosti zemljišta iznosi 0.14, za potpuno zasićeno zemljište vrednost ovog koeficijenta je 0.40, dok za uslove ispod prosečne vlažnosti vrednost ovog koeficijenta 0.01.

Indikator retencionog kapaciteta sliva i primena NWRM

Indeks retencionog kapaciteta sliva kao kreće se od 0.58 za uslove vlažnosti ispod proseka (IRKSI) do 0.46 za uslove potpune zasićenosti tla (IRKSIII). Rezultati analize ukazuju da je razlika između IRKSI i IRKSIII 26%, za IRKSIII i IRKS II 15 %, razlika između IRKS II IRKS I je 8%

Na slivu su primenjene, pored NWRM za SC2 (slika 4.40) i mere predviđene alternativom 1 i 3.



Slika 4.40 Prostorni raspored potencijalnih mera na Slivu II za Scenario 2

U okviru alternative 1 predviđeno je 48 retenzija (NM1) zapremine od 3,000 do 20,000 m³, primena mera pošumljavanja, na celom slivu, na ukupnoj površini od 1.74 km² i terasiranje po izohipsama na oko 0.2 km². Alternativom dva (slika 4.40) na slivu II obuhvaćeno je 88 retenzija zapremine od 3,000 do 20,000 m³, primena mera pošumljavanja samo u gornjim delovima sliva na ukupnoj površini od oko 1.3 km² i terasiranje po izohipsama na oko 0.2 km², dok alternativa 3 obuhvata samo izgradnju 56 retenzije zapremine od 3,000 do 20,000 m³.

Na osnovu rezultata procene uticaja potencijalnih NWRM na indikator retencionog kapaciteta na slivu II, najveći efekat za poboljšanje retencionog kapaciteta sliva postiže se primenom alternative 2 a vrednosti IRKS max su 0.57, 0.65 i 0.69 za prethodne uslove vlažnosti iznad proseka, normalne i ispod prosečne uslove prethodne vlažnosti zemljišta, što ukazuje na povećanje retencionog kapaciteta od oko 20%.

Za alternativu 1 i 3 IRKS max (vrednost indikatora retencionog kapaciteta sliva) je ista, znači da na retencioni kapacitet, u konkretnom slučaju, isto utiču NWRM obuhvaćene alternativom 1 i 3, što je posledica ukupne zapremine retenzija, koja je veća za alternativu 3, što dovodi do zaključka da indikator retencionog kapaciteta daje dobru procenu uticaja NWRM na retencioni kapacitet i da je razvijena metodologija dobra startna osnova za vrednovanje retencionog kapaciteta neizučenih slivova i razmatranje potencijalnih NWRM za njegovo poboljšanje.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U skladu sa osnovnim ciljem doktorske disertacije razvijena je metodologija za procenu uticaja režima padavina na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama na neizučenim slivovima. Sprovedene analize i dobijeni rezultati dali su metodološki okvir za razvoj indikatora retencionog kapaciteta sliva koji je rezultanta uticaja odabranih komponenti u funkciji prirodnih karakteristika i hidrološkog kompleksa zemljište – pokrivač sliva i njihovog uticaja na oticaj.

Istraživanje je sprovedeno na slivu akumulacije Vrutci na kome su evidentni problemi izazvani naglim i brzim površinskim oticajem, što ukazuje na nedovoljan retencioni kapacitet sliva da zadrži padavine, usled kratkotrajnih jakih kiša. Da bi se analizirao uticaj režima padavina na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama, primenjen je multidisciplinarni pristup na osnovu koga su dobijeni zaključci istraživanja u skladu sa postavljanim hipotezama i celinama koje su proučavane u ovoj disertaciji.

Sagledavanje režima padavina na području istraživanja

Sprovedene analize režima padavina omogućile su testiranje hipoteze da postoje trendovi u osmotrenim vremenskim serijama suma dnevnih padavina za odabranu meteorološku stanicu. Na osnovu rezultata dobijeni su sledeći zaključci:

- Uporedna analiza vremenskih serija za dva perioda kratkotrajnih jakih kiša (ITP krive) dovela je do zaključka da je za petogodišnji povratni period i vremensku seriju 1984 – 2015. veći nego intenzitet kiše desetogodišnjeg povratnog perioda za vremensku seriju 1951- 1983;
- Identifikovani su rastući trendovi za sve izučavane nizove i uočeno je povećanje godišnje sume padavina i broja dana sa dnevnom sumom padavina većom od 5,10, 20 i 50 mm u vremenskoj seriji 1984 - 1983;
- Primena Mann – Kendall testa za odabrane klase suma dnevnih kiša (veće od 5, 10, 20 mm), ukazuje na postojanje statistički značajnih rastućih trendova za usvojeni prag značajnosti 0.05;
- Dobijeni rezultati ukazuju na potrebu izučavanja retencionog kapaciteta sliva i sagledavanja mogućnosti za njegovo povećanje primenom mera koje doprinose njegovom

povećanju, radi smanjenja naglih oticaja sa sliva usled kojih se javljaju bujice i erozioni procesi na slivu.

Određivanje i analiza komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva

Radi određivanja komponenti indikatora retencionog sliva na slivu akumulacije Vrutci u zavisnosti od prirodnih karakteristika i hidrološkog kompleksa zemljište - pokrivač, izvršena je dekompozicija područja istraživanja na veći (17) i manji broj slivova (6), hidroloških jedinica za modeliranje. U skladu sa stavovima u literaturi o kriterijumima za razvoj indikatora, mogućnošću njihovog kvantifikovanja i uticaja, koji je nedvosmislen i direktan, na retencioni kapacitet i oticaj sa sliva, na osnovu analiza i specifičnosti područja istraživanja formulisani su sledeći zaključci:

- Zbog egzaktne veze retencionog kapaciteta i režima oticaja, neizučenog bujičnog sliva sa izraženim erozionim procesima, razmatrane su komponente indikatora retencionog kapaciteta koje su integralni deo procesa oticaja sa sliva, a njihov uticaj na brzinu i količinu oticaja sa sliva je moguće nedvosmisleno kvantifikovati. Ovo je omogućilo razvoj metodološkog okvira za vrednovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva na osnovu koga je izvodljivo proceniti mogućnosti primene i uticaja različitih mera koje doprinose povećanju retencionog kapaciteta sliva i doprinose ujednačenijem režimu oticaja sa sliva;
- Komponente koje direktno utiču na retenziranje vode i direktni oticaj, usled kratkotrajnih jakih kiša, na slivu su koeficijent oticaja (η), maksimalni retencioni kapacitet sliva (S), koeficijent pošumljenosti sliva (K_s), pad sliva (I_{sl}) i koeficijent oblika sliva (A);
- Normalizacija maksimalnih proticaja ($Q_{max} / 1 \text{ km}^2$) na izlaznom profilu omogućila je grafički prikaz procene uticaja komponenti na sintetičke jedinične hidrograme za odabrane podslivove. Analize su dovele do zaključka da odabrane komponente dobro opisuju režim retenziranja vode i oticaja sa sliva, koji je hidrološki najnepovoljniji (najkraće vreme podizanja hidrograma i najveća količina otekle vode sa 1 km^2) na slivu koji ima koeficijent oblika sliva blizak jedinici (0.9), koeficijent pošumljenosti manji od 0.2;

- Na području istraživanja ne postoje hidrološka merenja a osmotreni neregulisani dnevni proticaji su dostupni za period od 4 godine na izlaznom profilu. Poređenjem zapremine otekle vode određene modelom krivih oticaja i zapremine osmotrenih proticaja na izlaznom profilu za 20 nezavisnih kišnih epizoda, sa dnevnom sumom padavina većom od 20 mm, dobijen je visok stepen korelacije (veći od 0.9), što je dovelo do zaključka da su vrednosti krivih oticaja određene sa zadovoljavajućim stepenom pouzdanosti u skladu sa ciljevima istraživanja;
- Analize disperzije podataka su pokazale da je za sve komponente indikatora retencionog kapaciteta sliva veći novo detaljnosti dobijen podelom područja istraživanja na više podslivova, što je u skladu sa opšte prihvaćenim aksiomom;

Određivanje značaja komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva i formulisanje scenarija mera koje poboljšavaju retencioni kapacitet sliva

- Primenom višekriterijumske analize određeni su težinski koeficijenti za normalizovane vrednosti komponenti retencionog kapaciteta sliva. Analizom osetljivosti težinskih koeficijenata dobijen je koeficijent konzistentnosti 0.1 što je dovelo do zaključka da su vrednosti težinskih koeficijenata tačni;
- Na osnovu pregleda literaturnih referenci utvrđeno je da mere koje poboljšavaju retencioni kapacitet sliva doprinose ostvarivanju ciljeva upravljanja vodama. U skladu sa tim i karakteristikama područja istraživanja odabrane su mere (pošumljavanje, uspostavljanje zaštitnih pojaseva, terasiranje i izgradnja retenzija) za koje je zaključeno da se njihov efekat može proceniti primenom razvijene metodologije i da su kompatibilne sa budućim aktivnostima za smanjenje štetnog dejstva bujičnih poplava i erozije na slivu.

Određivanje vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva i uticaja mera na retencioni kapacitet sliva primenom razvijene metodologije

Primenom razvijene metodologije na sve podslivove testirane su hipoteze da metodologija razvijena u okviru ove disertacije omogućava okvirno vrednovanje retencionog kapaciteta sliva, procenu uticaja predloženih mera na retencioni kapacitet sliva i upravljanje vodama primenom indikatora retencionog kapaciteta sliva. Sve analize su sprovedene na osnovu kišne epizode

trajanja 1 sata i povratnog perioda 5 godina za sva tri prethodna uslova vlažnosti zemljišta. U skladu sa dobijenim rezultatima, zaključeno je sledeće:

- Vrednosti indikatora retencionog kapaciteta sliva određene su primenom originalno razvijene jednačine koja prirodne karakteristike sliva (nagib, pošumljenost, vrste tla i drugo) povezuje u jedinstven izraz;
- Na taj način, pokušalo se da se odabrane prirodne karakteristike, koje utiču na retencioni kapacitet podvedu pod matematičku zavisnost čija je validnost u značajnoj meri proverena poređenjem sa osmotrenim dnevnim oticajima na izlaznom profilu;
- Jedan od ključnih zaključaka istraživanja je da je razvijena metodologija omogućila definisanje matematičkog izraza za indikator retencionog kapaciteta (IRKS):

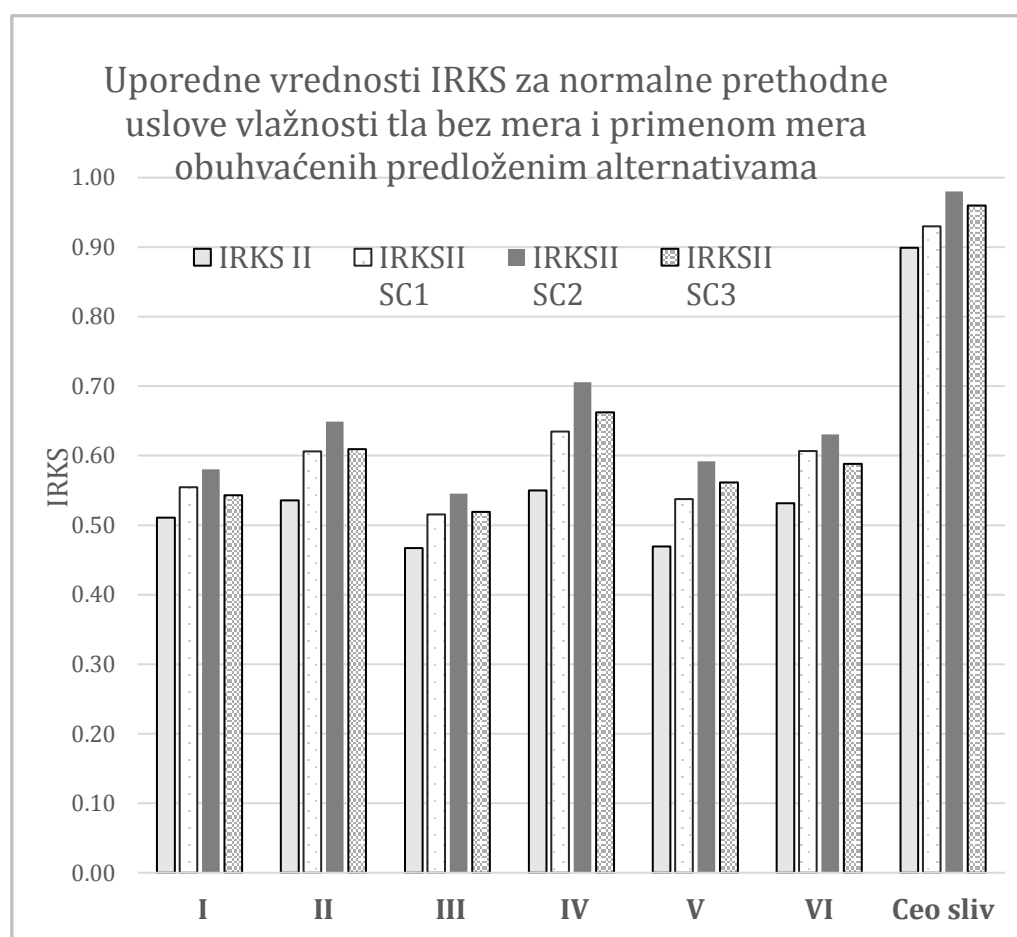
$$IRKS = 0.30 * (1 - \eta) + 0.45 * S_n + 0.07 K_s + 0.150 * (1 - I_{sl}) + 0.04(1 - A)$$

IRKS je indikator retencionog kapaciteta sliva η je koeficijent oticaja, S (maksimalni retencioni kapacitet sliva), K_s je koeficijent pošumljenosti sliva, I_{sl} (pad sliva) i A je koeficijent oblika sliva;

- Na osnovu dobijenih rezultata jasno se vidi uticaj prethodne vlažnosti tla i prirodnih karakteristika na indikator retencionog kapaciteta sliva. Kao što je i očekivano, najveći kapacitet sliva da retezira vodu za uslove prethodne vlažnosti tla ispod proseka, dok on najmanji za prethodne uslove vlažnosti tla iznad proseka;
- Za normalne prethodne uslove vlažnosti najmanji indikator retencionog kapaciteta zapažen je kod sliva sa koeficijentom oblika sliva koji ukazuje na brzu koncentraciju oticaja i slab potencijal da retezira vodu na osnovu malog procenta sliva pokrivenog šumama;
- Primena indikatora retencionog kapaciteta sliva za evaluaciju mera ukazuje da najveći efekat na povećanje retencionog kapaciteta sliva ima alternativa mera (SC2) koja obuhvata pošumljavanje od 8.3 km², ravnomerno po celom slivu (gde je to moguće), primenu poljoprivrednih mera (prirodno terasiranje i zaštitni pojasevi) i izgradnju retezija čije maksimalnih zapremine iznose 3,000 m³, 5,000 m³, 10,000 m³, 15,000 m³ i

20,000 m³. Najmanji efekat na povećanje indikatora retencionog kapaciteta sliva ima alternativa kojom je obuhvaćeno samo pošumljavanje (SC3);

Rezultati primene metodologije razvijene u okviru disertacije ukazuju da se primenom odgovarajućih mera može znatno povećati retencioni kapacitet sliva kao što je prikazano na slici 5.1.



Slika 5.1 Rezultati primene metodologije za kvantifikovanje IRKS za sve tri razmatrane alternative usvojenih mera i kišnu epizodu povratnog perioda 5 godina trajanja 1 sat

- Na osnovu procene uticaja mera na sintetičke jedinične hidrograme zapažen je pozitivan uticaj mera na hidrološki režim i smanjenje negativnih uticaja nizvodno. Analize rezultata procene ovog uticaja ukazuju da se procenat smanjenja maksimalnog proticaja na izlaznim profilima podslivova, za odabranu kišnu epizodu, kreće od 3% do 33% u zavisnosti od mera koje su primenjene na konkretan sliv;

- Prednost metodologije je mogućnost njene primene na nedovoljno izučenim slivovima jer, na pojednostavljen način, sa dovoljnom tačnošću, prikazuje neke od najznačajnijih procesa koji utiču na kapacitet sliva da retezira padavine usled kratkotrajnih jakih kiša za različite prethodne uslove vlažnosti tla. Njen značaj se ogleda u mogućnosti efikasnog sagledavanja uticaja mera za povećanje prirodnog retencionog kapaciteta sliva i donošenju preciznijih odluka o njihovoj lokaciji na slivu i primeni.

U Republici Srbiji a i šire, ne postoji matematički oblik za indikator retencionog kapaciteta neizučenih slivova, na način kako je prikazano u doktorskoj disertaciji. Primena razvijene metodologije omogućila je formulisanje matematičkog oblika za kvantifikovanje indikatora retencionog kapaciteta sliva (hidrološka usluga ekosistema), ocenu uticaja mera koje doprinose povećanju prirodnog retencionog kapaciteta sliva i pojašnjenje njegove veze sa upravljanjem vodama na neizučenim slivovima.

Na ovaj način, dobijen je koristan alat za dobijanje informacija od značaja za donošenje odluka u sektoru voda i ostalim sektorima (zaštita životne sredine, prostorno planiranje, šumarstvo, poljoprivreda) imajući u vidu ulogu retencionog kapaciteta u adaptivnom i integralnom upravljanju vodama, zbog smanjenja negativnih posledica pritisaka na vodne resurse. Praktičnost razvijene metodologije se ogleda u sprezi primene prihvaćenih statističkih i hidroloških metoda za analizu podataka, alata ArcGIS, metode višekriterijumske analize i analize osetljivosti. Takođe, zbog fleksibilnost izbora komponenti indikatora retencionog kapaciteta sliva i mera za njegovo povećanje omogućava primenu metodologije na slivove različitih veličina i prirodnih karakteristika.

Iako je metodologija prvenstveno razvijena sa ciljem da se okvirno kvantifikuje indikator retencionog kapaciteta na neizučenim slivovima, može se primeniti i na izučenim slivovima jer omogućava efikasno sagledavanja efekata mera za povećanje prirodnog retencionog kapaciteta sliva i donošenju preciznijih odluka o njihovoj lokaciji na slivu i primeni. U daljem toku istraživanja potrebno je vršiti proveru predložene metodologije za različite kišne epizode i slivove, a takođe i za slivove sa većom pokrivenošću monitoringom.

6. LITERATURA

1. A Blueprint to Safeguard European Water Resources (2012)
http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm
2. Allamano, P., Claps, P., Laio, F. (2009) Global warming increases flood risk in mountainous areas. *Geophysical Research Letters*. 36. 10.1029/2009GL041395
3. Alkemade, R., Burkhard, B., Crossman, N.; Nedkov, S. & K. Petz (Eds.)(2014): Quantifying ecosystem services and indicators for science, policy and practice. Special Issue. *Ecological Indicators* 37, 161-266.
4. Bajčetić, R. (2010), Višekriterijumska analiza varijanti rekonstrukcije vodozahvatnog sistema, Magistarska teza, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Autorski reprint.
5. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds.(2008): *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
6. Becker W., Saisana M., Paruolo P., Vandecasteele I (2017) Weights and importance in composite indicators: Closing the gap .*Ecological Indicators* (80): 12–22.
7. Benjamin R. Jack, Cornell C. Allin (1970) *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*. McGraw – Hill Inc., New York.
8. Bisselink B., Bernhard J., Gelati E., Jacobs C., Adamović M., Mentaschi L., Lavallo C., Roo, A. (2018) Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin, EUR 29228 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79- 85888-8 (print); 978-92-79-85889-5 (pdf), doi:10.2760/89828 (online),10.2760/561327 (print), JRC111817.m k
9. Booth, H., Simpson, L., Ling, M., Mohammed, O., Brown, C., Garcia, K. & Walpole, M. (2012). Lessons learned from carrying out ecosystem assessments: Experiences from members of the Sub-Global Assessment Network. UNEP-WCMC, Cambridge.
10. Brauman, A.K., Daily C.G.,T. Duarte, K.T.,and Mooney A.H.(2007) The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services, *The Annual Review of Environment and Resources*, 32:67–98, doi:10.1146/annurev.energy.32.031306.102758
11. Bruce Jim and Dickinson Trevor (2005) Adapting to impact on soil and water from higher intensity rains with climate change. SWCS Ontario- W. and D. Gordon Foundation Project. Draft – II.
12. Brunetti Michele, Muffoni Letizia, Maugeri Maurizio, Nanni Teresa (2000) Precipitation intensity trends in northern Italy. *Int. J. Climatology*.
13. Burek P., Mubareka S., Rojas R., Roo A., Bianchi A., Baranzelli C., Lavallo C., Vandecasteele I.(2012)Evaluation of the effectiveness of Natural Water Retention Measures, European Commission Joint Research Centre, ISBN 978-92-79-27021-5.

14. Burkhard, B.; Kroll, F.; Müller, F. & W. Windhorst (2009.) Landscapes' capacities to provide ecosystem services – a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online* 15: 1–22.
15. Burkhard, B, Kandziora, M, Hou, Y, Muller, F, (2014) Ecosystem Services Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification, *Landscape Online* 34:1-32.
16. Burn, H.D., Hag Elnur A. Mohamed (2002) Detection in hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology* 255: 107-122.
17. Chaves M. L. H., Alipaz S.(2007) An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management* 21: 883–895, DOI 10.1007/s11269-006-9107-2.
18. Chin A. David (2000) *Water – Resources Engineering*. Prentice – Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
19. Chow Ven Te (1964) *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw – Hill Book Company, New York, New York.
20. Chow, Ven Te (1953) *Frequency Analyses of Hydrologic Data wit Special Application to Rainfall Intensities*. University of Illinois Experiment Station, Bulletin Series No.414.
21. Chow Ven Te, Maidment R. David, Mays W. Larry (1988) *Applied Hydrology (International Edition)*. McGraw – Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering , Book Company, New York, United State of America.
22. Colls A., Ash N., and Ikkala N. (2009) *Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change*. Gland, Switzerland: IUCN. 16pp. ISBN: 978-2-8317-1215-4
23. CORINE land Cover. EU. URL:<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
24. Cortés, A.E., Oyarzún, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amézaga, J., Oyarzún, J., Rötting, T., Señoret, M. and Maturana, H. (2012). Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. *Obras y Proyectos* 12: 57-69.
25. COWI A/S (2014) *Support Policy Development for Integration of Ecosystem Service Assessments into WFD and FD Implementation*. Specific contract 070307/2012/637505/D1(European Commission)
26. Crossman, N.D.; Burkhard, B.; Nedkov, S.; Willemen, L.; Petz, K.; Palomo, I.; Drakou, E.G.; Martín-Lopez, B.; McPhearson, T.; Boyanova, K.; Alkemade, R.; Egoh, B.; Dunbar, M. & J. Maes (2013.) A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services* 4: 4-14.
27. De Groot S. R., Matthew A. Wilson A.M., Boumans M.J.R. (2002) A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *SPECIAL*

ISSUE: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives, *Ecological Economics* 41:393–408.

28. Dimkić, D. (2016) New method for estimation mean hydrological changes and question of reliability in forecasting future hydrological regimes. *Procedia Engineering*, ISSN 1877-7058, Publisher: Elsevier, 169: 284-292.
29. Dimkić, M., Brauch, H.J., Kavanaugh, M. (Eds.) (2008) *Groundwater Management in Large River Basins*, Published by IWA Publishing, London, UK, ISBN 1843391902, 706 pp. Reprint na srpskom jeziku: *Upravljanje podzemnim vodama u velikim rečnim slivovima* (2012). Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, Srbija.
30. Dimkić, M., Milovanović, M., Dimkić, D. (2011) Sustainable and Adaptive Water Management: Case Study of Water Management in Serbia, *Journal of Serbian Water Pollution Control Society. Water Research and Management* 1(4): 9-19 ISSN 2217-5237.
31. Dimkić M. and Pavlović R. (2012) Presentation of IWA Groundwater Specialist Conference 8-10 September 2011, Belgrade, Serbia. *Water Research and Management* 2(1): 3-29.
32. Dimkić M., Milovanović, M., Milojković, S., Varga, S., Petković S. and Dimkić, D. (2013) Main Courses of Action in the Serbian Water Sector: An Example From a Transition Country. *Journal of Serbian Water Pollution Control Society "Water Research and Management"* 3(4): 3-19. ISSN 2217-5237.
33. Divac Bartoš, V., Babić Mladenović M. (2008) Ekstremne hidrološke situacije na reci Dunav. *Vodoprivreda* 0350-0519, 40 (231-233): 103-113.
34. Drobnjak A. (2016) Proučavanje bujičnih slivova i bujičnih tokova, Seminarski rad, Šumarski Fakultet, Beograd, Srbija.
35. Đorović M., (1984) Određivanje hidrološke grupe zemljišta pri definisanju oticanja u metodi "SCS". *Vodoprivreda* 87(1):57-60.
36. Đukić A., Ljubisavljević D. (2011) Prospects and Limitations of Surface Runoff Quality, Management in the Republic of Serbia, *Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management“*, ISSN 2217-5237, Vol. 1, No. 4, p. 21-26.
37. EEA (2015) *Water-retention potential of Europe's forests A European overview to support natural water-retention measures*. Technical report No 13/2015, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-9213-694-9, ISSN 1725-2237, doi:10.2800/790618, url: <https://www.eea.europa.eu/publications/water-retention-potential-of-forests>
38. Egoh, B.; Drakou, E.G.; Dunbar, M.B.; Maes, J. & L. Willemsen (2012) Indicators for mapping ecosystem services: a review. Report EUR25456EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

39. EU (2014) Links between the Floods Directive (FD 2007/60/EC) and Water Framework Directive (WFD 2000/60/EC). Technical Report - 2014 - 078, European Union, ISBN 978-92-79-33679-9, doi: 10.2779/71412.
40. Evers M., Nyberg L. (2013) Coherence and inconsistency of European instruments for integrated river basin management. *International Journal of River Basin Management* 11:2, 139-152, DOI: 10.1080/15715124.2013.811416
41. Falkenmark, M. (1986) Fresh water: Time for a modified approach. *Ambio* 15:192-200.
42. Farinosi, F., Giupponi, C., Arnaud, R., Ceccherini, G., Carmona-Moreno, C., Roo, A., Gonzalez Sanchez, D., Bidoglio, G. (2018) An innovative approach to the assessment of hydro-political risk: A spatially explicit, data driven indicator of hydro-political issues. *Global Environmental Change*. 52. 286-313. 10.1016/j.gloenvcha.2018.07.001.
43. FAO (2015) Pressure state : environmental indicators.
URL: <http://fao.org/ag/againfo/programmes/en/lead/toolbox/Refer/EnvIndi.htm>
44. Gavrilović Slobodan (1972) Inženjering o bujičnim tokovima. Časopis izgradnja, specijalno izdanje, Beograd.
45. Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, J.G., Arnold, J.G. (2007) The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions *T. Am. Soc. Agr. Biol. Eng.* 50 :1211-1250.
46. Green Infrastructure (GI) Enhancing Europe's Natural Capital (2013) Communication From The Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions
http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm
47. Grizzetti B., Lanzasova D., Liqueste C., Reynaud A., Cardoso A. C. (2016) Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy* 61 : 194-203
48. Groisman, P.Y., Karl R. Tomas., Easterling R. David, Knight W. Richard, Jamason F Paul. (1999) Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of Climatic Change, Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands. *Climatic Change* 42: 243 - 283.
49. Gumbel E. J. (1954) Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series.
50. Global Water Partnership Central and Eastern Europe (2015) Natural small water retention measures combining drought mitigation, flood protection and biodiversity conservation. Guidelines, Global Water Partnership Central and Eastern Europe (GWP CEE). ISBN: 978-80-972060-3-1.

51. GWP and INBO (2009) A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins. Published 2009 by the Global Water Partnership (GWP) and the International Network of Basin Organizations (INBO)
52. Hays D.J, Imbrie J., Shackleton J.N.(1976) Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages . Science, New Series 194(4270):1121-1132. Published by: American Association for the Advancement of Science.
53. Hinman C. (2005) Low Impact Development (LID) Technical Guidance Manual for Puget Sound. Washington State University, Puget Sound Action Team.
URL: https://www.psp.wa.gov/downloads/LID/LID_manual2005.pdf
54. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs (2001) The Scientist Basis, ed. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, Inter Governmental Panel on Climate Change (IPCC) Cambridge University Press, 881 pp.
55. Hümann M., Gebhard Schüler G., Christoph Müller C., Raimund Schneider R., Margret Johst M., Thomas Caspari T. (2011) Identification of runoff processes – The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. Journal of Hydrology 409 : 637–649.
56. ICPDR Strategy on Adaptation to Climate Change (2012) and update (2018). International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna, Austria. URL: <https://www.icpdr.org/main/activities-projects/climate-change-adaptation>
<http://www.icpdr.org/main/climate-change-adaptation-measures-toolbox?field=Forestry&type=All>
57. Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi“ (1990) Projekat korišćenja brane i akumulacije vodoprivrednog sistema “Vrutci“ .Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ a.d., Zavod za hidrauliku, Beograd.
58. Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi (2014) Elaborat o zonama sanitarne zaštite akumulacije „VRUTCI“, Zavod za vodosnabdevanje, kanalizaciju i zaštitu voda. Vodovod Užice.
59. Istitut za vodoprivredu “Jaroslav Černi (2015) ”Prikupljanje podataka i izrada analiza i dokumentacije za sanaciju akumulacije “Vrutci“ – faza I i II, 2014-2015, Zavod za vodosnabdevanje,kanalizaciju i zaštitu voda. Vodovod Užice.
60. 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., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
61. IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance ClimateChange Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

62. Janković D., (1994) Karakteristike jakih kiša na teritoriji Republike Srbije. Građevinski kalendar 0352-273, 26-27: 248-268.
63. Jevđević Vujica (1946) Vodoprivredna osnova – privredno tehnička studija. Štamparija Predsedništva Narodne Skupštine AP Vojvodine, Novi Sad.
64. Jevđević Vujica (1956) Hidrologija I Deo. Hidrotehnički institut “Ing. Jaroslav Černi”, posebna izdanja, knjiga 4.
65. Jewitt G (2002) Can Integrated Water Resources Management sustain the provision of ecosystem goods and services? *Physics and Chemistry of the Earth* (27) 887–895.
66. Jovanović Slavoljub (1990) Hidrologija, Građevinski Fakultet Beograd, Beograd, Srbija.
67. Jovanović Slavoljub I Radić Zoran (1987) Zadaci iz hidrologije. Građevinski Fakultet Beograd, Naučna Knjiga, Beograd.
68. Karabulut, A., Egoh, N.B., Lanzanova, D., Grizzetti, B., Bidoglio, G., Pagliero, L., Bouraoui, F., Aloe, A., Reynaud, A., Maes, J., Vandecasteele, I., Mubareka, S. (2016) Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. *Ecosystem Services* 17: 278–292.
69. Kendall M.G. (1962) Rank – Correlation Methods. Charles Griffin & Co Ltd., London, Great Britain.
70. Klein Tank A. M. G and Können, G. P. (2010) Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate* 16 : 3665–3680.
71. Klein Tank, M. C.A., W. Zwiers, W.F., Zhang X. (2009) WMO guidelines of extremes in changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO/TD- No. 1500; WCDMP- No. 72.
available online: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1500_en.pdf
72. Koutroulis, G.A., Tsanis, K.I., Ioannis, N. Daliakopoulos, N.I., Jacob D. (2013) Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete Island, Greece. *Journal of Hydrology* 479 : 146–158.
73. Koutsoyiannis, D., Baloutsos, G (2000). Analysis of a Long Record of Annual Maximum Rainfall in Athens, Greece, and Design Rainfall Inferences. *Natural Hazards* 29: 29–48.
74. Kržić A, Tošić I, Đurdjević V, Veljović K, Rajković B. (2011) Changes in some indices over Serbia according to the SRES A1B and A2 scenarios. *Climate Research*. 49(1) : 73-86.
75. Kostadinov S. (2008): Bujični tokovi i erozija, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, (1-505)
76. Kubicz, J., Hämmerling, M. and Walczak, N. (2015) The Use of AHP Method for The Determination of The Most Environmentally Beneficial of Barrages. *Journal of Ecological Engineering* 16 (4): 36-43. DOI: 10.12911/22998993/59345.

77. Lane, L. J., Woolhiser, D. A., Yevjevich, V.(1975) Influence of Simplifications in Watershed Geometry in Simulation of Surface Runoff. Hydrology papers, Colorado state University, Fort Collins, Colorado.
78. Madsen, H, Pearson, CP & Rosbjerg, D.(1997) Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events: 2. Regional modeling. *Water Resources Research* 33(4): 759-769. <https://doi.org/10.1029/96WR03849>,
79. Maes J., Paracchini L.M., Zulian G.(2011) A European assessment of the provision of ecosystem services. European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-19663-8
80. Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M.L., Barredo, J.I., Grizzetti, B., Cardoso, A., et al. (2016) An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services* 17: 14–23.
81. Mair, R., Vasiljević, B.(2013) Climate Change Adaptation and Transboundary River Basin Management – Case Study: Strategy on Adaptation to Climate Change for the Danube River Basin, International Conference Climate Change Impacts on Water Resources, 17-18 October 2013, Belgrade, Serbia, Publisher: Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, ISBN 978-86-82565-41-3, pp. 110-116.
82. Mann H.B. (1945) Non – parametric tests against trend. *Econometrica* 13:245 -259.
83. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (2013) , EU, URL: http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/index_en.htm
84. Marjanović, P.(Ed.) (2014) CC-WARE Mitigating Vulnerability of Water Resources under Climate Change Report on WP4 - Output 3: Indicator based assessment of Ecosystem Services in SEE and Output 4: Estimation of Ecosystem Changes Due to Climate Change, URL: <http://www.ccware.eu/output-documentation/output-wp4.html>
85. Matić, B., Dimkić, D., Milovanović, M., Stojanović, B. (2015) Predložene mere adaptacije za sektor voda, Osmi naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine“, Palić, Subotica, Izdavač: Asocijacija prostornih planera Srbije; Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, ISBN 978-86-6283-023-4, str. 349-355.
86. Matić, B., Marjanović, P., Marjanović, M., Dimkić, D., Pejović, D.(2016) Legal and policies implications of ecosystem services inclusion in DWSS analyses at the transnational level, International Symposium: Cross-Border Drinking Water Management, 29th January 2016, Rijeka, Croatia, Publisher: University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering, ISBN 978-953-6953-45-5, pp. 39-57.
87. Matić, B., Simić, Z. (2017) Prospects for sustainable water resources management within the River Đetinja catchment. *European Water* 60: 55-60, Publisher: E.W. Publications, ISSN 1105-7580.

88. Mayfield, C.I., Grover, V.I. and Daley, R.J.(2004) The United Nations Water Virtual Learning Centre: a flexible distance learning Programme for integrated water resources management. *Global Environmental Change – Part A*, 13(4): 331-318.
89. McBean A. Edward, Rovers A. Frank (1998) *Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New York.
90. MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing : Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
91. Miloradov M.(1992) Planning and Management of Water-Resource Systems in Developing Countries. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 118 (6):603 – 619.
92. Mioduszewski, W.(1998) Reconstruction of retention capacity of small river basins as a protection measures against floods and droughts. *Int. Agrophysics* 12: 259 – 269.
93. Mioduszewski, W.(2014) Small (natural) water retention in rural areas. *Journal of Water Land Dev.* 20 (I-III): 19–29.
94. Mioduszewski, W., Querner, P.E., Kowalewski, Z (2014)The analysis of the impact of small retention on water resources in the catchment. *Journal of . Water Land Dev.* 23 (X-XII): 41–51.
95. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, Republička direkcija za vode, Međunarodne konvencije. URL: <http://www.rdvode.gov.rs/lat/medjunarodna-saradnja-multilateralna.php>
96. Mishra S.K., Singh V.P. (2003) Analytical Derivation of the SCS-CN Method. In: *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Water Science and Technology Library, V 42. Springer, Dordrecht.
97. Mrozik K., Idczak, P (2017) The Capacity of Ecosystem Services In Small Water Retention Measures. *Environmental policy and management(EKONOMIA I ŚRODOWISKO)*3 (62): 37-48.
98. Müller, F. & B. Burkhard (2012)The indicator side of ecosystem services. *Ecosystem Services* 1, 26-30.
99. Natural Resources Conservation Services (2004) Estimation of direct runoff. Part 630 - *National Engineering Handbook*, USDA, Washington D.C, USA.
100. Natural Water Retention Measures(2014)EU policy document by the drafting team of the WFD CIS Working Group Programme of Measures (WG PoM), ISBN 978-92-79-44497-5,doi:10.2779/227173
101. Natural Water Retention Measures, URL: <http://www.nwrm.eu/>

102. Pećinar, Miladin (1969) Analize pojave erozije tla i antierozionih delovanja, principi borbe protiv erozije tla. Prvi Kongres o vodama Jugoslavije, 28-30 maj, Beograd. Zbornik radova: 189-193.
103. Petković, S., (2014) River Sediment Transport in Serbia, *Journal of Serbian Water Pollution Control Society Water Research and Management*, ISSN 2217-5237, 4(4): 25-38.
104. Roo,A.,Burek,P.,Gentile,A.,Udias,A.,Bouraoui,F.,Aloe,A.,Bianchi,A.,LaNotte, A.,Kuik,O.,Tenreiro,J.E.,Vandecasteele,I.,Mubareka,S.,Baranzelli,C.,DerPerk, M.V., Lavelle,C.,Bidoglio,G.(2012) A multi-criteria optimisation of scenarios for the protection of water resources in Europe, JRC Scientific and Policy Report, JRC75919,ISSN1831-9424,EC-JRC-IES,Italy
105. Roub, R., Hejduk, T., Novák, P.(2013) Optimization of Flood Protection by Semi-Natural Means and Retention in the Catchment Area: A Case Study of Litavka River (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports* 21 (1) : 51-66.
106. RSRHMZ – Republika Srbija Republički hidrometeorološki zavod
http://www.hidmet.gov.rs/latin/meteorologija/stanica_sr.php?moss_id=13367
107. Saaty, T.L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, Inc., Reprinted by RWS Publications, Pittsburgh.
108. Simić, Z., Matić, B.(2018) Zapadna Morava river basin zoning based on low flow regime evaluation. *Water Utility Journal*, ISSN 1792-748X, Publisher: E.W. Publications 20: 49-56.
http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2018_20_05.pdf
109. Simonović, S. (2012). *Climate change and risks of flooding*. In *Floods in a Changing Climate: Risk Management* (International Hydrology Series, pp. 17 - 30). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139088404.007
110. Sneyers, R. (1990) On the statistical analysis of series of observations. *Technical Note* 143, WMO – No. 415.
111. Stojković M., Plavšić J., Prohaska S. (2014) Dugoročne promene godišnjih i sezonskih proticaja: primer reke Save. *Vodoprivreda* 0350-0519, 46 (267-272) p. 39-48.
112. Srdjevic Z. and Srdjevic B. (2014) Modelling Multicriteria Decision Making Process for Sharing Benefits from the Reservoir at Serbia-Romania Border. *Water Resour Manage* 28:4001–4018, DOI 10.1007/s11269-014-0723-y.
113. Srđević B., Suvočarev K., Srđević_Z. (2009) Analitički hijerarhijski proces: Individualna i grupna konzistentnost donosilaca odluka. *Vodoprivreda* (237-239):13-2.
114. Srebrenović D.(1986) *Primjenjena hidrologija*, Tehnička knjiga Zagreb, ISBN 86 – 7059-011-5.
115. STELA Consulting Costs, benefits and climate proofing of natural water retention measures (NWRM)
-

116. Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije (SUVRS) do 2034. godine ("Sl. glasnik RS", br.3/2017). URL: http://www.rdvode.gov.rs/doc/Strategija_FINAL.pdf
117. Strosser, P., Delacámara, G., Hanus, A., Williams, H., Jaritt, N. (2015) A guide to support the selection, design and implementation of Natural Water Retention Measures in Europe - Capturing the multiple benefits of nature-based solutions. Final version, April 2015. ISBN 978-92-79-46060-9, doi: 10.2779/761211.
118. Šatalová B., Kenderessy, P. (2017) Assessment of water retention function as tool to improve integrated watershed management (case study of Poprad river basin, Slovakia). *Science of the Total Environment* (599–600):1082–1089.
119. United Nations, Report on the United Nations Conference on Environment and Development, Agenda 21, Rio de Janeiro, 1992
120. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk: Executive Summary. Published in 2012 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
121. United Nations (2007) Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Third Edition, United Nations publication, Printed by United Nations, New York, ISBN 978-92-1-104577-2.
122. UN (2015) Sustainable Development Goals (SDGs) <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs> (pristup 22.02.2019.)
123. UNEP (2008) Addressing Environmental Aspects and Ecosystem Issues in Integrated Water Resources Management.
124. UNESCO (2012) The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk: Executive Summary, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
125. U.S. Environmental Protection Agency (2006) Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners. EPA/240/B-06/003.
126. Urban Hydrology for Small Watersheds (1986), Technical Release 55 (TR-55), USDA, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.
127. Vasiljevic, B. (2008) Assessment of changes in precipitation intensities in Ontario. dissertation. Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada. Autorski reprint (2007). <https://canada.on.worldcat.org/oclc/614839327>
128. Vasiljevic (Matić) B., McBean E., and Gharabaghi B. (2012), Trends in rainfall intensity for stormwater designs in Ontario, *Journal of Water and Climate Change* 3: 1–10.
129. Vasiljević (Matić) B., Wang Y., McBean E. (2013) Temporal Trend Assessment for Rainfall Frequency Analysis in Ontario, Canada, International Conference Climate Change

Impacts on Water Resources, 17-18 October 2013, Belgrade, Serbia, Publisher: Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, ISBN 978-86-82565-41-3, pp. 94-100.

130. Vasiljević (Matić) B., Dimkić D., Đurđević V.(2013): Historical Overview and Different Methodologies Applied in Climate Change Studies, International Conference Climate Change Impacts on Water Resources, 17-18 October 2013, Belgrade, Serbia, Publisher: Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, ISBN 978-86-82565-41-3, pp. 183-194.

131. Vandecasteele I., Rivero M.I., Baranzelli C., Becker W., Dreoni I., Lavallo C., Batelaan O.(2016) The Water Retention Index: Using land use planning to manage water resources in Europe. 22nd International Sustainable Development Research Society Conference, School of Science and Technology, Universidade Nova de Lisboa, Lisbon, Portugal.

132. Veljković Nebojša (2006) Indikatori održivog razvoja i upravljanje vodnim resursima, poglavlje 5. Zadužbina Andrejević, Beograd, Srbija. ISBN: 86-7244-517-1

133. Vukadinović Svetozar (1970) Elementi računa verovatnoće i matematičke statistike. Tehnika za umnožavanje Biroa za građevinarstvo, Beograd.

134. World Meteorological Organization (1981) Selection of distribution types for extreme precipitation. Operational Hydrology Report No.15, WMO-No.560, Geneva, Switzerland.

135. Wostl - Pahl, C., Pavel Kabat, P., Jörn Moltgen, J.(Eds.) (2008) Adaptive and Integrated Water Management Coping with Complexity and Uncertainty. ISBN 978-3-540-75940-9 Springer Berlin Heidelberg New York, pp.437.

136. Yevjevich Vujica (1972) Probability and Statistics in Hydrology. Water resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.

137. Zakon o Vodama Republike Srbije (ZoV RS), "Sl. glasnik RS", br. 30/2010, 93/2012 i 101/2016.

138. Zelenhasić E., Ruski M. (1991) Inženjerska hidrologija, IDP "Naučna knjiga", Beograd, ISBN 86-23- 41063-7.

139. Zelenović Vasiljević, T., Srdjević, Z., Bajčetić, R. and Vojinović Miloradov, M. (2012) GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries: A Case Study From Serbia. Environmental Management, Springer, 49 (2): pp. 445-458. doi: 10.1007/s00267-011-9792-3. Epub 2011.

140. Zlatanović Nikola (2013) An Integrated design discharge calculation system for small to mid- sized ungauged catchments in Serbia. Master Thesis, International Centre for Water Hazard and Risk Management – ICHARM Master Paper No.70

141. Žugaj Ranko (2010) Velike vode malih slivova, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Hrvatska.

7. PRILOZI

PRILOG I – Hidrogeološka karta područja istraživanja

***PRILOG II - REZULTATI ANALIZA KRATKOTRAJNIH JAKIH KIŠA PO MATEMATIČKOM
MODELU JANKOVIĆA***

Tabela II-1 *Kratkotrajne jake kiše primenom matematičkog modela Jankovića*

| Meteorološka stanica Zlatibor T= 2 godine (p= 50 %) | | | | | Meteorološka stanica Zlatibor T= 5 godina (p= 20 %) | | | | |
|--|-----------|---------------|-----------|---------------|--|-----------|---------------|-----------|---------------|
| Δt (min) | 1951-1983 | | 1984-2015 | | Δt (min) | 1951-1983 | | 1984-2015 | |
| | H (mm) | I (mm/min) | H(mm) | I (mm/min) | | H (mm) | I (mm/min) | H(mm) | I (mm/min) |
| 5 | 16.49 | 3.57 | 20.74 | 4.15 | 5.00 | 19.69 | 3.94 | 22.86 | 4.57 |
| 10 | 17.83 | 2.48 | 28.74 | 2.87 | 10.00 | 27.29 | 2.73 | 31.69 | 3.17 |
| 15 | 26.75 | 1.21 | 21.10 | 1.41 | 15.00 | 31.93 | 2.13 | 37.07 | 2.47 |
| 30 | 33.56 | 1.21 | 42.20 | 1.41 | 30.00 | 40.06 | 1.34 | 46.51 | 1.55 |
| 60 | 40.69 | 0.73 | 51.15 | 0.85 | 60.00 | 48.56 | 0.81 | 56.39 | 0.94 |
| 120 | 48.39 | 0.44 | 60.83 | 0.51 | 120.00 | 57.75 | 0.48 | 67.06 | 0.56 |
| 180 | 53.28 | 0.32 | 66.98 | 0.37 | 180.00 | 63.59 | 0.35 | 73.83 | 0.41 |
| 360 | 62.49 | 0.19 | 78.57 | 0.22 | 360.00 | 74.59 | 0.21 | 86.61 | 0.24 |
| 720 | 73.05 | 0.11 | 91.84 | 0.13 | 720.00 | 87.19 | 0.12 | 101.24 | 0.14 |
| 1440 | 85.24 | 0.06 | 107.16 | 0.07 | 1440.00 | 101.74 | 0.07 | 118.13 | 0.08 |

| Meteorološka stanica Zlatibor T= 10 godina (p= 10 %) | | | | | Meteorološka stanica Zlatibor T= 25 godina (p= 4 %) | | | | |
|---|-----------|---------------|-----------|---------------|--|-----------|---------------|-----------|---------------|
| Δt (min) | 1951-1983 | | 1984-2015 | | Δt (min) | 1951-1983 | | 1984-2015 | |
| | H (mm) | I (mm/min) | H(mm) | I (mm/min) | | H (mm) | I (mm/min) | H(mm) | I (mm/min) |
| 5 | 21.06 | 4.21 | 24.46 | 4.89 | 5 | 22.87 | 4.57 | 26.58 | 5.32 |
| 10 | 29.19 | 2.92 | 33.91 | 3.39 | 10 | 31.71 | 3.17 | 36.85 | 3.68 |
| 15 | 21.43 | 1.43 | 24.89 | 1.66 | 15 | 37.10 | 2.47 | 43.11 | 2.87 |
| 30 | 42.85 | 1.43 | 49.78 | 1.66 | 30 | 46.54 | 1.55 | 54.09 | 1.80 |
| 60 | 51.95 | 0.87 | 60.34 | 1.01 | 60 | 56.42 | 0.94 | 65.57 | 1.09 |
| 120 | 61.78 | 0.51 | 71.76 | 0.60 | 120 | 67.10 | 0.56 | 77.98 | 0.65 |
| 180 | 68.02 | 0.38 | 79.01 | 0.44 | 180 | 73.88 | 0.41 | 85.86 | 0.48 |
| 360 | 79.79 | 0.22 | 92.69 | 0.26 | 360 | 86.67 | 0.24 | 100.72 | 0.28 |
| 720 | 93.27 | 0.13 | 108.34 | 0.15 | 720 | 101.31 | 0.14 | 117.73 | 0.16 |
| 1440 | 108.83 | 0.08 | 126.42 | 0.09 | 1440 | 118.21 | 0.08 | 137.37 | 0.10 |

| Meteorološka stanica Zlatibor T= 50 godina (p= 2 %) | | | | | Meteorološka stanica Zlatibor T= 100 godina (p= 1 %) | | | | |
|---|------------------|----------------------|------------------|----------------------|--|------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| Δt (min) | 1951-1983 | | 1984-2015 | | Δt (min) | 1951-1983 | | 1984-2015 | |
| | <i>H</i> (mm) | <i>I</i> (mm/min) | <i>H</i> (mm) | <i>I</i> (mm/min) | | <i>H</i> (mm) | <i>I</i> (mm/min) | <i>H</i> (mm) | <i>I</i> (mm/min) |
| 5 | 24.24 | 4.85 | 28.18 | 5.64 | 5 | 25.62 | 5.12 | 29.79 | 5.96 |
| 10 | 33.61 | 3.36 | 39.07 | 3.91 | 10 | 27.70 | 2.77 | 32.21 | 3.22 |
| 15 | 39.32 | 2.62 | 45.71 | 3.05 | 15 | 41.55 | 2.77 | 48.31 | 3.22 |
| 30 | 49.34 | 1.64 | 57.35 | 1.91 | 30 | 52.13 | 1.74 | 60.61 | 2.02 |
| 60 | 59.81 | 1.00 | 69.53 | 1.16 | 60 | 63.19 | 1.05 | 73.48 | 1.22 |
| 120 | 71.13 | 0.59 | 82.68 | 0.69 | 120 | 75.15 | 0.63 | 87.38 | 0.73 |
| 180 | 78.31 | 0.44 | 91.04 | 0.51 | 180 | 82.74 | 0.46 | 96.21 | 0.53 |
| 360 | 91.87 | 0.26 | 106.79 | 0.30 | 360 | 97.06 | 0.27 | 112.86 | 0.31 |
| 720 | 107.38 | 0.15 | 124.83 | 0.17 | 720 | 113.46 | 0.16 | 131.93 | 0.18 |
| 1440 | 125.30 | 0.09 | 145.66 | 0.10 | 1440 | 132.39 | 0.09 | 153.94 | 0.11 |

PRILOG III - Brojevi krivih oticaja (CN) I maksimalnog retencionog kapaciteta sliva (S) u funkciji hidrološkog kompleksa zemljište - pokrivač

Tabela III-1 i III- 2 Brojevi krivih oticaja i maksimalno potencijalnog retencionog kapaciteta za sve uslove prethodne vlažnosti tla

| Sliv | F (km ²) | CNI | SI | CNII | SII | CNIII | SIII |
|------------------------------------|-------------------------|-----|-----|------|-----|-------|------|
| Tabela III-1: 17 podslivova | | | | | | | |
| <i>A</i> | 11 | 60 | 169 | 78 | 73 | 89 | 32 |
| <i>B</i> | 6 | 50 | 250 | 70 | 109 | 84 | 47 |
| <i>C</i> | 3 | 63 | 146 | 80 | 64 | 90 | 27 |
| <i>D</i> | 7 | 50 | 250 | 70 | 109 | 84 | 47 |
| <i>E</i> | 13 | 51 | 241 | 71 | 105 | 85 | 45 |
| <i>F</i> | 24 | 49 | 262 | 69 | 114 | 84 | 49 |
| <i>G</i> | 16 | 48 | 272 | 68 | 118 | 83 | 51 |
| <i>H</i> | 6 | 60 | 170 | 78 | 74 | 89 | 32 |
| <i>I</i> | 6 | 53 | 227 | 72 | 99 | 86 | 42 |
| <i>J</i> | 10 | 59 | 176 | 77 | 77 | 89 | 33 |
| <i>K</i> | 5 | 61 | 161 | 78 | 70 | 89 | 30 |
| <i>L</i> | 4 | 53 | 229 | 72 | 100 | 86 | 43 |
| <i>M</i> | 3 | 49 | 262 | 69 | 114 | 84 | 49 |
| <i>N</i> | 2 | 71 | 239 | 71 | 104 | 71 | 45 |
| <i>O</i> | 19 | 66 | 128 | 82 | 56 | 91 | 24 |
| <i>P</i> | 5 | 58 | 184 | 76 | 80 | 88 | 34 |
| <i>R</i> | 6 | 58 | 184 | 76 | 80 | 88 | 34 |
| Tabela III-2: 6 podslivova | | | | | | | |
| <i>I</i> | 35 | 54 | 219 | 73 | 95 | 86 | 41 |
| <i>II</i> | 26 | 49 | 264 | 69 | 115 | 84 | 49 |
| <i>III</i> | 21 | 56 | 200 | 75 | 87 | 87 | 37 |
| <i>IV</i> | 31 | 53 | 229 | 72 | 100 | 86 | 43 |
| <i>V</i> | 6 | 53 | 227 | 72 | 99 | 86 | 42 |
| <i>VI</i> | 27 | 51 | 241 | 71 | 105 | 85 | 45 |

PRILOG IV - KOMPONENTE IRKS ZA T_k 1 SAT I POVRATNI PERIOD OD 5 GODINA ZA SVA TRI USLOVA PRETHODNE VLAŽNOSTI TLA

Tabela IV-1 Vrednosti komponenti IRKS za TK 1 sat i povratni period od 5 godina za uslove vlažnosti tla ispod proseka

| Sliv | Komponente IRKS I | | | | |
|------------|-------------------|------|------|-------|------|
| | 1- η | Sn | Kš | 1-IsI | 1-A |
| A | 0.95 | 0.05 | 0.48 | 0.94 | 0.49 |
| B | 1.00 | 0.04 | 0.41 | 0.90 | 0.51 |
| C | 0.92 | 0.01 | 0.18 | 0.94 | 0.11 |
| D | 1.00 | 0.05 | 0.43 | 0.92 | 0.34 |
| E | 1.00 | 0.08 | 0.54 | 0.94 | 0.44 |
| F | 1.00 | 0.17 | 0.48 | 0.94 | 0.54 |
| G | 1.00 | 0.12 | 0.78 | 0.94 | 0.52 |
| H | 0.95 | 0.03 | 0.94 | 0.93 | 0.51 |
| I | 0.99 | 0.04 | 0.58 | 0.91 | 0.73 |
| J | 0.96 | 0.05 | 0.33 | 0.94 | 0.24 |
| K | 0.94 | 0.02 | 0.24 | 0.94 | 0.34 |
| L | 0.99 | 0.03 | 0.86 | 0.93 | 0.54 |
| M | 1.00 | 0.02 | 0.91 | 0.90 | 0.55 |
| N | 1.00 | 0.01 | 0.82 | 0.90 | 0.46 |
| O | 0.89 | 0.07 | 0.21 | 0.96 | 0.10 |
| P | 0.97 | 0.02 | 0.70 | 0.92 | 0.60 |
| R | 0.97 | 0.03 | 0.65 | 0.95 | 0.54 |
| I | 0.99 | 0.21 | 0.43 | 0.92 | 0.02 |
| II | 1.00 | 0.19 | 0.48 | 0.94 | 0.44 |
| III | 0.97 | 0.12 | 0.40 | 0.95 | 0.40 |
| IV | 1.00 | 0.26 | 0.84 | 0.94 | 0.36 |
| V | 0.99 | 0.04 | 0.58 | 0.97 | 0.52 |
| VI | 1.00 | 0.18 | 0.46 | 0.95 | 0.49 |

Tabela IV-2 Vrednosti komponenti IRKS za TK 1 sat i povratni period od 5 godina za uslove normalne prethodne vlažnosti tla

| Sliv | Komponente IRKS II | | | | |
|------------|--------------------|------|------|-------|------|
| | 1- η | Sn | Kš | 1-IsI | 1-A |
| A | 0.73 | 0.05 | 0.48 | 0.94 | 0.49 |
| B | 0.85 | 0.04 | 0.41 | 0.90 | 0.51 |
| C | 0.68 | 0.01 | 0.18 | 0.94 | 0.11 |
| D | 0.85 | 0.05 | 0.43 | 0.92 | 0.34 |
| E | 0.84 | 0.08 | 0.54 | 0.94 | 0.44 |
| F | 0.86 | 0.17 | 0.48 | 0.94 | 0.54 |
| G | 0.87 | 0.12 | 0.78 | 0.94 | 0.52 |
| H | 0.73 | 0.03 | 0.94 | 0.93 | 0.51 |
| I | 0.82 | 0.04 | 0.58 | 0.91 | 0.73 |
| J | 0.75 | 0.05 | 0.33 | 0.94 | 0.24 |
| K | 0.72 | 0.02 | 0.24 | 0.94 | 0.34 |
| L | 0.83 | 0.03 | 0.86 | 0.93 | 0.54 |
| M | 0.86 | 0.02 | 0.91 | 0.90 | 0.55 |
| N | 0.84 | 0.01 | 0.82 | 0.90 | 0.46 |
| O | 0.64 | 0.07 | 0.21 | 0.96 | 0.10 |
| P | 0.76 | 0.02 | 0.70 | 0.92 | 0.60 |
| R | 0.76 | 0.03 | 0.65 | 0.95 | 0.54 |
| I | 0.82 | 0.21 | 0.43 | 0.92 | 0.02 |
| II | 0.86 | 0.19 | 0.48 | 0.94 | 0.44 |
| III | 0.76 | 0.12 | 0.40 | 0.95 | 0.40 |
| IV | 0.91 | 0.26 | 0.84 | 0.94 | 0.36 |
| V | 0.82 | 0.04 | 0.58 | 0.97 | 0.52 |
| VI | 0.85 | 0.18 | 0.46 | 0.95 | 0.49 |

Tabela IV-3 Vrednosti komponenti IRKS za TK 1 sat i povratni period od 5 godina za prethodne uslove vlažnosti tla iznad proseka

| Sliv | Komponente IRKS III | | | | |
|------------|---------------------|------|------|-------|------|
| | 1- η | Sn | Kš | 1-IsI | 1-A |
| A | 0.46 | 0.05 | 0.48 | 0.94 | 0.49 |
| B | 0.58 | 0.04 | 0.41 | 0.90 | 0.51 |
| C | 0.41 | 0.01 | 0.18 | 0.94 | 0.11 |
| D | 0.57 | 0.05 | 0.43 | 0.92 | 0.34 |
| E | 0.57 | 0.08 | 0.54 | 0.94 | 0.44 |
| F | 0.60 | 0.17 | 0.48 | 0.94 | 0.54 |
| G | 0.61 | 0.12 | 0.78 | 0.94 | 0.52 |
| H | 0.46 | 0.03 | 0.94 | 0.93 | 0.51 |
| I | 0.55 | 0.04 | 0.58 | 0.91 | 0.73 |
| J | 0.47 | 0.05 | 0.33 | 0.94 | 0.24 |
| K | 0.44 | 0.02 | 0.24 | 0.94 | 0.34 |
| L | 0.55 | 0.03 | 0.86 | 0.93 | 0.54 |
| M | 0.60 | 0.02 | 0.91 | 0.90 | 0.55 |
| N | 0.33 | 0.01 | 0.82 | 0.90 | 0.46 |
| O | 0.38 | 0.07 | 0.21 | 0.96 | 0.10 |
| P | 0.48 | 0.02 | 0.70 | 0.92 | 0.60 |
| R | 0.48 | 0.03 | 0.65 | 0.95 | 0.54 |
| I | 0.55 | 0.21 | 0.43 | 0.92 | 0.02 |
| II | 0.60 | 0.19 | 0.48 | 0.94 | 0.44 |
| III | 0.48 | 0.12 | 0.40 | 0.95 | 0.40 |
| IV | 0.65 | 0.26 | 0.84 | 0.94 | 0.36 |
| V | 0.55 | 0.04 | 0.58 | 0.97 | 0.52 |
| VI | 0.58 | 0.18 | 0.46 | 0.95 | 0.49 |

PRILOG V – UTICAJ MERA NA INDIKATOR RETENCIONOG KAPACITETA SLIVA

Tabela V - 1 Uticaj mera na IRKS za SC1

| Sliv | SC1 | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | IRKS I | IRKS II | IRKS III | IRKS mere | IRKS I max | IRKS II max | IRKS III max |
| A | 0.50 | 0.44 | 0.36 | 0.04 | 0.55 | 0.48 | 0.40 |
| B | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.10 | 0.60 | 0.56 | 0.48 |
| C | 0.44 | 0.37 | 0.29 | 0.13 | 0.57 | 0.50 | 0.42 |
| D | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.04 | 0.55 | 0.50 | 0.43 |
| E | 0.53 | 0.49 | 0.41 | 0.07 | 0.60 | 0.55 | 0.47 |
| F | 0.57 | 0.53 | 0.45 | 0.07 | 0.64 | 0.60 | 0.52 |
| G | 0.57 | 0.53 | 0.45 | 0.06 | 0.63 | 0.60 | 0.52 |
| H | 0.53 | 0.46 | 0.38 | 0.06 | 0.58 | 0.52 | 0.43 |
| I | 0.52 | 0.47 | 0.39 | 0.07 | 0.59 | 0.54 | 0.46 |
| J | 0.48 | 0.42 | 0.34 | 0.03 | 0.52 | 0.45 | 0.37 |
| K | 0.47 | 0.40 | 0.31 | 0.03 | 0.50 | 0.43 | 0.35 |
| L | 0.53 | 0.48 | 0.40 | 0.06 | 0.59 | 0.54 | 0.45 |
| M | 0.53 | 0.49 | 0.41 | 0.04 | 0.57 | 0.53 | 0.45 |
| N | 0.52 | 0.47 | 0.32 | 0.04 | 0.56 | 0.51 | 0.36 |
| O | 0.46 | 0.38 | 0.30 | 0.03 | 0.49 | 0.42 | 0.34 |
| P | 0.51 | 0.45 | 0.37 | 0.09 | 0.60 | 0.54 | 0.45 |
| R | 0.51 | 0.45 | 0.37 | 0.08 | 0.60 | 0.54 | 0.45 |
| <i>I</i> | <i>0.56</i> | <i>0.51</i> | <i>0.43</i> | <i>0.04</i> | <i>0.60</i> | <i>0.55</i> | <i>0.47</i> |
| <i>II</i> | <i>0.58</i> | <i>0.54</i> | <i>0.46</i> | <i>0.07</i> | <i>0.65</i> | <i>0.61</i> | <i>0.53</i> |
| <i>III</i> | <i>0.53</i> | <i>0.47</i> | <i>0.38</i> | <i>0.05</i> | <i>0.58</i> | <i>0.52</i> | <i>0.43</i> |
| <i>IV</i> | <i>0.63</i> | <i>0.55</i> | <i>0.50</i> | <i>0.08</i> | <i>0.72</i> | <i>0.63</i> | <i>0.58</i> |
| <i>V</i> | <i>0.52</i> | <i>0.47</i> | <i>0.39</i> | <i>0.07</i> | <i>0.59</i> | <i>0.54</i> | <i>0.46</i> |
| <i>VI</i> | <i>0.58</i> | <i>0.53</i> | <i>0.45</i> | <i>0.08</i> | <i>0.65</i> | <i>0.61</i> | <i>0.53</i> |
| MAX | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.13 | 0.72 | 0.63 | 0.58 |
| MIN | 0.44 | 0.37 | 0.29 | 0.03 | 0.49 | 0.42 | 0.34 |

Tabela V - 2 Uticaj mera na IRKS za SC2

| Sliv | SC2 | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | IRKS I | IRKS II | IRKS III | IRKS mere | IRKS I max | IRKS II max | IRKS III max |
| A | 0.50 | 0.44 | 0.36 | 0.07 | 0.58 | 0.51 | 0.43 |
| B | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.15 | 0.66 | 0.61 | 0.53 |
| C | 0.44 | 0.37 | 0.29 | 0.10 | 0.55 | 0.47 | 0.39 |
| D | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.08 | 0.59 | 0.54 | 0.46 |
| E | 0.53 | 0.49 | 0.41 | 0.10 | 0.64 | 0.59 | 0.51 |
| F | 0.57 | 0.53 | 0.45 | 0.10 | 0.67 | 0.63 | 0.55 |
| G | 0.57 | 0.53 | 0.45 | 0.11 | 0.69 | 0.65 | 0.57 |
| H | 0.53 | 0.46 | 0.38 | 0.10 | 0.63 | 0.56 | 0.48 |
| I | 0.52 | 0.47 | 0.39 | 0.12 | 0.64 | 0.59 | 0.51 |
| J | 0.48 | 0.42 | 0.34 | 0.05 | 0.54 | 0.47 | 0.39 |
| K | 0.47 | 0.40 | 0.31 | 0.04 | 0.51 | 0.44 | 0.36 |
| L | 0.53 | 0.48 | 0.40 | 0.10 | 0.63 | 0.58 | 0.50 |
| M | 0.53 | 0.49 | 0.41 | 0.08 | 0.61 | 0.57 | 0.49 |
| N | 0.52 | 0.47 | 0.32 | 0.08 | 0.60 | 0.55 | 0.40 |
| O | 0.46 | 0.38 | 0.30 | 0.05 | 0.51 | 0.43 | 0.35 |
| P | 0.51 | 0.45 | 0.37 | 0.15 | 0.66 | 0.60 | 0.52 |
| R | 0.51 | 0.45 | 0.37 | 0.15 | 0.66 | 0.60 | 0.51 |
| <i>I</i> | <i>0.56</i> | <i>0.51</i> | <i>0.43</i> | <i>0.07</i> | <i>0.63</i> | <i>0.58</i> | <i>0.50</i> |
| <i>II</i> | <i>0.58</i> | <i>0.54</i> | <i>0.46</i> | <i>0.11</i> | <i>0.69</i> | <i>0.65</i> | <i>0.57</i> |
| <i>III</i> | <i>0.53</i> | <i>0.47</i> | <i>0.38</i> | <i>0.08</i> | <i>0.61</i> | <i>0.55</i> | <i>0.46</i> |
| <i>IV</i> | <i>0.63</i> | <i>0.55</i> | <i>0.50</i> | <i>0.16</i> | <i>0.79</i> | <i>0.71</i> | <i>0.65</i> |
| <i>V</i> | <i>0.52</i> | <i>0.47</i> | <i>0.39</i> | <i>0.12</i> | <i>0.64</i> | <i>0.59</i> | <i>0.51</i> |
| <i>VI</i> | <i>0.58</i> | <i>0.53</i> | <i>0.45</i> | <i>0.10</i> | <i>0.67</i> | <i>0.63</i> | <i>0.55</i> |
| MAX | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.16 | 0.79 | 0.71 | 0.65 |
| MIN | 0.44 | 0.37 | 0.29 | 0.04 | 0.51 | 0.43 | 0.35 |

Tabela V - 3 Uticaj mera na IRKS za SC3

| Sliv | SC3 | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | IRKS I | IRKS II | IRKS III | IRKS mere | IRKS I max | IRKS II max | IRKS III max |
| A | 0.50 | 0.44 | 0.36 | 0.04 | 0.54 | 0.47 | 0.39 |
| B | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.11 | 0.61 | 0.57 | 0.49 |
| C | 0.44 | 0.37 | 0.29 | 0.10 | 0.54 | 0.47 | 0.39 |
| D | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.05 | 0.56 | 0.51 | 0.43 |
| E | 0.53 | 0.49 | 0.41 | 0.07 | 0.61 | 0.56 | 0.48 |
| F | 0.57 | 0.53 | 0.45 | 0.05 | 0.63 | 0.59 | 0.51 |
| G | 0.57 | 0.53 | 0.45 | 0.08 | 0.65 | 0.62 | 0.54 |
| H | 0.53 | 0.46 | 0.38 | 0.07 | 0.60 | 0.53 | 0.45 |
| I | 0.52 | 0.47 | 0.39 | 0.09 | 0.61 | 0.56 | 0.48 |
| J | 0.48 | 0.42 | 0.34 | 0.04 | 0.52 | 0.46 | 0.37 |
| K | 0.47 | 0.40 | 0.31 | 0.02 | 0.48 | 0.41 | 0.33 |
| L | 0.53 | 0.48 | 0.40 | 0.07 | 0.60 | 0.55 | 0.47 |
| M | 0.53 | 0.49 | 0.41 | 0.05 | 0.58 | 0.54 | 0.46 |
| N | 0.52 | 0.47 | 0.32 | 0.06 | 0.58 | 0.53 | 0.38 |
| O | 0.46 | 0.38 | 0.30 | 0.02 | 0.48 | 0.41 | 0.33 |
| P | 0.51 | 0.45 | 0.37 | 0.10 | 0.62 | 0.55 | 0.47 |
| R | 0.51 | 0.45 | 0.37 | 0.12 | 0.63 | 0.57 | 0.49 |
| <i>I</i> | <i>0.56</i> | <i>0.51</i> | <i>0.43</i> | <i>0.03</i> | <i>0.59</i> | <i>0.54</i> | <i>0.46</i> |
| <i>II</i> | <i>0.58</i> | <i>0.54</i> | <i>0.46</i> | <i>0.07</i> | <i>0.65</i> | <i>0.61</i> | <i>0.53</i> |
| <i>III</i> | <i>0.53</i> | <i>0.47</i> | <i>0.38</i> | <i>0.05</i> | <i>0.58</i> | <i>0.52</i> | <i>0.44</i> |
| <i>IV</i> | <i>0.63</i> | <i>0.55</i> | <i>0.50</i> | <i>0.11</i> | <i>0.74</i> | <i>0.66</i> | <i>0.61</i> |
| <i>V</i> | <i>0.52</i> | <i>0.47</i> | <i>0.39</i> | <i>0.09</i> | <i>0.61</i> | <i>0.56</i> | <i>0.48</i> |
| <i>VI</i> | <i>0.58</i> | <i>0.53</i> | <i>0.45</i> | <i>0.06</i> | <i>0.63</i> | <i>0.59</i> | <i>0.51</i> |
| MAX | 0.63 | 0.55 | 0.50 | 0.12 | 0.74 | 0.66 | 0.61 |
| MIN | 0.44 | 0.37 | 0.29 | 0.02 | 0.48 | 0.41 | 0.33 |