



Trendovi i promjene nekih klimatskih elemenata i indeksa u dijelu Like i Velebita

Damir Ugarković, Magdalena Žubrinić, Dejan Marjanović, Ivana Medved

Nacrtač – Abstract

Klima je najvažniji stanišni čimbenik o čijim je uvjetima ovisan biljni svijet. Šumska vegetacija na Velebitu prilagođena je određenim klimatskim uvjetima, ali se oni s vremenom mijenjaju, što se zatim odražava na sve članove šumskoga ekosustava. Cilj je istraživanja bio analizirati trendove klimatskih elemenata i indeksa te njihovo odstupanje od referentnoga vremenskoga niza u dijelu Like i Velebita. Srednja godišnja temperatura zraka i iznos potencijalne evapotranspiracije za razdoblje 2011–2023. statistički su značajno porasli u odnosu na referentni niz. Povećanje temperature zraka iznosilo je od 1,0 do 1,4 °C, dok je povećanje potencijalne evapotranspiracije iznosilo od 26,4 mm do 42,9 mm. Promjene količine oborine i indeksa anomalije oborine nisu bile statistički značajne. Za meteorološke postaje Gospić i Gračac u brdskom vegetacijskom pojasu broj ljetnih mjeseci s manjkom vode u tlu povećao se s jednoga (kolovoz) na dva mjeseca (srpanj i kolovoz). Na Zavižanu u pretplaninskom vegetacijskom pojasu povećao se broj mjeseci sa sušicom za jedan mjesec (srpanj).

Ključne riječi: promjena klime, Lika, Velebit, obična bukva, obična jela, obična smreka

1. Uvod – Introduction

Klima je kompleksan neposredan ekološki čimbenik koji opisujemo pomoću različitih klimatskih elemenata, indeksa i pojava. Klima i tlo su dva najznačajnija stanišna čimbenika koja utječu na razvoj vegetacije i njezinu prirodnu rasprostranjenost. Od klimatskih elemenata za šumsku vegetaciju najvažnije su temperatura zraka, količina oborine, insolacija, vlaga zraka i vjetar (Tikvić i Ugarković 2021). Šumska vegetacija na Dinaridima u Hrvatskoj prilagođena je klimatskim uvjetima na tom području. Klimatski se elementi mijenjaju s vremenom, a promjena se klime odražava na organizme u ekosustavu. Kirigin (1975) smatra da treba razlikovati promjenu klime od kolebanja klime. Pod pojmom promjena klime razumijeva se ona promjena koja se odvija u jednom smjeru. Nasuprot tomu, pod kolebanjem se klime razumijeva ritmičko osciliranje oko jedne srednje vrijednosti pri čemu mogu nastupiti veće ili manje amplitude. Pri određivanju promjene klime dolazi do izražaja vremenski čimbenik, jer se neka promjena u jednom pravcu za određeno razdoblje može, uz produženje niza motrenja,

pokazati kao dio kolebanja klime. Stoga je korisno da se promjena klime i kolebanje klime obuhvate zajedničkim nazivom kao promjena klime (Kirigin 1975), koji ćemo upotrebljavati u ovom radu. Promjena klime najopćenitiji je naziv kojim se obuhvaćaju svi mogući oblici nepostojanosti klime bez obzira na njihovu statističku prirodu ili fizičke uvjete (Šegota i Filipčić 1996).

Trend smanjenja količine oborine i povećanja temperature zraka već je zamijećen u Hrvatskoj tijekom 20. stoljeća (Gajić-Čapka i Cindrić 2011, Zaninović i Gajić-Čapka 1995), pa tako i u dinarskoj Hrvatskoj u Gorskom kotaru (Weber i dr. 1997, Ugarković i Tikvić 2011).

Povećanje srednje godišnje temperature, koje je u Hrvatskoj iznosilo od +0,02 °C do +0,07 °C svakih deset godina (Zaninović i Gajić-Čapka 1995), nastavilo se pojačano s početkom 21. stoljeća.

Pretpostavlja se da će u Hrvatskoj biti još sušiji uvjeti i veća temperatura, što razumijeva smanjenje vlažnosti tla i povećanje evapotranspiracije, a u konačnici može uzrokovati stres šumskoga drveća (Eamus i dr. 2013, Ruehr i dr. 2016). Šume osim svoje

gospodarske funkcije pružaju i različite općekorisne funkcije. Klimatske promjene mogu ugroziti usluge i funkcije šumskih ekosustava (Bredemeier 2011). Kao jedna od posljedica klimatskih promjena, suša znatno utječe na šumske ekosustave i uzrokuje štete (Zierl 2004, IPCC 2013, Diaci i dr. 2017). Klimatski ekstremi zabilježeni u zadnjem desetljeću u nizinskoj, ali i u dinarskoj Hrvatskoj sušne su godine, vlažne godine, gradacija štetnika, ledena kiša te događaji s orkanskom brzinom vjetra (Đuka i dr. 2025).

Glavne su vrste šumskoga drveća na Velebitu obična bukva, vrsta široke ekološke valencije (Seletković i dr. 2003), i obična jela, vrsta uske ekološke valencije (Prpić i Seletković 2001). Zbog sve većega zatopljenja i suših uvjeta u Dinaridima se očekuju promjene u ekološkoj niši obične jele (Anić i dr. 2009, Begović i dr. 2020), pri čemu se predviđa pomak u distribuciji obične jele prema višoj nadmorskoj visini (Anić i dr. 2009, Klopčič i dr. 2017).

Ciljevi su istraživanja bili analizirati trend nekih klimatskih elemenata i indeksa suše od 1981. do 2023. godine te usporediti vrijednosti od 2011. do 2023. godine s referentnim vremenskim nizom 1981–2010.

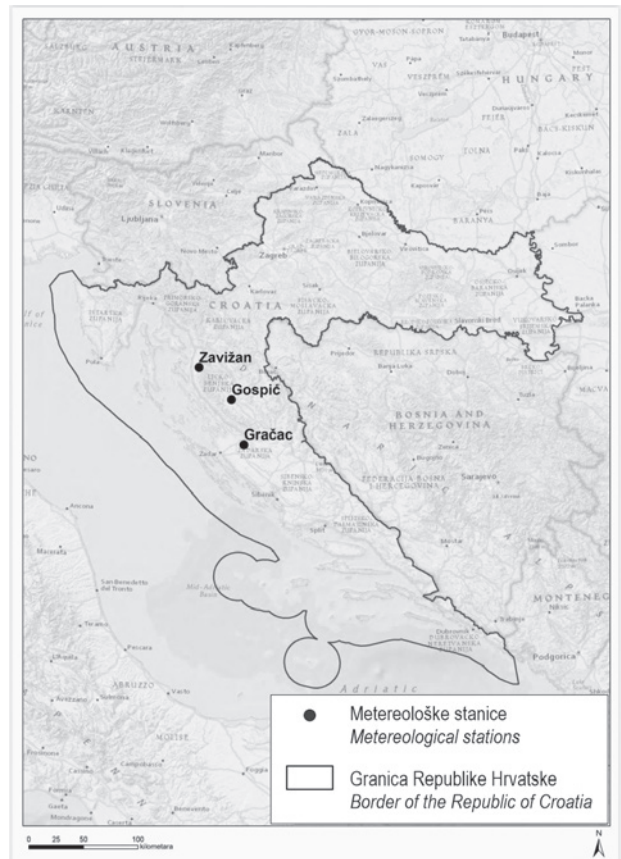
2. Materijal i metoda rada – *Materials and working method*

Za meteorološke postaje Gospić, Gračac i Zavižan prikupljeni su podaci o srednjoj mjesečnoj i srednjoj godišnjoj temperaturi zraka (°C) te mjesečnoj i godišnjoj količini oborine (mm) za razdoblje od 1981. do 2023. godine (tablica 1).

Tablica 1. Meteorološke postaje na području istraživanja

Table 1 Meteorological stations in the research area

Postaja Station	Koordinate Coordinates		Nadmorska visina, m Altitude, m	Vegetacijski pojas Vegetation belt
	Lat:	Lon:		
Gospić	44,55	15,36	564	Brdski Mountain
Gračac	44,18	15,51	560	
Zavižan	44,81	14,98	1594	Pretplaninski Pre-mountainous



Slika 1. Položaj meteoroloških postaja

Fig. 1 Location of meteorological stations

Meteorološke postaje Gospić (564 m n. v.) i Gračac (560 m n. v.) nalaze se na granici brdskoga i gorskoga vegetacijskoga pojasa, dok se meteorološka postaja Zavižan (1594 m n. v.) nalazi u pretplaninskom vegetacijskom pojasu (tablica 1). Potencijalna evapotranspiracija (PET) i vodna bilanca tla izračunati su prema Thornthwaiteovoj metodi (1948).

Indeks anomalije oborine (RAI) izračunat je prema jednadžbi (Gibbs i dr. 1967):

$$RAI = \pm 3 = \frac{P - p}{E - p} \quad (1)$$

gdje su:

P ukupna godišnja količina oborine (mm)

p srednja količina oborine određenoga razdoblja (mm)

E srednja vrijednost od 10 najvećih odnosno 10 najmanjih iznosa količine oborine u promatranom razdoblju (mm).

Usporedba klimatskih elemenata i indeksa u razdoblju 2011–2023. s referentnim nizom 1981–2010.

(Pandžić i dr. 2020) napravljena je između meteoroloških postaja *t*-testom nezavisnih varijabli (Student 1908, Moore i dr. 2016). Trend klimatskih elemenata i indeksa testirani su Mann–Kendallovim testom trenda (Mann 1945, Kendall 1975). Klimatski su podaci analizirani u programu KlimaSoft SE 1.0.6. (<https://github.com/mfrntic/klimasoft>). Statistička je obrada podataka napravljena u programima Statistica 13 (TIBCO Software Inc. 2018) i u programu Past3 (Hammer i dr. 2001) s razinom slučajnosti $p \leq 0,05$.

3. Rezultati istraživanja s raspravom *Research results with discussion*

Deskriptivna statistika temperature zraka, količine oborine, potencijalne evapotranspiracije i indeksa anomalije oborine prikazana je u tablici 2. Navedene su srednje godišnje vrijednosti te minimalne i maksimalne vrijednosti u razdoblju od 1981. do 2023. godine.

Tablica 2. Deskriptivna statistika klimatskih elemenata i indeksa za meteorološke postaje Gospić, Gračac i Zavižan (1981–2023)

Table 2 Descriptive statistics of climate elements and indices for meteorological stations Gospić, Gračac and Zavižan, time period from 1981 to 2023

Postaja Station	T, °C	P, mm	PET, mm	RAI
	srednja vrijednost – mean (minimum – maksimum) – (minimum – maximum)			
Gospić	9,6 (8,1–11,5)	1370,5 (683,3–1866,3)	637,7 (581,2–686,9)	0 (-7,1 – +4,9)
Gračac	9,9 (8,7–11,4)	1839,5 (1148,0–2709,5)	644,1 (570,6–688,5)	0 (-5,3 – +6,4)
Zavižan	4,2 (2,6–5,3)	1975,8 (1302,1–2628,9)	473,6 (427,9–515,0)	0 (-4,9 – +4,9)

T – srednja godišnja temperatura zraka, P – godišnja količina oborine, PET – potencijalna evapotranspiracija, RAI – indeks anomalije oborine

T – mean annual air temperature, P – annual precipitation, PET – potential evapotranspiration, RAI – rain anomaly index

Srednja godišnja temperatura zraka bila je u rasponu od 2,6 °C (Zavižan) do 11,5 °C (Gospić). Najmanja godišnja količina oborine izmjerena je na meteorološkoj postaji Gospić u iznosu od 683,3 mm, a najveća na postaji Gračac (2709,5 mm). Potencijalna evapotranspiracija bila je najniža na meteorološkoj postaji Zavižan (427,9 mm), a najveći je iznos bio 688,5 mm na postaji Gračac. Indeks anomalije oborine (RAI) na sve tri je postaje u prosjeku bio 0, što je klasifikacija »normalno«. Međutim u ekstremno sušnim godinama indeksi anomalije oborine bili su od –4,9 na Zavižanu do –7,1 u Gospiću.

Rezultati Mann–Kendalloveg testa trenda za temperaturu zraka (°C) i količinu oborine (mm) prikazani su u tablici 3. Zabilježene su statistički značajne promjene povećanja temperature zraka (°C) na meteorološkim postajama Gospić, Gračac i Zavižan. Ti su rezultati u skladu s rezultatima Ugarkovića i Tikvića (2011) iz Gorskoga kotara. Prema rezultatima u tablici 3 trend godišnje količine oborine nije bio statistički značajan. Dobiveni su rezultati kontradiktorni rezultatima trenda godišnje količine oborine u Gorskom kotaru (Ugarković i Tikvić 2011), ali i rezultatima koje iznose Gajić-Čapka i Cindrić (2011) za meteorološku postaju Gospić. Prema tim rezultatima istraživanja trend je godišnje količine oborine u porastu, dok je prema rezultatima koje su dobili Ugarković i Tikvić (2011) te Gajić-Čapka i Cindrić (2011) trend godišnje količine oborine bio u snižavanju.

Tablica 3. Trend srednje godišnje temperature zraka i godišnje količine oborine za meteorološke postaje Gospić, Gračac i Zavižan (1981–2023)

Table 3 Trend of mean annual air temperature and annual precipitation for meteorological stations Gospić, Gračac and Zavižan, time period from 1981 to 2023

Postaja Station	Jednadžba trenda Trend equation	S	Z	<i>p</i> -vrijednost <i>p</i> -value
	Srednja godišnja temperatura zraka, °C Mean annual air temperature, °C			
Gospić	$Y = 0,0633x + 8,16$	604	6,31	0,0001
Gračac	$Y = 0,0447x + 9,07$	353	4,61	0,0001
Zavižan	$Y = 0,0351x + 3,50$	353	3,96	0,0001
Godišnja količina oborine, mm Annual precipitation, mm				
Gospić	$Y = 3,083x + 1302,7$	123	1,27	0,2016
Gračac	$Y = 3,91x + 1765,3$	46	0,58	0,5561
Zavižan	$Y = 1,7469x + 1939,1$	8	0,0786	0,9373

Prema izvješću koje donosi IPCC (2013) u budućnosti će se ekstremni vremenski uvjeti i događaji povećati po svojoj pojavnosti i intenzitetu, s visokom temperaturom i ljetnom sušom u cijeloj Europi.

Trend godišnje količine oborine u Hrvatskoj (Gajić-Čapka i Cindrić 2011) pokazuje silaznu putanju od početka 20. stoljeća u cijeloj Hrvatskoj, što nije u suglasju s rezultatima za meteorološke postaje Gospić, Gračac i Zavižan za razdoblje od kraja 20. stoljeća i početka 21. stoljeća, koji pokazuju povećanje godišnje količine oborine. S obzirom na to da temperatura zraka i potencijalna evapotranspiracija značajno rastu na razini 99 % značajnosti (tablice 3 i 4), zasigurno će biti manje vode na raspolaganju članovima ekosustava.

Tablica 4. Trend godišnje potencijalne evapotranspiracije i indeksa anomalije oborine za meteorološke postaje Gospić, Gračac i Zavižan (1981–2023)

Table 4 Trend of annual potential evapotranspiration and precipitation anomaly index for meteorological stations Gospić, Gračac and Zavižan, time period from 1981 to 2023

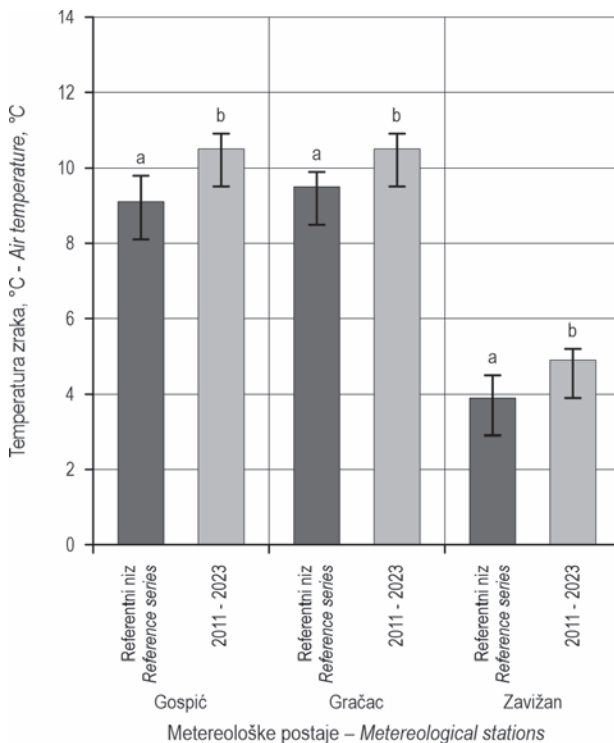
Postaja Station	Jednadžba trenda Trend equation	S	Z	p-vrijednost p-value
	Potencijalna evapotranspiracija, mm Potential evapotranspiration, mm			
Gospić	$Y = 1,9481x + 594,86$	571	5,96	0,0001
Gračac	$Y = 1,4706x + 616,14$	336	4,38	0,0001
Zavižan	$Y = 0,9632x + 453,36$	328	3,67	0,0002
Indeks anomalije oborine (RAI) – Rain anomaly index (RAI)				
Gospić	$Y = 0,0311x - 0,72$	121	1,25	0,2091
Gračac	$Y = 0,0288x - 0,58$	45	0,57	0,5648
Zavižan	$Y = 0,0129x - 0,25$	7	0,06	0,9462

Obična jela (*Abies alba* Mill.) glavna je gorska i subalpska četinjača široko rasprostranjena po Europi, gdje tvori produktivne šume vrlo bitne za očuvanje

biološke raznolikosti i za šumarski sektor (Mauri i dr. 2016, Caudullo i dr. 2017). Ona je jedna je od najcjenjenijih četinjača u Europi iz povijesnih i ekonomskih razloga. Očekuje se da će klimatske promjene smanjiti brojnost i rasprostranjenost obične jele, pogotovo ekstremni vremenski događaji poput oluja, suša, nedostatka oborine i povećanja prosječne temperature zraka (Dobrowolska i dr. 2017).

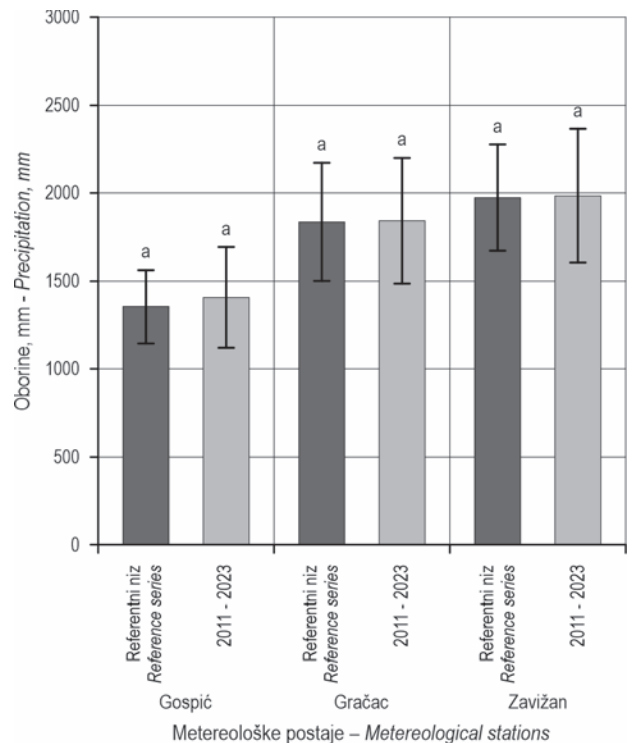
Jelova su stabla na nižoj nadmorskoj visini više izložena suši nego stabla na višoj nadmorskoj visini (Vitali i dr. 2017). Stoga se pretpostavlja da će gorski vegetacijski pojas na nadmorskoj visini od 700 do 900 m biti ugrožen pojavom sušnih razdoblja.

Optimalna je srednja godišnja temperatura zraka za razvoj obične jele oko 9 °C (CABI 2005), za razvoj obične bukve između 10 i 13 °C (Vitasse i dr. 2010), a za razvoj obične smreke ne više od 6 °C (Rybníček i dr. 2012). Srednja godišnja temperatura zraka na meteorološkoj postaji Gospić iznosi 9,6 °C, na postaji Gračac iznosi 9,9 °C, a na Zavižanu 4,2 °C (tablica 2). Prema rezultatima prikazanim na slici 2 srednja godišnja temperatura zraka značajno se povećala u



Slika 2. Usporedba srednjih vrijednosti srednje godišnje temperature zraka (°C). Stupci predstavljaju srednju vrijednost ± standardna devijacija, označeni različitim slovom znatno se razlikuju.

Fig. 2 Comparison of mean annual air temperature values (°C). Bars represent mean ± standard deviation; those marked with a different letter are significantly different.



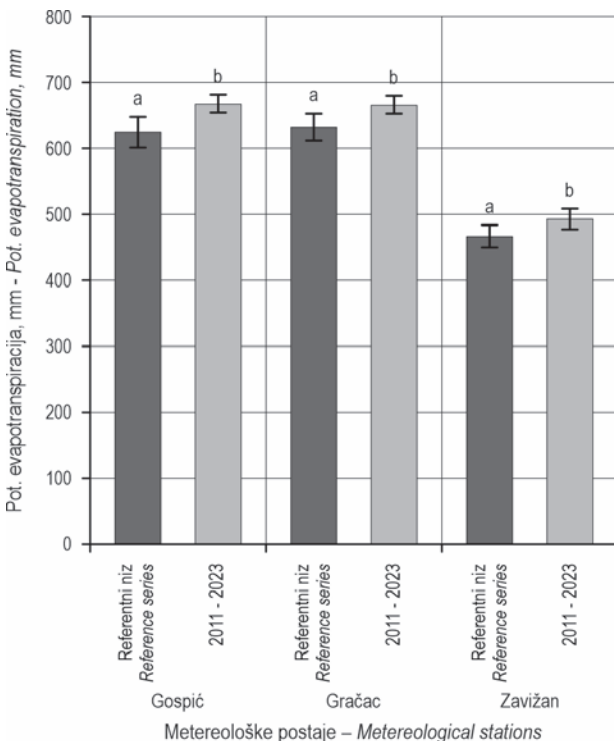
Slika 3. Usporedba srednjih vrijednosti godišnje količine oborine (mm). Stupci predstavljaju srednju vrijednost ± standardna devijacija, označeni različitim slovom znatno se razlikuju.

Fig. 3 Comparison of mean annual precipitation values (mm). Bars represent mean ± standard deviation; those marked with a different letter are significantly different.

razdoblju 2011–2023. u odnosu na referentni niz ($p < 0,05$). To je povećanje iznosilo $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ za Gračac i Zavižan te čak $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ za Gospić. Usporedbe radi, srednja godišnja temperatura zraka značajno je porasla i u Gorskot kotaru u odnosu na tadašnji referentni niz (Ugarković i Tikvić 2011).

Na slici 3 prikazani su rezultati usporedbe količine oborine u razdoblju 2011–2023. s referentnim nizom, kojim je utvrđeno povećanje količine oborine bez statistički značajnih razlika ($p > 0,05$). Ti su rezultati u suprotnosti s rezultatima Ugarkovića i Tikvića (2011) koji su zabilježili smanjenje godišnje količine oborine u odnosu na referentni niz u Gorskot kotaru, sa statistički značajnom razlikom za meteorološku postaju Lokve Brana.

Povećanje količine oborine (slika 3) ne znači da će organizmima u šumskom ekosustavu biti više vode na raspolaganju, jer je povećanje iznosa potencijalne evapotranspiracije statistički značajno čak na razni 99 % (tablica 4, slika 4), a potencijalna je evapotranspiracija prividni gubitak vode iz nekoga ekosustava u obliku transpiracije i evaporacije.



Slika 4. Usporedba srednjih vrijednosti godišnje potencijalne evapotranspiracije (mm). Stupci predstavljaju srednju vrijednost \pm standardna devijacija, označeni različitim slovom znatno se razlikuju.

Fig. 4 Comparison of mean values of annual potential evapotranspiration (mm). Bars represent mean \pm standard deviation; those marked with a different letter are significantly different.

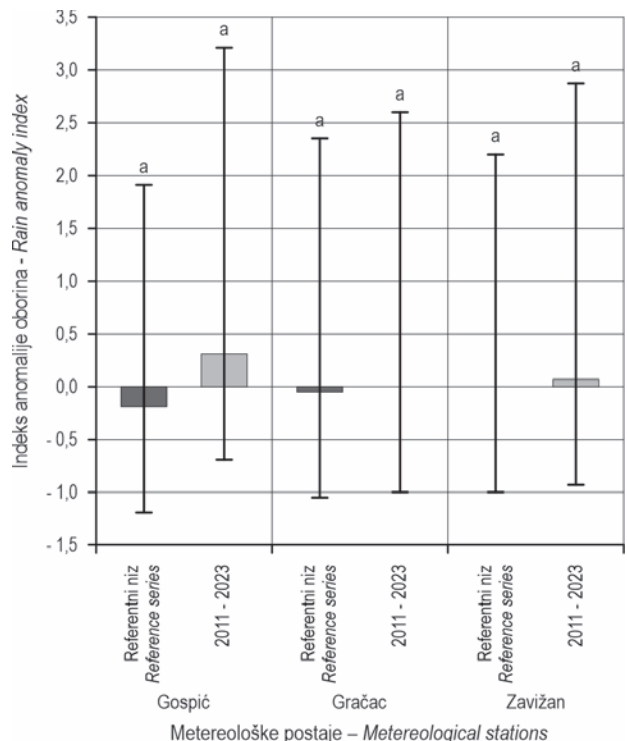
Minimalna je godišnja količina oborine za razvoj obične jele od 700 do 800 mm (Tinner i dr. 2013), dok je minimalna godišnja količina oborine za razvoj obične bukve oko 600 mm (Stjepanović i dr. 2018). Minimalna godišnja količina oborine za uspješan rast i razvoj obične smreke iznosi oko 800 mm (Rybniček i dr. 2012).

Godišnja količina oborine na meteorološkoj postaji Gospić iznosi 1370,5 mm, a u Gračacu iznosi 1839,5 mm godišnje, dok je na Zavižanu 1975,8 mm (tablica 2).

Prema Ondrašeku i dr. (2015) bilanca vode u nekom ekosustavu može se prikazati jednadžbom:

$$\text{bilanca vode} = \text{ulazni parametri (oborine, površinsko i podzemno pritjecanje)} - \text{izlazni parametri (evaporacija, transpiracija, otjecanje, infiltracija)}$$

Promjena trenda i iznosa neke od sastavnica te jednadžbe svakako će utjecati na bilancu vode u ekosustavu. Značajno povećanje iznosa evapotranspiracije uzrokovano je primarno značajnim pove-



Slika 5. Usporedba srednjih vrijednosti indeksa anomalije oborine (RAI). Stupci predstavljaju srednju vrijednost \pm standardna devijacija, označeni različitim slovom znatno se razlikuju.

Fig. 5 Comparison of mean values of the rain anomaly index (RAI). Bars represent mean \pm standard deviation, marked with a different letter are significantly different.

ćanjem temperature zraka (Ugarković i dr. 2024), sa značajanim negativnim utjecajem na bilancu vode u ekosustavu. Prema istraživanjima Ugarkovića i dr. (2021) oborina, temperatura zraka i potencijalna evapotranspiracija imaju značajan, ali indirektan utjecaj na mortalitet stabala obične jele.

Na slici 5 prikazane su promjene indeksa anomalije oborine (RAI) vremenskoga niza 2011–2023. u odnosu na referentni niz. Promjene indeksa anomalije oborine nisu bile statistički značajne. Za sve meteorološke postaje evidentirano je povećanje indeksa RAI prema pozitivnim vrijednostima, što znači prema vlažnijim i humidnijim uvjetima. To je zbog toga što je glavna ulazna varijabla za izračun indeksa RAI količina oborine (mm). Kako je trend količine oborine u porastu za sve tri meteorološke postaje, kao i povećanje količine oborine u odnosu na referentni vremenski niz, tako je i iznos indeksa RAI dobio pozitivne vrijednosti. Zato i nema značajnijih promjena u broju i postotku ekstremno sušnih godina u odnosu na referentni vremenski niz (tablica 5).

Indeks anomalije oborine (RAI) nije imao statistički značajan utjecaj na odumiranje stabala u zadnjem desetljeću na hrvatskim Dinaridima (Đuka i dr. 2025). Ipak, bitno je napomenuti da su sve tri glavne vrste drveća na Velebitu, obična jela, obična bukva i obična smreka, vrste koje su netolerantne na sušu (Prpić i Seletković 2001, Seletković i dr. 2003, Rybniček i dr. 2012)

Tablica 5. Broj i postotak ekstremno sušnih godina prema indeksu anomalije oborine (RAI > -3)

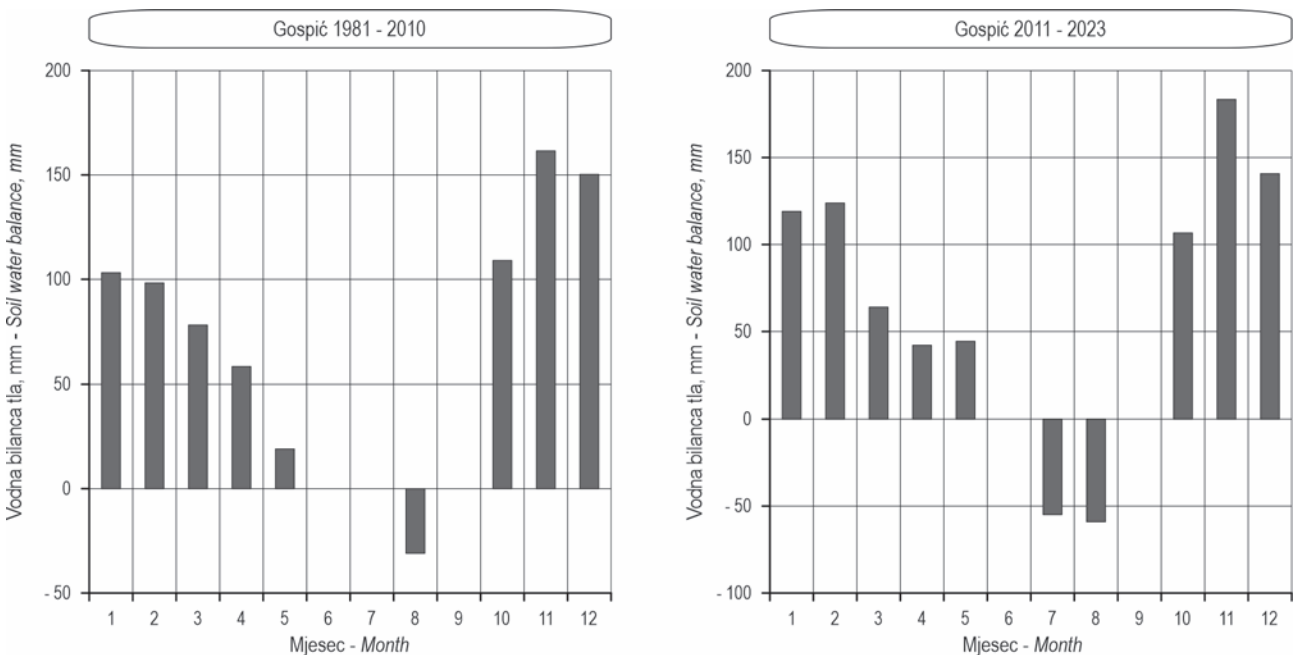
Table 5 Number and percentage of extremely dry years according to rain anomaly index (RAI > -3)

Postaja Station	Referentni niz – Reference series 1981–2010.		2011–2023.	
	N godina N years	%	N godina N years	%
Gospić	3	10	1	9
Gračac	4	17	2	18
Zavižan	3	10	1	9

Prema vrijednostima indeksa anomalije oborine (RAI) ekstremno sušne godine imaju vrijednost indeksa višu od -3 (Gibbs i dr. 1967). U tablici 5 prikazan je broj (N) i postotak ekstremno sušnih godina u referentnom vremenskom nizu od 2011. do 2023. godine.

Na meteorološkoj postaji Gospić najveći broj sušnih mjeseci u jednoj godini u referentnom nizu bila su dva sušna mjeseca, a u razdoblju 2011–2023. bila su tri sušna mjeseca. Za meteorološku postaju Gračac najveći broj sušnih mjeseci u godini za referentni niz iznosio je čak četiri sušna mjeseca, a u razdoblju 2011–2023. bila su najviše tri sušna mjeseca. Za meteorološku postaju Zavižan nismo uočili nikakve promjene u maksimalnom broju sušnih mjeseci u jednoj godini, s najviše dva sušna mjeseca u oba promatrana razdoblja.

Na slici 6 prikazane su promjene vodne bilance tla na meteorološkoj postaji Gospić u razdoblju



Slika 6. Usporedba vodne bilance tla (mm) na meteorološkoj postaji Gospić

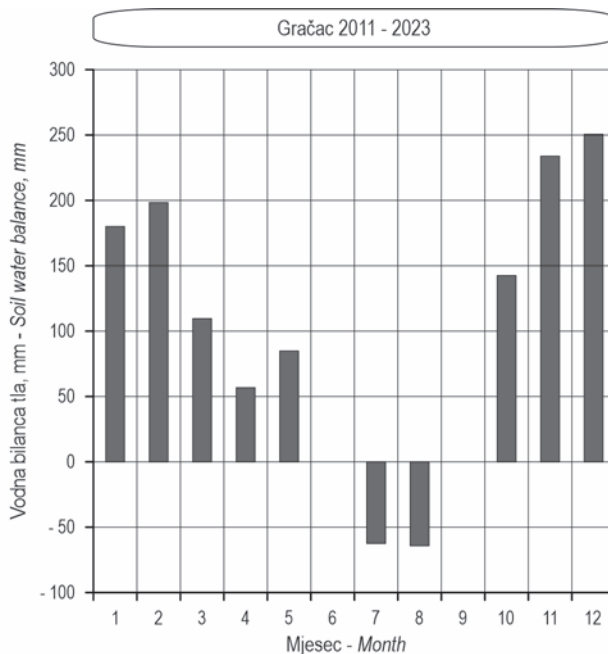
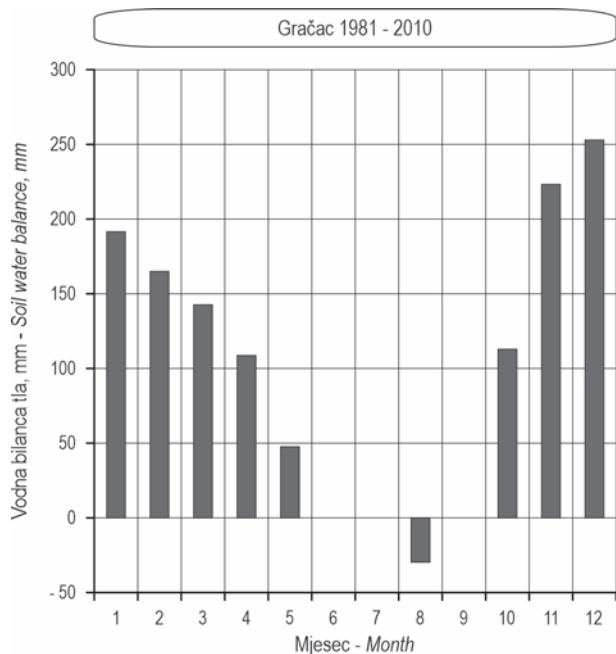
Fig. 6 Comparison of soil water balance (mm) for Gospić meteorological station

2011–2023. u odnosu na referentni niz. Vodni deficit tla u referentnom razdoblju iznosio je -31 mm (lipanj), a u razdoblju 2011–2023. iznosio je -55 mm u lipnju i -59 mm u srpnju.

Slika 7 prikazuje promjene vodne bilance tla (mm) u razdoblju 2011–2023. u odnosu na referen-

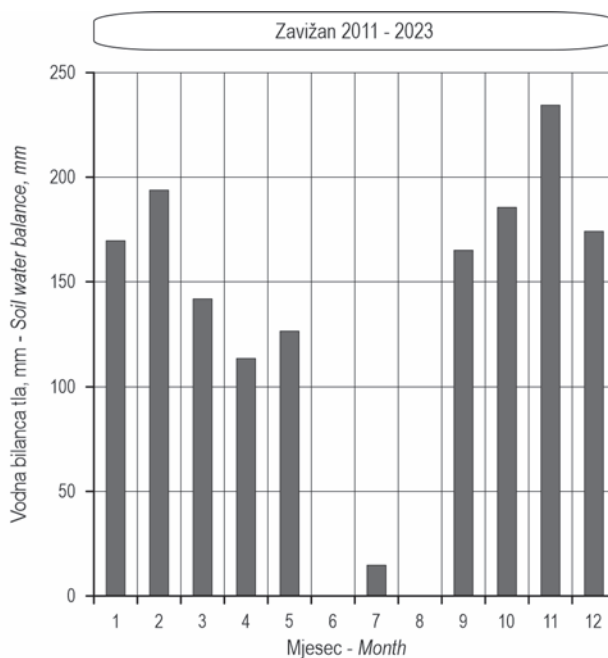
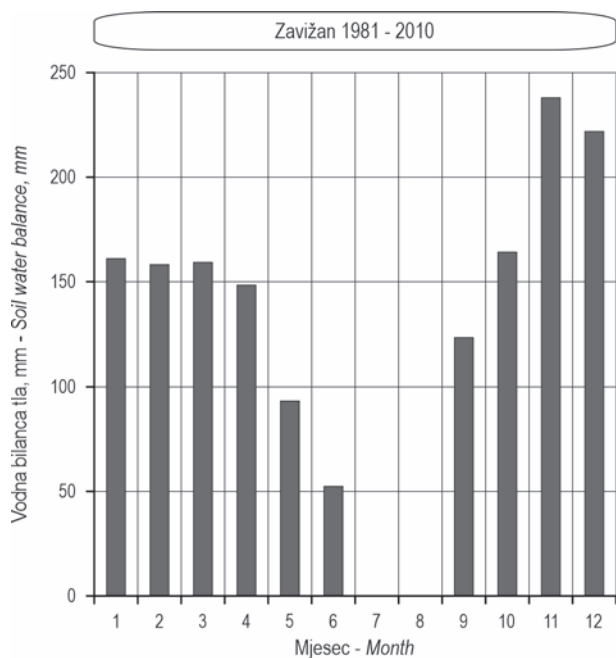
tni niz na meteorološkoj postaji Gračac. Deficit vode u tlu u referentnom razdoblju iznosio je -30 mm u kolovozu. Deficit vode u tlu u razdoblju 2011–2023. iznosio je -63 mm (srpanj) i -64 mm (kolovoz).

Slika 8 prikazuje promjene vodne bilance tla u razdoblju 2011–2023. u odnosu na referentni niz na



Slika 7. Usporedba vodne bilance tla (mm) na meteorološkoj postaji Gračac

Fig. 7 Comparison of soil water balance (mm) for Gračac meteorological station



Slika 8. Usporedba vodne bilance tla (mm) na meteorološkoj postaji Zavižan

Fig. 8 Comparison of soil water balance (mm) for Zavižan meteorological station

meteorološkoj postaji Zavižan. Na Zavižanu nije zabilježen deficit vode u tlu. Ta se meteorološka postaja nalazi na nadmorskoj visini od 1594 m, gdje je perhumidna klima, odnosno snježnošumska (borealna) klima, klimatski razred D (Segota i Filipčić 2003).

Štete od vjetra i suše povećavaju se u šumama umjerenoga pojasa (Csilléry et al. 2017). Autori su u nekim sastojinama pronašli pozitivnu interakciju između suše i jačine oluja, jer suša fiziološki slabi stabla pa ona postanu više sklona lomu debila zbog djelovanja vjetra. U drugim sastojinama pronašli su negativnu interakciju između suše i vjetra, gdje velika količina oborine dovodi tlo do potpune saturacije vodom, stvarajući tako stabla više sklona vjetroizvalama u oluji. Trend sječa oštećenih i odumrlih stabala, odnosno sanitarne sječe stabala u zadnjem desetljeću na hrvatskim Dinaridima nisu u povećanju niti je trend statistički značajan (Đuka i dr. 2025).

Dugotrajna i ekstremna suša može uzrokovati stres kod mezofita, koji prevladavaju na području istraživanja. Vrste drveća uobičajeno mogu privremeno ublažiti stres pomoću regulacijskih procesa i prilagodbenih mehanizama. Međutim, zbog dugotrajnoga stresa određene vrste drveća slabe u svom šumskom ekosustavu (Oszlányi 1997).

Obična je bukva mezofit (Seletković i dr. 2003) i na brdskom vegetacijskom pojasu ima manje vode u tlu na raspolaganju tijekom ljetnih mjeseci u odnosu na druga klimatska područja. Pretpostavlja se da će takvi uvjeti biti i za običnu jelu na nižoj nadmorskoj visini tijekom ljeta. Zbog toga neki modeli promjene ekološke niše vrsta drveća predviđaju povlačenje obične jele na višu nadmorsku visinu (Anić i dr. 2009, Klopčić i dr. 2017). Obična smreka u pretplaninskom vegetacijskom pojasu ne bi trebala biti ugrožena manjkom vode u tlu. Ipak, u pojedinim ekstremno sušnim godinama, kada su vrijednosti indeksa anomalije oborine veće od -3 , sve te tri vrste šumskoga drveća ugrožene su i u stanju su stresa.

4. Zaključci – Conclusions

Trend srednje godišnje temperature zraka i potencijalne evapotranspiracije statistički značajno raste na svim meteorološkim postajama, dok to nije slučaj za količinu oborine i indeks anomalije oborine. Također srednja godišnja temperatura zraka i iznos potencijalne evapotranspiracije u razdoblju 2011–2023. statistički su se značajno povećali u odnosu na referentni niz. Povećanje temperature zraka iznosilo je $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ za područje Gospića te $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ za područje Gračaca i Zavižana. Povećanje je iznosa potencijalne evapotranspiracije iznosilo $+42,9\text{ mm}$ na postaji Gospić, $+33,7\text{ mm}$

na postaji Gračac i $+26,4\text{ mm}$ na postaji Zavižan. Trend količine oborine i indeksa anomalije oborine u blagom je porastu, ali on nije bio statistički značajan. Povećanje količine oborine i indeksa anomalije oborine u razdoblju 2011–2023. također nije bilo statistički značajno. Trenutno su vrijednosti glavnih klimatskih elemenata, temperature zraka i količine oborine, u skladu s ekološkim zahtjevima glavnih vrsta drveća na Velebitu.

Na području Gospića i Gračaca povećao se broj mjeseci s deficitom vode u odnosu na referentno razdoblje (kolovoz) na srpanj i kolovoz. Na Zavižanu se povećao broj mjeseci sa suficitom vode jer je srpanj postao vlažniji. S time uvjeti glavnih vrsta šumskih vrsta drveća u brdskom vegetacijskom pojasu na Velebitu tijekom ljeta postaju manje povoljni, dok to nije slučaj za pretplaninski vegetacijski pojas. Promjene klimatskih elemenata i indeksa ovise i o duljini razdoblja na koje se analiza odnosi te o referentnom vremenskom nizu s kojim se uspoređuje.

5. Literatura – References

- Anić, I., J. Vukelić, S. Mikac, D. Bakšić, D. Ugarković, 2009: Utjecaj globalnih klimatskih promjena na ekološku nišu obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. Šumarski list, 133(3–4): 135–144.
- Begović, K., M. Rydval, S. Mikac, S. Čupić, K. Svobodova, M. Mikoláš, D. Kozák, O. Kameniar, M. Franković, J. Pavlin, T. Langbehn, M. Svoboda, 2020: Climate-growth relationships of Norway Spruce and silver fir in primary forests of the Croatian Dinaric mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 288–289. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108000>
- Bredemeier, M., 2011: Forest management and the water cycle: An ecosystem-based approach. *Ecological studies* 3–4. Ur. M. Bredemeier, S. Cohen, D. L. Godbold, E. Lode, V. Pichler, P. Schleppei, Springer Netherlands. Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9834-4>
- CABI, 2005: *Forestry Compendium*. CABI, Wallingford.
- Caudullo, G., E. Welk, J. San-Miguel-Ayanz, 2017: Chorological maps for the main European woody species. *Data Brief*, 12: 662–666. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>
- Centre for Agriculture and Biosciences International, 2005: *Abies Alba*. *Forestry Compendium, Global Edition*, CAB International, Wallingford, UK.
- Csilléry, K., G. Kunstler, B. Courbaud, D. Allard, P. Lassègues, K. Haslinger, B. Gardiner, 2017: Coupled effects of wind-storms and drought on tree mortality across 115 forest stands from the Western Alps and the Jura mountains. *Global Change Biology*, 23(12): 5092–5107. <https://doi.org/10.1111/gcb.13773>
- Diaci, J., D. Rozenbergar, G. Fidej, T. A. Nagel, 2017: Challenges for uneven-aged silviculture in restoration of

- post-disturbance forests in Central Europe: a synthesis. *Forests*, 8(10): 378–398. <https://doi.org/10.3390/f8100378>
- Dobrowolska, D., A. Bončina, R. Klumpp, 2017: Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): a review. *Journal of Forest Research*, 22(6): 326–335. <https://doi.org/10.1080/13416979.2017.1386021>
- Đuka, A., M. Franjević, K. Tomljanović, M. Popović, D. Ugarković, K. Teslak, D. Barčić, K. Žagar, K. Palatinuš, I. Papa, 2025: A decade of sanitary fellings followed by climate extremes in Croatian managed forests. *Land*, 14(4), 766. <https://doi.org/10.3390/land14040766>
- Eamus, D., N. Boulain, J. Cleverly, D. D. Breshears, 2013: Global change-type drought-induced tree mortality: vapour pressure deficit is more important than temperature per se in causing decline of tree health. *Ecology and Evolution*, 3(8): 2711–2729. <https://doi.org/10.1002/eece3.664>
- Gajić-Čapka, M., K. Cindrić, 2011: Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901 – 2008. *Geofizika*, 28(2): 293–312.
- Gibbs, W. J., J. V. Maher, 1967: Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin*, 48, Melbourne.
- Hammer, Ø., D. Harper, P. Ryan, 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1):1–9. <https://github.com/mfrntic/klimasoft>
- IPCC, 2013: Summary for policymakers. In: T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley (eds.): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Klopčič, M., M. Mina, H. Bugmann, A. Bončina, 2017: The prospects of silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst) in mixed mountain forests under various management strategies, climate change and high browsing pressure. *European journal of forest research*, 136: 1071–1090. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1052-5>
- Kendall, M. G., 1975: *Rank Correlation Methods*. 4th edition, Charles Griffin, London.
- Kirigin, B., 1975: Kolebanja klimatskih elemenata i sušenje jele na području SR Hrvatske. *Radovi*, 23: 16–27.
- Mauri, A., D. de Rigo, G. Caudullo, 2016: *Abies alba* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (eds.): *European Atlas of forest tree species*. Luxembourg: Publ. Off. EU, 48–49.
- Mann, H. B., 1945: Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3): 245–259. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>
- Moore, D. S., G. P. McCabe, B. A. Craig, 2016: *Introduction to the Practice of Statistics*. 9th edition, W. H. Freeman, 1–814.
- Ondrašek, G., D. Petošić, F. Tomić, I. Mustać, V. Filipović, M. Petek, B. Lazarević, M. Bubalo, 2015: *Voda u agroekosustavima*. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, 1–343.
- Oszlányi, J. 1997: Forest health and environmental pollution in Slovakia. *Environmental Pollution*, 98(3): 389–392.
- Pandžić, K., T. Likso, T. Trošić Lesar, 2020: Praćenje i ocjena klime u 2019. godini. *Prikazi*, 31: 1–59.
- Prpić, B., Z. Seletković, 2001: Ekološka konstitucija obične jele. U: B. Prpić (ur.): *Obična jela (Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, p.o. Zagreb, 255–276.
- Ruehr, N. K., A. Gast, C. Weber, B. Daub, A. Arneith, 2016: Water availability as dominant control of heat stress responses in two contrasting tree species. *Tree Physiology*, 36(2): 164–178. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv102>
- Rybníček, M., P. Čermák, T. Kolář, T. Žid, 2012: Growth responses of norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) to the climate in the south-eastern part of the Českomoravská upland (Czech Republic). *Geochronometria*, 39(2): 149–157. <https://doi.org/10.2478/s13386-012-0003-7>
- Seletković, Z., I. Tikvić, B. Prpić, 2003: Ekološka konstitucija obične bukve. U: S. Matić, (ur.): *Obična bukva (Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 155–163.
- Stjepanović, S., B. Matović, D. Stojanović, B. Lalić, T. Levačić, S. Orlović, M. Gutalj, 2018: The impact of adverse weather and climate on the width of european beech (*Fagus sylvatica* L.) tree rings in southeastern Europe. *Atmosphere*, 9(11), 451. <https://doi.org/10.3390/atmos9110451>
- Student, 1908: The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1): 1–25.
- Šegota, T., A. Filipčić, 1996: *Klimatologija za geografе*. Školska knjiga, Zagreb, 1–471.
- Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1): 55–94.
- TIBCO Software Inc., 2018: *Statistica* (data analysis software system), version 13. <http://tibco.com>.
- Tikvić, I., D. Ugarković, 2021: General and landscape ecology of temperate forest ecosystems. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb, 539 str.
- Tinner, W., D. Colombaroli, O. Heiri, P. Henne, M. Steinacher, J. Untenecker, E. Vescovi, J. Allen, G. Carraro, M. Conedera, 2013: The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83: 419–439.
- Ugarković, D., I. Tikvić, 2011: Variation of climate in the region of Gorski Kotar. *Glasnik za šumske pokuse*, 44: 55 – 64

Ugarković, D., I. Seletković, I. Tikvić, M. Ognjenović, K. Popić, M. Orešković, N. Potočić, 2021: Povezanost mortaliteta obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Fužina s klimatskim i strukturnim parametrima. *Šumarski list*, 145(7–8): 311–321. <https://doi.org/10.31298/sl.145.7-8.1>

Ugarković, D., M. Džeko, I. Tikvić, I. Blažević, 2024: Usporedba metoda izračuna potencijalne evapotranspiracije u različitim klimatskim tipovima i vegetacijskim pojasevima. *Šumarski list*, 148(7–8): 389–402. <https://doi.org/10.31298/sl.148.7-8.6>

Vitali, V., U. Büntgen, J. Bauhus, 2017: Silver fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global Change Biology*, 23(12): 5108–5119. <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>

Vitasse, Y., C. C. Bresson, A. Kremer, R. Michalet, S. Delzon, 2010: Quantifying phenological plasticity to

temperature in two temperate tree species. *Functional Ecology*, 24(6): 1211–1218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01748.x>

Weber, R. O., P. Talkner, I. Auer, R. Bohm, M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, R. Brazdil, P. Faško, 1997: 20th century changes of temperature in the mountain regions of Central Europe. *Climate Change*, 36: 327–344. <https://doi.org/10.1023/A:1005378702066>

Zaninović, K., M. Gajić-Čapka, 1995: Extreme temperature changes in this century in Croatia. *Hrvatski meteorološki časopis*, 30(30): 21–26.

Zierl, B., 2004: A simulation study to analyse the relations between crown condition and drought in Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 188(1–3): 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.019>

Abstract

Trends and Changes in Some Climate Elements and Indices in a Part of Lika and Velebit

Climate is the most important habitat factor, and plant life is dependent on weather and climate conditions. Forest vegetation in the Velebit area is adapted to certain climate conditions in that area. However, these climate conditions change over time, which then affects all members of the forest ecosystem. The aim of the research was to analyse trends in climate elements and indices and their deviation from the reference time series. Trends in mean annual air temperatures and potential evapotranspiration are statistically significantly increasing at all analysed meteorological stations. Mean annual air temperatures and the amount of potential evapotranspiration for the period 2011–2023 have statistically significantly increased compared to the reference series. The increase in air temperature was from 1.0 to 1.4 °C, while the increase in potential evapotranspiration was from 26.4 mm to 42.9 mm. Changes in precipitation and precipitation anomaly indices were not statistically significant. For the Gospić and Gračac meteorological stations in the mountainous vegetation zone, the number of summer months with a water deficit in the soil increased from one (August) to two months (July and August). In the Zavižan area in the pre-mountain vegetation zone, the number of months with a water surplus increased by one month (July).

Keywords: Climate, climate change, Lika, Velebit, Silver fir, Common beech, Norway spruce

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Prof. dr. sc. Damir Ugarković*
e-pošta: dugarkovic@sumfak.unizg.hr
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska cesta 23
10000 Zagreb
HRVATSKA

Magdalena Žubrinić, univ. bacc. ing. silv.
e-pošta: zubrinicmagdalena@gmail.com
Dr. Andrije Štampara 33
53220 Otočac
HRVATSKA

Dejan Marjanović, mag. ing. urb. silv.
e-pošta: dejan.marjanovic2@gmail.com
Čavoglavska 1
10000 Zagreb
HRVATSKA

Ivana Medved, mag. ing. urb. silv.
e-pošta: medved@dhz.hr
Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske
Ravnice 48
10000 Zagreb
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 24. 7. 2025.

Prihvaćeno (*Accepted*): 9. 9. 2025.

Izvorni znanstveni rad – *Original scientific paper*

*Glavni autor – *Corresponding author*