



Promjena snježnih uvjeta gorskoga i pretplaninskoga vegetacijskoga pojasa Velebita

Damir Ugarković, Karlo Roksa, Ivica Tikvić

Nacrtak – Abstract

Količina snježne oborine mijenja se po pojedinim razdobljima. Povećanje temperature zraka, kao jedno od obilježja klimatskih promjena, osobito utječe i na snježne uvjete. Cilj je ovoga istraživanja bio analiza trenda broja dana sa snijegom i kretanje maksimalne visine snijega te usporedba srednjega broja dana i maksimalne visine snijega s višegodišnjim prosjekom 1981–2010. i s prijašnjim podacima opisa klime. Istraživanje je provedeno na dvjema meteorološkim postajama (Baške Oštarije i Oltari) u gorskom vegetacijskom pojasu te na meteorološkoj postaji Zavižan u pretplaninskom vegetacijskom pojasu. Analiza je trenda napravljena Mann-Kendallovim testom. T-testom je uspoređen broj dana sa snijegom i maksimalna visina snijega s višegodišnjim prosjekom (referentnim nizom) i podacima iz opisa klime vegetacijskih pojasa 1948–1960. godine. Prosječan broj dana sa snijegom (≥ 1 cm) u gorskom vegetacijskom pojasu na meteorološkoj postaji Baške Oštarije iznosio je 66, na meteorološkoj postaji Oltari iznosio je 91 dan, a u pretplaninskom vegetacijskom pojasu na meteorološkoj postaji Zavižan iznosio je 158 dana. Maksimalna visina snijega u gorskom pojasu prosječno je iznosila 60,09 cm, odnosno 78,25 cm, dok je u pretplaninskom pojasu bila 165,04 cm. Za meteorološku postaju Oltari, u gorskom vegetacijskom pojasu, statistički je značajan trend smanjivanja broja dana sa snijegom ≥ 1 cm. Na Zavižanu, u pretplaninskom vegetacijskom pojasu, ustanovljen je statistički značajan trend smanjivanja broja dana sa snijegom ≥ 1 cm, ≥ 10 cm i ≥ 30 cm visine. Na Zavižanu je recentni prosječan broj dana sa snijegom od ≥ 1 cm do ≥ 30 cm bio značajno niži u odnosu na višegodišnji prosjek 1981–2010. Prema rezultatima pojedinačnoga t-testa broj dana sa snijegom (> 1 cm) i maksimalna visina snijega (cm) značajno su manje na području obaju vegetacijskih pojasa u odnosu na razdoblje 1948–1960. godine.

Ključne riječi: snijeg, promjena klime, gorski i pretplaninski vegetacijski pojas

1. Uvod – Introduction

Gorski vegetacijski pojas na Dinaridima se prostire na nadmorskoj visini od 800 do 1100 m. U njemu rastu acidofilne jelove šume, acidofilne smrekove šume i dinarske bukovo-jelove šume. Pretplaninski vegetacijski pojas uključuje šumske ekosustave na nadmorskoj visini od 1100 do 1700 m, a u tom se pojasu nalaze pretplaninske bukove šume, borealne jelove i smrekove šumske zajednice i klekovina planinskoga bora (Vukelić i Rauš 1998, Vukelić 2012).

U Gorskom kotaru i na Velebitu, koji imaju nadmorsku visinu i do 1600 m, snijeg je obiljniji i duže se zadržava na tlu (Gajić-Čapka 2011).

U gorskom i pretplaninskom vegetacijskom pojasu znatan dio zimske oborine pada u obliku snijega. Hionofilne šume su šume koje se razvijaju u predjelima s mnogo snježne oborine. Snijeg je nakon kiše najvažnija i najčešća oborina na Zemlji te on ima itekako važnu ulogu u većem dijelu svijeta ne samo kao izvor i količina vode koja padne na Zemlju već i kao utjecaj na radijacijske procese, kao regulator i rezerva količine vode te kao zaštitnik zemlje od smrzanja. Pojavnost i udio snijega u godišnjoj količini oborine raste s porastom geografske širine te se tako najviše pojavljuje u polarnim krajevima, a također raste i sa smanjenjem temperature odnosno povećanjem nadmorske visine (Penzar i Penzar 2000).

Snježni pokrivač utječe na globalnu površinsku energetska ravnotežu i svojim visokim albedom ima učinak hlađenja na klimu na Zemlji (Young 2023).

Snijeg i led utječu na globalnu površinsku energetska ravnotežu i hidrološki ciklus (Frei i dr. 2012). Snijeg također osigurava ključni mehanizam za kratkoročno skladištenje vode za potrebe ljudi (Musselman i dr. 2021).

Prema Šegoti (1988) snijeg se u šumskom ekosustavu zadržava čak do tri tjedna dulje na tlu nego u susjednom otvorenom području zbog manje brzine vjetrova i slabije evaporacije, a to pogoduje vodnomu režimu i sprječavanju od konstantnoga smrzavanja i odmrzavanja tla, što bi prouzročilo golomrazicu. Zbog polaganoga otapanja i postupnoga prodiranja u tlo snijeg je oborina koja donosi tlu najviše vlage koja je ključna za snažnu i zdravu sastojinu.

Snijeg može činiti i štetu šumskoj sastojini i drveću u obliku pojave snjegoloma i snjigoizvala. Pod pritiskom pucaju grane, prelamaju se vršci stabala ili čak cijela stabla (Gračanin i Ilijanić 1977). Stabla oštećena snjegolomima i snjigoizvalama nemaju više vrijednost koju su imala i ne mogu pokriti vrijednost troškova uklanjanja štetnih posljedica i obnove sastojine.

Toplija klima može smanjiti snježni pokrivač (Ivanov i dr. 2022). Porast temperature rezultira smanjenjem nakupljanja snijega te je zato smanjen snježni pokrivač na umjerenim geografskim širinama, a i na srednjoj i niskoj nadmorskoj visini, dok to nije slučaj u najhladnijim regijama (Fontrodona Bach i dr. 2018).

Globalno se snježni pokrivač smanjio ovisno o sezoni analize. Globalni snježni pokrivač smanjio se za 5,12 % (ne uključujući Antarktiku ili Grenland). Azija je imala najveći neto pad snježnoga pokrivača, a slijedi ju Europa (Young 2023). Opažene promjene u smanjenju snježnoga pokrivača izravni su odgovor na klimatske promjene, uglavnom zbog zatopljenja i promjena oborine (Brown i Robinson 2011, Sun i dr. 2020). Notarnicola (2020) je otkrio da je 78 % promatranih planinskih područja diljem svijeta pogođeno smanjenjem snijega i smanjenjem površine snježnoga pokrivača do 13 %. Studije velikih razmjera koje se tiču trajanja snježnoga pokrivača uglavnom su prepoznale trend pada na sjevernoj hemisferi, s najintenzivnijim smanjenjem od 1980-ih (Choi i dr. 2010). Osnovni snježni klimatski uvjeti obično se prikazuju brojem dana s različitim visinom snijega, količinom snijega ili najvećom visinom snijega (Gajić-Čapka 2011).

Cilj je istraživanja bio ustanoviti trend i promjene broja dana sa snijegom te promjene maksimalne visine snijega na Velebitu.

2. Materijal i metoda rada – *Material and methods*

Broj dana s padanjem snijega računa se ako je tijekom tih dana palo snijega za $\geq 0,1$ mm vodeno-ekvivalenta. Srednja je godišnja količina snijega višegodišnji prosjek količine snijega koja padne na tlo, kao što je trajanje snježnoga pokrivača broj dana u kojima se snijeg održao na tlu. Istraživanje toga klimatskoga elementa provedeno je na trima meteorološkim postajama u dvama vegetacijskim pojaseima na sjevernom i srednjem Velebitu. Gorski vegetacijski pojas ima umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetom (Cfb), a pretplaninski vegetacijski pojas ima vlažnu (borealnu) klimu (Df). Analiza snježnih uvjeta u šumskim ekosustavima napravljena je za tri meteorološke postaje na sjevernom i srednjem Velebitu (slika 1). S obzirom na nadmorsku visinu dvije meteorološke postaje (Baške Oštarije i Oltari) smještene su u gorskom vegetacijskom pojasu, dok je meteorološka postaja Zavižan smještena u pretplaninskom vegetacijskom pojasu. Podaci o broju dana sa snijegom i o maksimalnoj visini snijega preuzeti su od Državnoga hidrometeorološkoga zavoda Republike Hrvatske. Podaci za meteorološku postaju Baške Oštarije odnose se na razdoblje od 1991. do 2010. godine, za meteorološku postaju Oltari od 1991. do 2021. godine, a za meteorološku postaju Zavižan od 1981. do 2021. godine.

Za podatke o broju dana sa snijegom i o maksimalnoj visini snijega napravljena je deskriptivna statistika podataka. Analiza trenda broja dana sa snijegom i trenda maksimalne visine snijega napravljena je Mann-Kendallovim testom (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987). Za meteorološku postaju Zavižan studentovim *t*-testom nezavisnih uzoraka uspoređen je prosječan broj dana sa snijegom i maksimalna visina snijega vremenskoga niza 2011–2021. s višegodišnjim prosjekom razdoblja 1981–2010. (Pandžić i dr. 2020). Zbog kraćega vremenskoga niza ova usporedba nije napravljena za meteorološke postaje Oltari i Baške Oštarije. Za meteorološke postaje Zavižan i Oltari pojedinačnim *t*-testom uspoređen je prosječan broj dana sa snijegom i maksimalna visina snijega s podacima iz opisa klime vegetacijskih pojasa za razdoblje 1948–1960. godine (Bertović 1975). Zbog nedostatka podataka ova analiza nije napravljena za meteorološku postaju Baške Oštarije. Granica pouzdanosti u svim analizama iznosila je $p < 0,05$. Statistička obrada podataka napravljena je u programima Statistica 13 (TIBCO Software Inc. 2018) i Past 4.03 (Hammer i dr. 2001).



Slika 1. Položaj meteoroloških postaja na području istraživanja

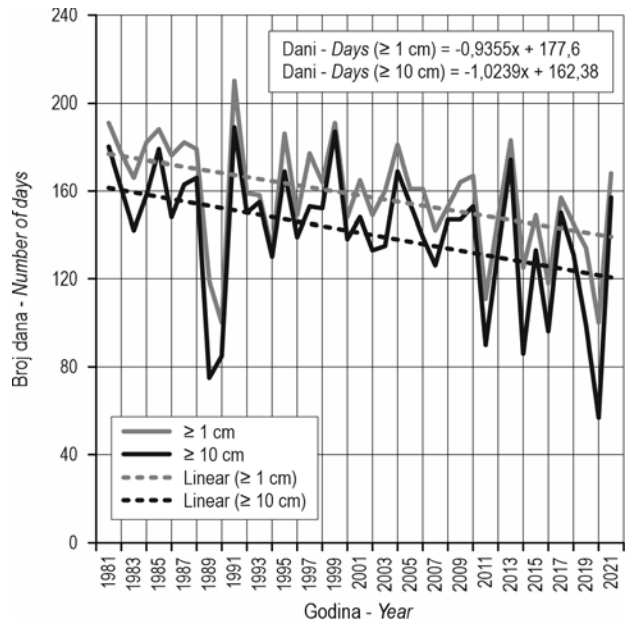
Fig. 1 Location of meteorological stations in research area

3. Rezultati istraživanja s raspravom – Results and discussion

Deskriptivnom statističkom analizom utvrđeno je da se prosječno snježni pokrivač najduže zadržava u pretplaninskom vegetacijskom pojasu odnosno na Zavižanu. Prosječno je to 157,95 dana u rasponu od minimalno 100 do maksimalnih 210 dana. Također, ustanovljeno je da je na istom području maksimalna visina snijega veća u odnosu na gorski vegetacijski pojas (Oltari, Baške Oštarije). Prosječna maksimalna visina snijega u gorskom pojasu je 78,25 cm u rasponu od 31 cm do 258 cm, dok u pretplaninskom ona iznosi 165,05 cm u rasponu od 38 cm do čak 322 cm. Pravilo je da broj dana s padanjem snijega i njegova količina i trajanje snježnoga pokrivača raste s porastom nadmorske visine i smanjenjem temperature (Šegota 1988). Porastom nadmorske visine raste i maksimalna visina snježnoga pokrivača. Dakle, najveći utjecaj kod geografske raspodjele snijega imaju reljef i temperatura, odnosno kopno i more.

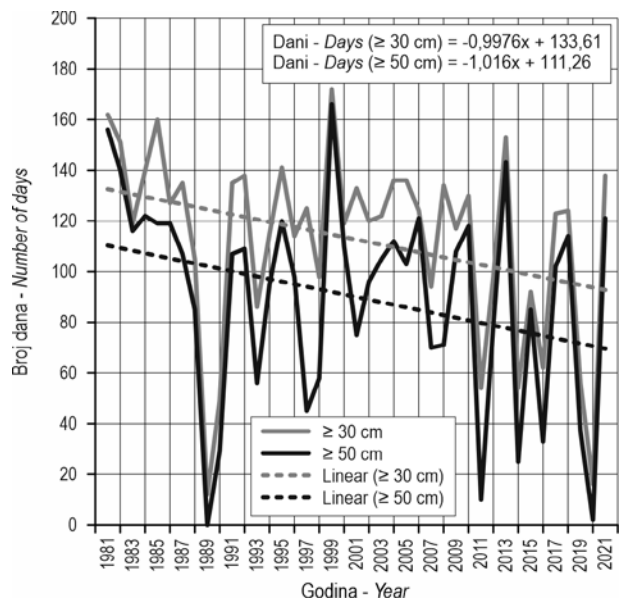
Na slici 2 prikazan je trend broja dana sa snijegom na meteorološkoj postaji Zavižan od 1981. do 2021. go-

dine. U tom je razdoblju najveći broj dana sa snijegom ≥ 1 cm bio 1991. godine i iznosio je ukupno 210 dana u toj godini, dok je najmanji broj dana zabilježen 1990. i 2020. godine, a iznosio je 100 dana. Najveći broj dana sa snježnim pokrivačem ≥ 10 cm bio je 1991. godine 189 dana, a najmanji broj dana zabilježen 2020. godine (57 dana).



Slika 2. Trend broja dana sa snijegom ≥ 1 cm i ≥ 10 cm za meteorološku postaju Zavižan

Fig. 2 Trend of number of days with snow ≥ 1 cm and ≥ 10 cm for meteorological station Zavižan



Slika 3. Trend broja dana sa snijegom ≥ 30 cm i ≥ 50 cm za meteorološku postaju Zavižan

Fig. 3 Trend of number of days with snow ≥ 30 cm and ≥ 50 cm for meteorological station Zavižan

Najveći broj dana sa snijegom ≥ 30 cm iznosio je 172, a zabilježen je 1999. godine, a najmanji 12 dana 1989. godine. Najveći broj dana sa snijegom ≥ 50 cm bio je 1999. godine kada je ukupno snijeg trajao 166 dana u godini, dok je najmanji broj dana bio jednak nuli 1989. godine (slika 3).

Tablica 1. Rezultati Mann-Kendalova testa trenda za broj dana sa snijegom i za maksimalnu visinu snijega na meteorološkoj postaji Zavižan (S – nagib pravca; Z – rezultat statističkoga testa; p – granica signifikantnosti $< 0,05$)

Table 1 Results of Mann-Kendall trend test for number of days with snow and maximum snow depth for meteorological station Zavižan (S – slope of direction; Z – score of statistical test; p – limit of significance < 0.05)

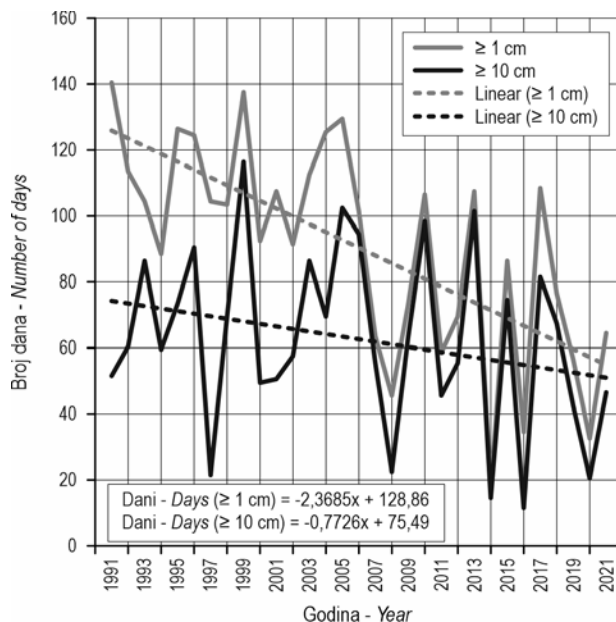
Dani, visina snijega Days-snow depth	S	Z	p
≥ 1 cm	-274	-3,068	0,002
≥ 10 cm	-253	-2,832	0,004
≥ 30 cm	-187	-2,090	0,036
≥ 50 cm	-164	-1,831	0,067
maks., cm	-161	-1,797	0,072

U pretplaninskom vegetacijskom pojasu ustanovljen je statistički značajan trend smanjivanja broja dana sa snijegom do ≥ 30 cm (tablica 1). Trend smanjivanja broja dana sa snijegom ≥ 50 cm visine te dnevne maksimalne visine snijega bio je blizu granice signifikantnosti ($p = 0,067$; $p = 0,072$).

Prema istraživanjima Gajić-Čapke (2011) prosječna dnevna visina snijega i trajanje snježnoga pokrivača smanjili su se na srednjoj nadmorskoj visini, dok je trajanje snježnoga pokrivača blago poraslo na vrhu Velebita. Zimske ukupne količine oborine smanjivale su se na srednjoj nadmorskoj visini, a povećavale na vrhu Velebita, ali taj trend nije bio značajan (Gajić-Čapka 2011).

Srednja godišnja temperatura zraka i temperatura zraka u vegetacijskom razdoblju imale su statistički značajan trend porasta na meteorološkoj postaji Zavižan, dok godišnja količina oborine ima trend povećanja koji nije bio statistički značajan (Tikvić i dr. 2008). Parametri snijega su u velikoj korelaciji s temperaturom zraka, prizemnim tlakom zraka, količinama oborine te nadmorskom visinom (Gajić-Čapka 2011). S druge strane, povećanje temperature zraka rezultira smanjenjem snježnoga pokrivača (Szyga-Pluta 2022). Zbog toga je i prisutan trend smanjivanja broja dana sa snijegom na meteorološkoj postaji Zavižan, osim broja dana sa snijegom ≥ 50 cm i maksimalne visine snijega.

Smanjenje snijega na niskoj i srednjoj nadmorskoj visini uglavnom je uzrokovano višom zimskom temperaturom, a tek iznad 2000 m nadmorske visine oborina postaje odlučujući čimbenik za snježnu zimu (Marty 2013). U pretplaninskom vegetacijskom pojasu (Zavižan) temperatura zraka ima značajnije promjene u odnosu na količine oborine (Tikvić i dr. 2008), što je vjerojatno i odlučujuće za smanjenje broja dana sa snijegom na tom području.

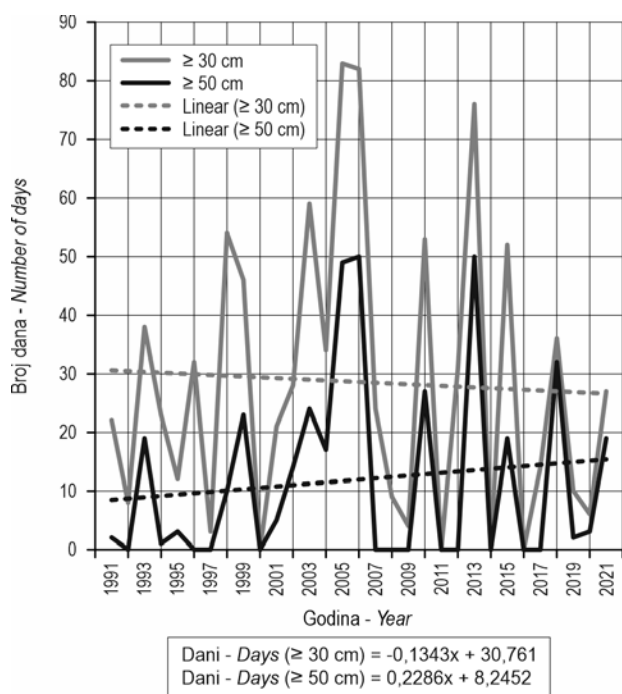


Slika 4. Trend broja dana sa snijegom ≥ 1 cm i ≥ 10 cm za meteorološku postaju Oltari

Fig. 4 Trend of number of days with snow ≥ 1 cm and ≥ 10 cm for meteorological station Oltari

Na slici 4 prikazan je broj dana sa snijegom na meteorološkoj postaji Oltari od 1991. do 2021. godine. U tom je razdoblju najveći broj dana sa snijegom ≥ 1 cm zabilježen 1991. godine s ukupno 141 danom pod snježnim pokrivačem, a najmanji 2014. godine s ukupno 17 dana pod snijegom. Sa snijegom ≥ 10 cm najveći broj dana bio je 1999. godine (117 dana), a najmanji broj dana 2014. godine (12 dana).

Najveći broj dana sa snijegom ≥ 30 cm na meteorološkoj postaji Oltari zabilježen je 2005. godine i trajao je 83 dana, dok je broj dana sa snijegom ≥ 30 cm jednak nuli bio 2000, 2011, 2014. i 2016. godine. Također je zabilježeno je da je najveći broj dana, čak 50 dana, snježni pokrivač ≥ 50 cm bio 2006. i 2013. godine, a bez ijednoga dana sa snježnim pokrivačem jednakim ili većim od 50 cm zabilježeno je 1992, 1996, 1997, 2000, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2014, 2016. i 2017. godine (slika 5).



Slika 5. Trend broja dana sa snijegom ≥ 30 cm i ≥ 50 cm za meteorološku postaju Oltari

Fig. 5 Trend of number of days with snow ≥ 30 cm and ≥ 50 cm for meteorological station Oltari

Tablica 2. Rezultati Mann-Kendalova testa trenda za broj dana sa snijegom i za maksimalnu visinu snijega na meteorološkoj postaji Oltari (S – nagib pravca; Z – rezultat statističkoga testa; p – granica signifikantnosti < 0,05)

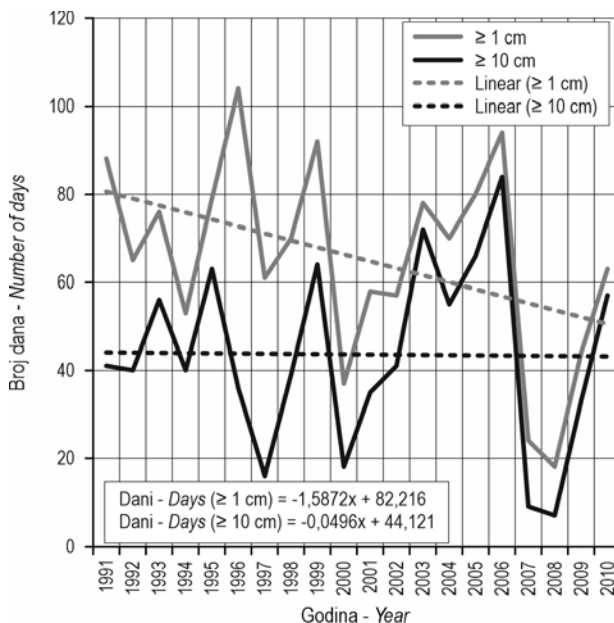
Table 2 Results of Mann-Kendall trend test for number of days with snow and maximum snow depth for meteorological station Oltari (S – slope of direction; Z – score of statistical test; p – limit of significance < 0.05)

Dani, visina snijega Days-snow depth	S	Z	p
≥ 1 cm	-211	-3,570	0,0003
≥ 10 cm	-76	-1,275	0,202
≥ 30 cm	-25	-0,408	0,682
≥ 50 cm	37	0,632	0,522
maks., cm	21	0,340	0,733

Na meteorološkoj postaji Oltari ustanovljen je statistički značajan negativan trend broja dana sa snijegom ≥ 1 cm (tablica 2).

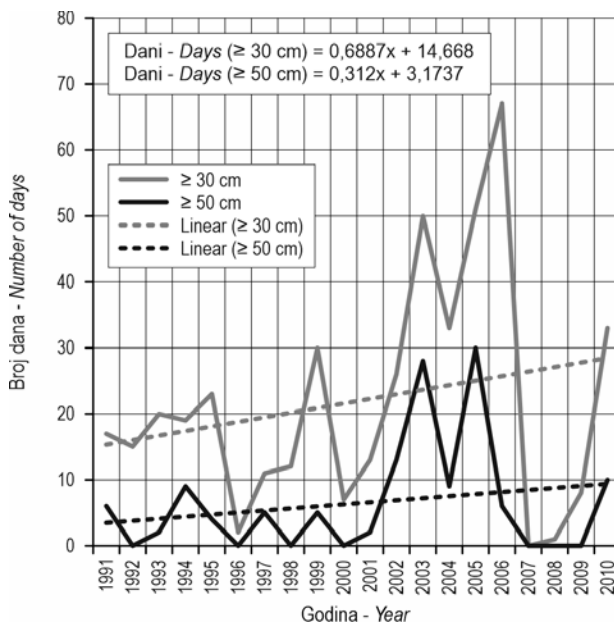
U razdoblju od 1991. do 2010. godine najveći broj dana sa snijegom ≥ 1 cm na meteorološkoj postaji Baške Oštarije zabilježen je 1996. godine i iznosio je 104, a najmanji broj dana bio je 2008. godine s ukupno 18 dana u godini. Snježni pokrivač ≥ 10 cm naj-

duže je trajao 2006. godine s ukupno 84 dana, a najkraće 2008. kada je trajao 7 dana (slika 6).



Slika 6. Trend broja dana sa snijegom ≥ 1 cm i ≥ 10 cm za meteorološku postaju Baške Oštarije

Fig. 6 Trend of number of days with snow ≥ 1 cm and ≥ 10 cm for Baške Oštarije meteorological station



Slika 7. Trend broja dana sa snijegom ≥ 30 cm i ≥ 50 cm za meteorološku postaju Baške Oštarije

Fig. 7 Trend of number of days with snow ≥ 30 cm and ≥ 50 cm for Baške Oštarije meteorological station

Najduže razdoblje dana sa snijegom ≥ 30 cm bilo je 2006. godine i iznosilo je 67 dana, a najkraće go-

dinu dana poslije kada je bio jednak nuli. Snježni pokrivač ≥ 50 cm najduže je trajao 2005. godine s ukupno 30 dana, a najkraće 1992, 1996, 1998, 2000, 2007, 2008. i 2009. godine kada je također ukupno bilo nula takvih dana u godini (slika 7).

Tablica 3. Rezultati Mann-Kendalova testa trenda za broj dana sa snijegom i za maksimalnu visinu snijega na meteorološkoj postaji Baške Oštarije (S – nagib pravca; Z – rezultat statističkoga testa; p – granica signifikantnosti $< 0,05$)

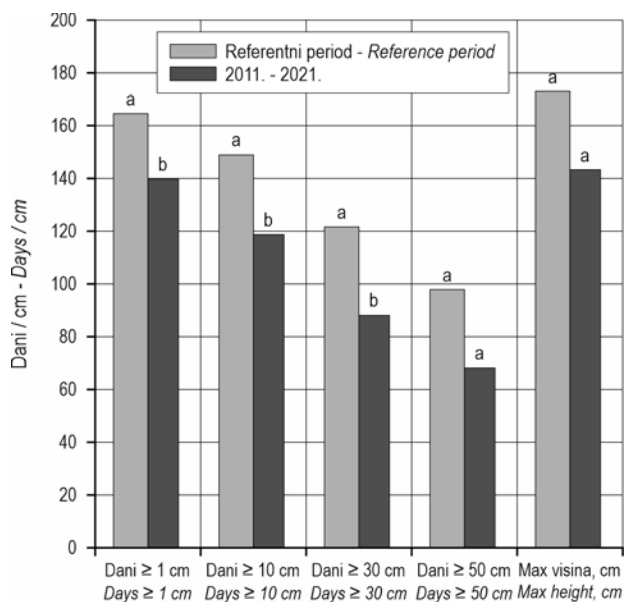
Table 3 Results of Mann-Kendall trend test for number of days with snow and maximum snow depth for Baške Oštarije meteorological station (S – slope of direction; Z – score of statistical test; p – limit of significance < 0.05)

Dani, visina snijega Days-snow depth	S	Z	p
≥ 1 cm	-41	-1,298	0,194
≥ 10 cm	-2	-0,032	0,974
≥ 30 cm	25	0,779	0,435
≥ 50 cm	17	0,532	0,594
maks., cm	38	1,201	0,229

Na meteorološkoj postaji Baške Oštarije nije ustanovljen statistički značajan trend broja dana sa snijegom i trend maksimalne visine snijega (tablica 3). Broj dana sa snijegom ≥ 30 cm i ≥ 50 cm pokazuje trend povećanja, ali on nije statistički značajan ($p = 0,594$ i $p = 0,229$). Za neke regije povećanje oborine može dovesti do povećanja količine snijega tijekom zime, a time i do većih opterećenja snijegom čak i u toplijoj klimi (Ivanov i dr. 2022).

Broj dana sa snijegom povezan je s reljefnim čimbenicima kao što su nadmorska visina, ekspozicija terena i njegova osunčanost. Neka istraživanja (Lopez-Moreno i dr. 2011, Raisanen i Eklund 2012) pokazuju da se u nekim područjima svijeta, pa čak i u Europi očekuje povećanje snježne oborine.

Na slici 8 prikazan je odnos broja dana sa snijegom referentnoga niza 1981–2010. u odnosu na recentni vremenski niz 2011–2021. Prosječan broj dana sa snijegom ≥ 1 cm referentnoga niza iznosio je 164,60, a u vremenskom nizu 2011–2021. iznosio je 139,81 dan. Ta je razlika bila statistički značajna ($Z = 2,69$, $p = 0,005$). Broj dana sa snijegom ≥ 10 cm referentnoga niza 1981–2010. iznosio je 149,00 dana i bio je značajno veći od prosječnoga broja dana u recentnom nizu 2011–2021. u kojem je iznosio 118,72 dana ($Z = 2,44$, $p = 0,012$). Prosječan broj dana sa snijegom ≥ 30 cm u referentnom je nizu iznosio 121,62 dana, što je bilo značajno više od recentnoga niza, od 88,18 dana ($Z = 2,08$, $p = 0,003$).



Slika 8. Usporedba srednjih vrijednosti broja dana sa snijegom i maksimalne dnevne visine snijega (cm) u odnosu na referentni niz za meteorološku postaju Zavižan. Stupci označeni različitim slovom unutar kategorije broja dana sa snijegom značajno se razlikuju ($p < 0,05$).

Fig. 8 Comparison of mean values of number of days with snow and maximum daily snow depth (cm) in relation to reference series for meteorological station Zavižan. Columns marked with a different letter within number of days with snow category are significantly different ($p < 0.05$).

Tikvić i dr. (2008) ustanovili su značajan trend povećanja temperature zraka na meteorološkim postajama Zavižan i Gospić. Smatramo da je to i razlog značajnomu smanjenju broja dana sa snijegom (≥ 1 cm, ≥ 10 cm, ≥ 30 cm) na Zavižanu (slika 8). U dvadesetom stoljeću pokazalo se da je trajanje snijega na srednjoj i niskoj nadmorskoj visini vrlo osjetljivo na porast temperature zraka (Croce i dr. 2018).

S druge strane, povećanje temperature smanjit će udio oborine koja pada u obliku snijega i povećati topljenje snijega. Hoće li se količina snijega na tlu stvarno smanjiti ili povećati ovisi o ravnoteži između tih konkurentskih čimbenika (Raisanen 2008).

Na Zavižanu je referentna konstanta broja dana sa snijegom ≥ 1 cm iznosila 215,0 (tablica 4), što je značajno više u odnosu na prosjek vremenskoga niza 1981–2021. u iznosu od 157,95 dana ($t = -14,33$, $p = 0,000$). Maksimalna dnevna visina snijega imala je referentnu konstantu od 220,0 cm te je bila značajno veća u usporedbi sa 165,04 cm u vremenskom nizu 1981–2021. godine ($t = -4,92$, $p = 0,000$).

Tablica 4. Usporedba broja dana sa snijegom (≥ 1 cm) i maksimalne visine snijega (cm) u odnosu na referentnu konstantu 1948–1969.

Table 4 Comparison of number of days with snow (≥ 1 cm) and maximum snow depth (cm) in relation to reference constant in 1948–1969

Varijable Variables	Meteorološke postaje – Meteorological stations					
	Zavižan			Oltari		
	1981–2021.	R. K.	p	1991–2021.	R. K.	p
D	157,95	215,0	0,000	90,96	172,5	0,000
M. V.	165,04	220,0	0,000	60,09	156,5	0,000

D – Dani sa snijegom – Days with snow (≥ 1 cm),

R. K. – Referentna konstanta za razdoblje 1948–1969. – Reference constant for the period 1948–1969.

M.V. – Maksimalna visina snijega – Maximum snow depth (cm)

U gorskom vegetacijskom pojasu na meteorološkoj postaji Oltari referentna konstanta broja dana sa snijegom ≥ 1 cm iznosila je 172,5 i bila je značajno veća od 90,96 dana recentnoga niza 1991–2021. ($t = -14,05$, $p = 0,000$). Maksimalna visina snijega imala je referentnu konstantu od 156,5 cm, što je bilo značajno više od 60,09 cm recentne maksimalne visine snijega ($t = -18,33$, $p = 0,000$).

Kada se snježni pokrivač smanji, albedo se smanjuje i površina Zemlje se zagrijava (Thiebault i Young 2020). Klimatske projekcije pokazuju da će se u budućnosti snježni pokrivač nastaviti smanjivati (Brown i Robinson 2011) dovodeći do više temperature zraka (Chen i dr. 2016). Prema istraživanju Tikvića i dr. (2008) meteorološke postaje Zavižan i Gospić imale su statistički značajan trend povećanja temperature zraka, što je i uzrokom manjega broja dana sa snijegom u Lici i na Velebitu.

Snježni je pokrivač najosjetljiviji na promjene temperature i oborine pa se smatra dobrim pokazateljem klimatskih promjena. Europski snježni pokrivač ponajprije je određen temperaturom zraka. Utjecaj oborine na snježni pokrivač manje je očigledan uglavnom zato što je omjer snježne oborine/kiše snažno kontroliran temperaturom zraka (Feng i Hu 2007).

Za sljedeća desetljeća predviđa se daljnji porast temperature zraka. Prema istraživanjima Solomon i dr. (2007) temperatura će rasti brže zimi nego u preostalim godišnjim dobima, osobito u dalekoj budućnosti (2071–2100), i to do više od 1 °C (Piniewski i dr. 2017).

Maksimalna visina snijega na području istraživanja nije imala značajan trend, a za meteorološku postaju Zavižan u usporedbi s referentnim nizom nisu uočene značajne promjene. Međutim, u uspo-

redbi s referentnom konstantom maksimalne visine snijega iz razdoblja 1948–1969. uočeno je statistički značajno smanjenje (tablica 5). Neke projekcije prema različitim scenarijima sugeriraju smanjenje maksimalne visine snijega za približno od 15 % do 20 % u razdoblju 2021–2050. Smanjenje će se udvostručiti do razdoblja 2071–2100. i može doseći do 40 % prema nekim scenarijima (Mezghani i dr. 2017).

4. Zaključci – Conclusions

Na Velebitu se povećanjem nadmorske visine povećavao i broj dana sa snijegom te dnevna maksimalna visina snijega. Broj dana sa snijegom i dnevna maksimalna visina snijega bili su veći u pretplaninskom vegetacijskom pojasu. Prosječan broj dana sa snijegom (≥ 1 cm) u gorskom vegetacijskom pojasu iznosio je 66, s rasponom od minimalno 17 dana do maksimalno 141 dan. Prosječan broj dana u pretplaninskom vegetacijskom pojasu iznosio je 158, a raspon je bio od minimalnih 100 dana do maksimalnih 210 dana. Maksimalna visina snijega u gorskom pojasu bila je prosječno 60,09 cm, dok je u pretplaninskom pojasu bila 165,04 cm. Na meteorološkoj postaji Zavižan (pretplaninski vegetacijski pojas) zabilježen je statistički značajan trend smanjivanja broja dana sa snijegom ≥ 1 cm, ≥ 10 cm i ≥ 30 cm. Za meteorološku postaju Oltari (gorski vegetacijski pojas) postojao je statistički značajan trend smanjivanja broja dana sa snijegom ≥ 1 cm, dok trend ostalih analiziranih varijabli vezanih uz snijeg nisu bili statistički značajni. Također na meteorološkoj postaji Baške Oštarije nije utvrđen statistički značajan trend broja dana sa snijegom i maksimalne visine snijega. Na Zavižanu je utvrđen značajno manji broj dana sa snijegom ≥ 1 cm, ≥ 10 cm i ≥ 30 cm recentnoga vremenskoga niza 2011–2021. u odnosu na prosjek višegodišnjega niza, odnosno referentnoga niza 1981–2010. Broj dana sa snijegom ≥ 50 cm i maksimalna visina snijega bili su manji u odnosu na prosjek višegodišnjega niza (referentni niz), ali te razlike nisu bile statistički značajne. Međutim, za meteorološke postaje Zavižan i Oltari broj dana sa snijegom ≥ 1 cm i maksimalna visina snijega recentnoga niza bili su značajno niži u odnosu na referente konstante iz razdoblja 1948–1969. godine.

Prema rezultatima istraživanje promjene u broju dana sa snijegom i u maksimalnoj visini snijega nastupile su u obadva vegetacijska pojasa s tim da su promjene trenda broja dana sa snijegom i trenda maksimalne visine snijega izraženije na Zavižanu. Ipak i s ovim zaključkom treba biti oprezan, jer analizirani vremenski nizovi nisu bili u potpunosti jednaki za sve tri meteorološke postaje.

Zahvala – Acknowledgement

Ovaj je rad dio istraživanja završnoga rada studenta Karlo Roksa, obranjen pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Ugarković.

5. Literatura – References

- Bertović, S., 1975: Acta Biologica VII/2. Prilog poznavanju odnosa klime i vegetacije u Hrvatskoj. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 215 str.
- Brown, R., D. Robinson, 2011: Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty. *Cryosphere*, 5(1): 219–229. <https://doi.org/10.5194/tc-5-219-2011>
- Chen, X., S. Liang, Y. Cao, 2016: Satellite observed changes in the Northern Hemisphere snow cover phenology and the associated radiative forcing and feedback between 1982 and 2013. *Environmental Research Letters*, 11(8): 084002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084002>
- Choi, G., D. A. Robinson, S. Kang, 2010: Changing Northern Hemisphere snow seasons. *Journal of Climate*, 23(19): 5305–5310. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3644.1>
- Croce, P., P. Formichi, F. Landi, P. Mercogliano, E. Bucchi-gnani, A. Dosio, S. Dimova, 2018: The snow load in Europe and the climate change. *Climate Risk Management*, 20: 138–154. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.03.001>
- Feng, S., Q. Hu, 2007: Changes in winter snowfall/precipitation ratio in the contiguous United States. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(D15): 1–12. <https://doi.org/10.1029/2007JD008397>
- Fontrudona Bach, A., G. van der Schrier, L. A. Melsen, A. M. G. Klein Tank, A. J. Teuling, 2018: Widespread and accelerated decrease of observed mean and extreme snow depth over Europe. *Geophysical Research Letters*, 45(22): 312–319. <https://doi.org/10.1029/2018GL079799>
- Frei, A., M. Tedesco, S. Lee, J. Foster, D. K. Hall, R. Kelly, D. A. Robinson, 2012: A review of global satellite-derived snow products. *Advances in Space Research*, 50(8): 1007–1029. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.12.021>
- Gajić-Čapka, M., 2011: Snow climate baseline conditions and trends in Croatia relevant to winter tourism. *Theoretical and applied climatology*, 105: 181–191. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0385-5>
- Gilbert, R.O., 1987: *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, Wiley, NY, 336 str.
- Gračanin, M., Lj. Ilijanić, 1977: *Uvod u ekologiju bilja*. Školska knjiga, Zagreb, 166 str.
- Hammer, Ø., D. A. T. Harper, P. D. Ryan, 2001: PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1–9.
- Ivanov, O. L., L. Barring, R. A. I. Wilcke, 2022: Climate change impact on snow loads in northern Europe. *Struc-tural Safety*, 97, 102231: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2022.102231>
- Kendall, M. G., 1975: *Rank Correlation Methods*, 4th edition, Charles Griffin, London.
- Lopez-Moreno, J. I., S. Goyette, S. M. Vicente-Serrnao, M. Beninston, 2011: Effects of climate change on the intensity and frequency of heavy snowfall events in the Pyrenees. *Climatic Change*, 105: 489–508. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9889-3>
- Mann, H. B., 1945: Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3): 245–259.
- Marty, C., 2013: Climate change and snow cover in the European alps. In: *The Impacts of Skiing on Mountain Environments*, Ronaldo, A., Rixen, C., Eds., Bentham Science Publishers, 30–44. <https://doi.org/10.2174/9781608054886.113010005>
- Mezghani, A., K. M. Parding, A. Dobler, R. E. Benestad, J. E. Haugen, M. Piniewski, 2017: Projekcije zmiana temperatura, opadów i pokrywy śnieżnej. In: *Zmiany Klimatu i Ich Wpływ na Wybrane Sektory w Polsce*; Kundzewicz, Z., Hov, Ø., Okruszko, T., Eds.; ISRL PAN Poznań, Poznań, Poland.
- Musselman, K. N., N. Addor, J. A. Vano, N. P. Molotch, 2021: Winter melt trends portend widespread declines in snow water resources. *Natural Climate Change*, 11: 418–424. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01014-9>
- Notarnicola, C., 2020: Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018. *Remote Sensing of Environment*, 243: 111781. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111781>
- Pandžić, K., T. Likso, T. Trošić Lesar, 2020: *Praćenje i ocjena klime u 2019. godini*. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 59 str.
- Penzar, I., B. Penzar, 2000: *Agrometeorologija*. Školska knjiga, Zagreb, 222 str.
- Piniewski, M., A. Mezghani, M. Szcześniak, Z. W. Kundzewicz, 2017: Regional projections of temperature and precipitation changes: Robustness and uncertainty aspects. *Meteorologische Zeitschrift*, 26(2): 223–234. <https://doi.org/10.1127/metz/2017/0813>
- Raisanen, J., J. Eklund, 2012: 21st Century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. *Climate Dynamics*, 38: 2575–2591. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1076-3>
- Solomon, S., M. D. Qin, Z. Manning, M. Chen, K. B. Marquis, M. T. Averyt, H. L. Miller, 2007: *Climate Change: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 str.
- Sun, Y., T. Zhang, Y. Liu, W. Zhao, X. Huang 2020: Assessing snow phenology over the large part of eurasia using

satellite observations from 2000 to 2016. *Remote Sensing*, 12(12): 2060. <https://doi.org/10.3390/rs12122060>

Szyga-Pluta, K., 2022: Changes in snow cover occurrence and the atmospheric circulation impact in Poznań. *Theoretical and Applied Climatology*, 147: 925–940. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03875-8>

Šegota, T., 1988: *Klimatologija za geografe. II. prerađeno izdanje*. Školska knjiga, Zagreb, 486 str.

TIBCO Software Inc. 2018: *Statistica (data analysis software system)*, version 13. <http://tibco.com>

Thiebault, K., S. Young, 2020: Snow cover change and its relationship with land surface temperature and vegetation in northeastern North America from 2000 to 2017. *International Journal of Remote Sensing*, 41(21): 8453–8474. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1779379>

Tikvić, I. Z. Seletković, D. Ugarković, S. Posavec, Ž. Španjol, 2008: Dieback of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) on Northern Velebit (Croatia). *Periodicum Biologorum*, 110(2): 137–143.

Vajda, Z., 1974: *Nauka o zaštiti šuma*. Školska knjiga, Zagreb, 482 str.

Vukelić, J., Đ. Rauš, 1998: *Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj*. Šumarski fakultet, Zagreb, 310 str.

Vukelić, J., 2012: *Šumska vegetacija Hrvatske*. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet – Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 403 str.

Young, S.S., 2023: Global and Regional Snow Cover Decline: 2000–2022. *Climate*, 11(8): 162. <https://doi.org/10.3390/cli11080162>

Abstract

Change in Snow Conditions of Mountain and Pre-Mountain Vegetation Belt of Velebit

The amount of snowfall changes over a certain period of time. Climate change also affects snow conditions through an increase in air temperature. The goal of this research was to analyze the trend of the number of days with snow and the maximum snow depth and compare the average number of days and the maximum snow depth with the multi-year average 1981–2010 and with previous climate description data. The research was conducted at two meteorological stations (Baške Oštarije and Oltari) in the mountain vegetation zone and at the Zavižan meteorological station in the foothill vegetation zone. Data on the number of days with snow and the maximum snow depth were analyzed for a multi-year period. Trend analysis was done with the Mann-Kendall trend test. The T-test was used to compare the number of days with snow and the maximum snow depth with the multi-year average (reference series) and climate description data of the vegetation zones from 1948–1960. The average number of days with snow (≥ 1 cm) was 66 days in the mountain vegetation zone at the Baške Oštarije meteorological station, 91 days at the Oltari meteorological station, and 158 days in the pre-mountain vegetation zone at the Zavižan meteorological station. The maximum snow depth in the mountain zone was on average 60.09 cm, or 78.25 cm, while in the foothill zone it was 165.04 cm. For the weather station Oltari, the mountain vegetation belt, there is a statistically significant decreasing trend in the number of days with snow ≥ 1 cm. In the area of Zavižan, that is, in the pre-mountain vegetation zone, a statistically significant decreasing trend in the number of days with snow ≥ 1 cm, ≥ 10 cm and ≥ 30 cm in height was established. In Zavižan, the recent average number of days with snow from ≥ 1 cm to ≥ 30 cm was significantly lower compared to the multi-year average of 1981–2010. According to the results of the individual T test, the number of days with snow (> 1 cm) and the maximum snow height (cm) are significantly lower in both vegetation zones compared to the period 1948–1960.

Keywords: snow, climate change, mountain and pre-mountain vegetation belt

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Prof. dr. sc. Damir Ugarković*
e-pošta: dugarkovic@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Ivica Tikvić
e-pošta: ivicatikvic1@gmail.com
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska cesta 23
10000 Zagreb
HRVATSKA
Karlo Roksa, univ. bacc. ing. silv.
Gora 97
44250 Petrinja
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 11. 10. 2023.
Prihvaćeno (*Accepted*): 31. 10. 2023.

*Glavni autor – *Corresponding author*