

# Analiza klimatske osjetljivosti obične bukve na Dinaridima

---

**Delač, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:898322>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-04**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**DIPLOMSKI STUDIJ**  
**TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MANAGEMENT U ŠUMARSTVU**

**LUKA DELAČ**

**ANALIZA KLIMATSKE OSJETLJIVOSTI OBIČNE BUKVE NA**  
**DINARIDIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, rujana 2024**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**ANALIZA KLIMATSKE OSJETLJIVOSTI OBIČNE BUKVE NA DINARIDIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Tehnike, tehnologije i management u šumarstvu

Ispitno povjerenstvo:

1. izv.prof.dr.sc. Stjepan Mikac
2. prof.dr.sc. Damir Ugarković
3. izv.prof.dr.sc. Vinko Paulić
4. izv.prof.dr.sc. Darko Bakšić

Student: Luka Delač

JMBAG: 0068233785

Datum odobrenja teme: 26.04.2024.

Datum predaje rada: 13.09.2024.

Datum obrane rada: 25.09.2024.

Zagreb,rujan2024.

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB FŠDT 05 07</b>
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 20.9.2024. godine

---

*vlastoručni potpis*

Luka Delač

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Analiza klimatske osjetljivosti obične bukve na Dinaridima
Title	Analysis of climate sensitivity of common beech in the Dinarides
Autor	Luka Delač
Adresa autora	Diljska 5, Podcrkavlje, Slavonski Brod
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv. prof. dr.sc. Stjepan Mikac
Izrada pomogao	Izv. prof. dr.sc. Stjepan Mikac
Godina objave	2024.
Obujam	Broj stranica: 28 Broj slika: 18 Broj tablica: 2 Broj navoda literature: 17
Ključne riječi	Klimatska osjetljivost, obična bukva, klimatske promjene, dinaridi, prirast
Keywords	Climate sensitivity, climate change, tree growth
Sažetak	Analiza klimatske osjetljivosti obične bukve ( <i>Fagus sylvatica</i> ) na području Dinarida istražuje reakcije ovog ekološki i ekonomski važnog stabla na promjene klimatskih uvjeta, uključujući temperature i oborine. Istraživanja pokazuju da obična bukva, iako prilagodljiva, postaje osjetljivija na klimatske stresove poput suše, osobito u južnim dijelovima Europe. Na temelju podataka dobivenih iz modela poput ClimateEU, analiza sezonskih varijacija i dugoročnih promjena ukazuje na smanjenje prirasta stabala u sušnim razdobljima i na porast učestalosti klimatskih ekstrema, što bi moglo značajno utjecati na ekosustav Dinarida u budućnosti.

# SADRŽAJ

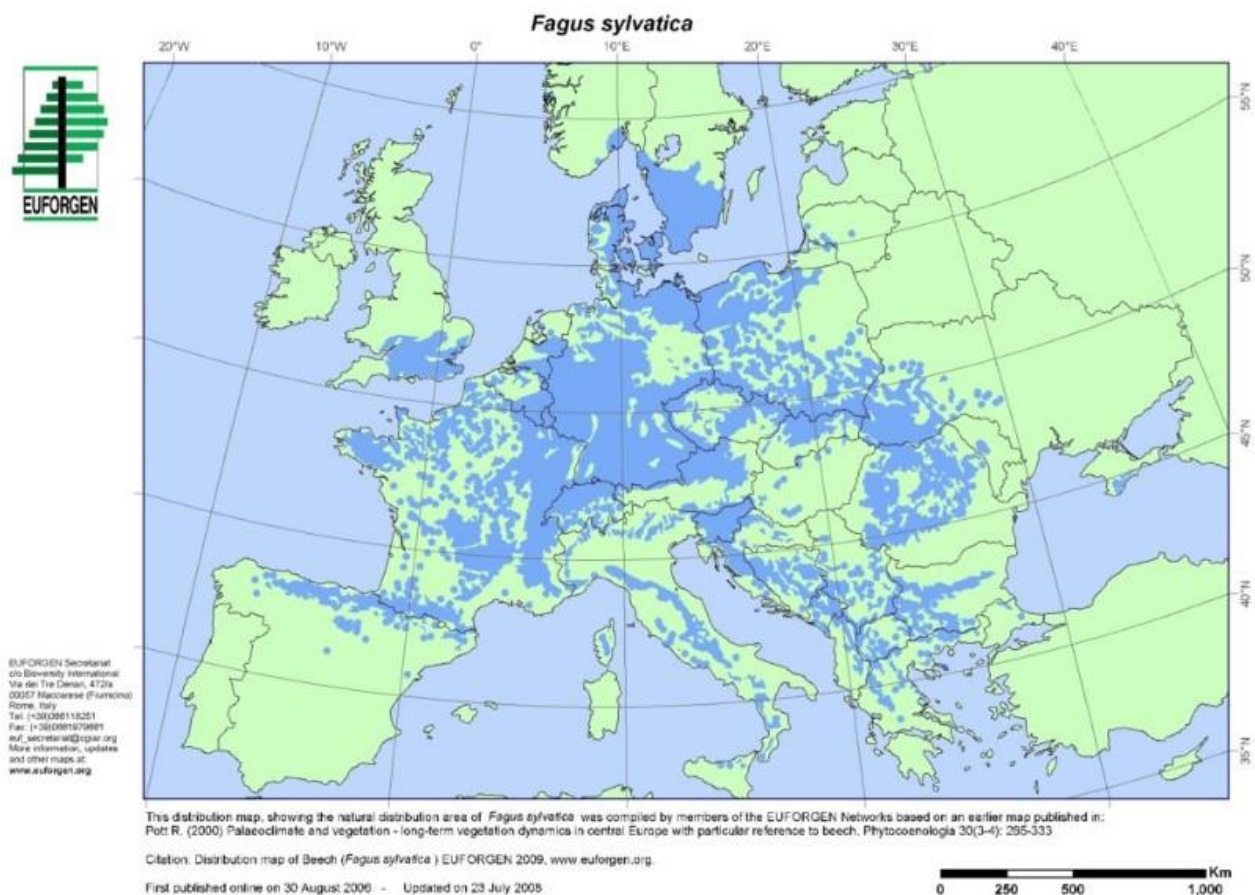
<b>1. UVOD I PROBELMATIKA</b> .....	1
<b>2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA</b> .....	9
<b>3. MATERIJAL I METODE RADA</b> .....	10
3.1. Odabir ploha za istraživanje .....	10
3.2. Prikupljanje podataka .....	11
3.3. Sušenje i lijepljenje uzoraka .....	11
3.4. Digitalizacija uzoraka .....	11
3.5. Izmjera širina godova .....	12
3.6. Analiza i statistička obrada uzoraka .....	12
<b>4. REZULTATI</b> .....	14
4.1. Klimatska osjetljivost obične bukve u Dinaridima .....	14
4.2. Utjecaj nadmorske visine na klimatsku osjetljivost obične bukve .....	18
<b>5. RASPRAVA</b> .....	24
<b>6. ZAKLJUČCI</b> .....	26
<b>7. LITERATURA</b> .....	27

## PREDGOVOR

*Kada se osvrnem na godine provedene na fakultetu, osjećam kako je ovaj diplomski rad ne samo završetak mog formalnog obrazovanja, već i važan dio mog osobnog putovanja. Studiranje šumarstva na šumarskom fakultetu obilježilo je mnoge nezaboravne trenutke od predavanja i upoznavanja prekrasnih ljudi, do terenskih nastava i neprospavanih noći zbog učenja i druženja kojih ću se rado prisjećati. Posebnu zahvalnost dugujem svom mentoru, prof. dr. sc. Stjepanu Mikcu, koji je nesebično dijelio svoje znanje i pružao mi podršku tijekom cijelog procesa pisanja rada uz naravno danonoćnu ažurnost. Najviše od svega, želim zahvaliti svojoj obitelji koja je bila moj oslonac i motivacija kroz cijelo ovo razdoblje. Iako sada završavam jedno poglavlje, znam da sve što sam naučio i doživio ovdje sa sobom nosim u buduće izazove. Ove godine na fakultetu bile su vrijeme rasta, sazrijevanja i stvaranja prijateljstava koja će trajati čitav život.*

# 1. UVOD I PROBLEMATIKA

Obična Bukva (*Fagussylvatica* L.) je karakteristična europska vrst. Najrasprostranjenija je vrsta drveća u Hrvatskoj. E šumarskoj ekologiji prepoznata je kao vrlo plastična vrsta, drugim riječima obična bukva pridolazi na više-manje svim geološkim podlogama od vulkanske lave, eruptivnih i metamornih stijena, silikatnih pješčenjaka, pa vapnenca i dolomita, na svim ekspozicijama reljefa, na svim reakcijama tala od izrazito kiselih, kao i na ekstremno bazičnim tlima, te da se u orografskom smislu nalazi u svim vegetacijskim pojasiima od planarnog do subalpinskog u primjesi s drugim vrstama drveća ili tvori isključivo svoje vegetacijske pojaseve (Trinajstić, 2003)



**Slika 1.** Areal obične bukve u Europi (izvor: Euforgen)

Dinarsko područje u Hrvatskoj dio je šireg Dinarskog planinskog sustava, koji se proteže kroz nekoliko država jugoistočne Europe, uključujući Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu, Crnu Goru, Srbiju, Albaniju i Sloveniju. U Hrvatskoj ovo područje obuhvaća planinske i krške predjele, karakteristične po svojoj jedinstvenoj geologiji, vegetaciji i klimi.



S obzirom na vegetaciju na većem dijelu Dinarida hrvatske od prirode se rasprostire obična bukva. Odnosno u brdskom ili montanskom vegetacijskom pojasu koji se proteže iznad brežuljkastog, u dinarskom dijelu između od 500 do 700 m nadmorske visine, a u panonskom dijelu od 350 do 800 m nadmorske visine (Anić, 2021) U gorskom pojasu, na visinama od 600 (800) do 1100 m nadmorske visine, u mješovitim sastojinama s običnom jelom. Bukovo – jelove sastojine su preborne strukture. U smjesi ovih sastojina obična bukva je raznoliko zastupljena. Na to su utjecali prirodna dinamika razvoja bukovo – jelovih ekosustava i gospodarski čimbenici. U pretplaninskom pojasu, iznad bukovo – jelovih šuma, a prije klekovine bora, gdje bukva u dinarskim planinama ponovo gradi čiste sastojine. Te su sastojine često gornja granica šume, primjerice na lokalitetima Bjelolasice (1533 m n. v.), Risnjaka (1528 m n. v.), Viševice (1428 m n. v.) te na znatnom dijelu velebitskih vrhova. Bukova su stabla karakteristično zavinuta pri žilištu. Sabljasti, iskrivljeni rast stabala posljedica je pritiska snijega. S porastom visine sastojina postaje sve kržljivija, debla tanja i kraća, da bi na kraju postupno formirala bukovu šikaru (Anić, 2021). Bukove šume rasprostiru se na površini od 751.459 ha. U njima je akumulirana drvena zaliha od 194 milijuna kubičnih metara. Svake godine priraste za iznos od 4,7 milijuna kubičnih metara. (Anić, 2021)

Tla bukovih šuma u Dinaridima su ključni faktori u održavanju kvalitete ovih šuma i ekosustava. Ova područja karakteriziraju složeni geomorfološki uvjeti, čiji sastav tla održava varijacije u nadmorskoj visini, podlozi, klimi i hidrološkim karakteristikama. U glavnom području svoje rasprostranjenosti u Hrvatskoj, od brežuljkastog do subalpinskog pojasa, bukove, hrastovo – bukove i bukovo – jelove sastojine nalaze se pretežno na različitim automorfnim, vrlo rijetko hidromorfnim tlima (peudoglej). Unutar svog areala u Hrvatskoj bukva u čistim ili mješovitim sastojinama u potpunosti izostaje na staništima ekstremnih edafskih uvjeta (suha i plitka tla na ocjeditim terenima i prisojnoj ekspoziciji, položaji sa stagnacijom podzemne vode u zoni rizosfere i/ili na površini tla), te ekstremnih klimatskih prilika (topli, ocjediti, prisojne padine, osobito kad je riječ o već spomenutim plitkim i suhim tlima, te mrazišta) (Pernar i Bakšić 2003).

Istraživanje tala na Dinaridima pokazuje odnose u kojima najproduktivniju skupinu tala pripadaju duboko distrično smeđe tlo na pješčenjacima i distrično smeđe tlo na glinenim škriljcima, zatim luvisol, duboki kalkokambisol i koluviji. Na tim tlima bukovo – jelove sastojine postižu prirast i do 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> godišnje. Najmanje su proizvodne crnice na

vapnencu u kombinaciji s plitkim kalkokambisolima (npr. U pretplaninskoj bukovoju šumi). Produktivnost je bukovih šuma na tim tlima 3 – 5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> godišnje. (Pernar i Bakšić 2003). Obična bukva je vrlo prilagodljiva vrsta. Lako se prilagođava različitim uvjetima tla i klime, što joj omogućuje širenje i uspješno natjecanje s drugim vrstama. Bukva je skiofilna vrsta, podnosi velike količine sjene bolje od drugih vrsta drveća. Njena mala potreba za svjetlom, prilagodljivost krošnje u traženju svjetlosti (fototropizam) i intenzivan korijenski sustav koji učinkovito koristi vlagu tla čine je izuzetno konkurentnom.

Prema Seletkoviću i Tikviću (2003) Obična bukva ima široku ekološku valenciju jer se pojavljuje u velikom broju šumskih zajednica i jer je veoma rasprostranjena u Hrvatskoj u horizontalnom i vertikalnom smjeru. U bukovim šumama vladaju gotovo svi tipovi klime prema Köppenovoj klasifikaciji koji se pojavljuju u Hrvatskoj. U Hrvatskoj se obična bukva ne nalazi samo u tipu klime Csa, koji je obilježen blagom zimom, te vrućim i suhim ljetima, a na malim se površinama pojavljuje u području koje je obuhvaćeno klimom tipa Cfsax. Kao izrazitom mezofitu običnoj bukvi najbolje odgovaraju područja s umjereno toplim ljetima, velikom količinom oborina i kraćim zimama. S obzirom na toplinu obična se bukva optimalno razvija u područjima koja imaju prosječne godišnje temperature zraka od 7 do 10 °C.

Raspon srednjih godišnjih količina oborina na postajama Ogulin, Delnice, Zalesina, Vrelo Ličanke, Lokve Brana, vrh Učke, Ličko Lešće, Gospić kretao se od 1106 do 2523 mm. Oborine su ravnomjerno raspoređene tijekom godine, iako u pravilu za vrijeme vegetacijskoga razdoblja padne manje od 50% ukupnih oborina. To je područje s najvećim vrijednostima količina oborina u Republici Hrvatskoj. U godini se javlja preko 150 kišnih dana, a velika je učestalost i snježnih oborina. Velike količine snijega znatno utječu na bukova stabla. Snježna zima može potrajati i do 180 dana. Veći dio ovog područja s obzirom na oborine pripada humidnoj i perhumidnoj klimi, i tu vlada maritimni oborinski režim, što se može zaključiti iz godišnjeg rasporeda oborina. Najhladniji je mjesec bio u pravilu siječanj, a najtopliji srpanj. Učestao je mraz, a češći je kasni proljetni mraz koji se pojavljuje još u lipnju. Srpanj i kolovoz uglavnom su bili bez mraza. Vjetrovi koji pušu na cijelom području osobito su naglašeni na Velebitu. Najznačajniji vjetar tog podneblja je bura, hladan i suh vjetar koji je češći u hladnijem dijelu godine. (Seletković i Tikvić, 2003)

Bukove su šume i danas pod negativnim utjecajima biotskih i abiotskih čimbenika. U zadnjoj četvrtini 19. st. Spoznalo se da su šume opterećene jakim izravnim i neizravnim antropogenim utjecajem. Od izravnih utjecaja najznačajniji su pogrešni načini sječe, velike ambijentalne promjene (komunikacije, prosjeke, kanali, retencije), a od neizravnih

onečišćenost zrak, tla i voda, pa govorimo o tzv. "kemijskoj klimi", o "učinku staklenika" i o globalnom zatopljivanju. Sreća je da bukva ima visoku amplitudu tolerancije na navedene utjecaje u odnosu na ugroženije šumske vrste drveća. (Harapin 2003)

Prema Harapinu (2003) o propadanju šuma koncem 19. i početkom 20. stoljeća bilo je dosta istraživanja. Alarmantne je razmjere u Europi i na sjevernoj hemisferi ta pojava poprimila 1980-ih godina, uz napomenu da se tada smatralo da je najvažniji uzročnik tomu onečišćenost zraka. Godine 1985. na temelju Konvencije UN-a i Europske komisije sastavljen Međunarodni program za procjenu i motrenje utjecaja onečišćenosti zraka na šume. Prati se stanje oštećenosti ekonomski najvažnijih vrsta šumskog drveća, a među njima je i bukva. Danas, u recentnim godinama bukva kao i druge europske vrste drveća se nalaze pod sve većim pritiskom klimatskih promjena. Premda se u šumarskim krugovima dosta govorilo o bukvi kao vrsti drveća koja će najvjerojatnije lako podnijeti promjene klime upravo iz razloga njene ekološke plastičnosti ipak takve tvrdnje se nisu obistinile. Osim pada prirast u posljednjih nekoliko godina posebice ove i prethodne sve je više potpuno odumrlih stabala bukve kako u Hrvatskoj tako i na širem području Dinarida (Mikac i dr. 2023).

**Tablica 1.** Evidentirane štete na običnoj bukve u Hrvatskoj prema dekadama i primarnom uzročniku prirodne nepogode u .000 m<sup>3</sup>(izvor: Mikac i dr. 2023)

Bukva	2002-2011	2012 - 2021	Ukupno	(%)	povećanje
Snijeg i led	1.4	82.0	83.4	0.05	59.95
Vjetar	253	639	891.9	0.48	2.52
Sušenje	127	303	430.6	0.23	2.38
Sanitar	106	329	435.2	0.24	3.10
<b>Ukupno</b>	<b>488.2</b>	<b>1352.7</b>	<b>1841.0</b>	<b>1.0</b>	

Dosadašnje spoznaje o sušenju šuma obične bukve (*Fagussylvatica*) u Hrvatskoj i Europi ukazuju na ključnu ulogu negativnih klimatskih čimbenika, koji su odgovorni za značajna sušenja šuma na početku 20. stoljeća. U tom su razdoblju zabilježene brojne ekstremno sušne godine, a obična bukva pokazuje visoku osjetljivost na sušne uvjete, osobito kada je kora stabla izložena izravnom sunčevom zračenju, što dovodi do pregrijavanja (poznato kao suncožara) i posljedičnog odumiranja stabala.

Recentna istraživanja naglašavaju trajan pad rasta stabala obične bukve u razdoblju od 1955. do 2016. godine diljem Europe. Ovo smanjenje rasta je široko rasprostranjeno, s iznimkom sjevernih dijelova Europe (Danska, Norveška, Švedska) te viših nadmorskih visina u planinskim područjima. Smanjenje prirasta kod obične bukve izrazitije je u odnosu na ostale vrste drveća koje dolaze u zajednici s njom, pod istim stanišnim uvjetima.

Od sredine 20. stoljeća zabilježen je značajan porast temperatura, dok su se sušna razdoblja počela pojavljivati već od proljeća (travanj–svibanj), kada su biljke u fazi najveće fiziološke aktivnosti zbog početka vegetacijskog razdoblja. Na područjima zapadne, središnje i jugoistočne Europe, pad prirasta bukve najviše je povezan s negativnim utjecajem visokih temperatura i dugotrajnih suša koje su nastupile u prethodnim vegetacijskim razdobljima (Dulamsuren i dr., 2017). Također, istraživanja su potvrdila smanjenu kambijalnu aktivnost obične bukve tijekom razdoblja visoke vlažnosti zraka uzrokovane visokim ljetnim temperaturama, što dovodi do dodatnog smanjenja prirasta (Kocher i dr., 2012).

U proteklih šest desetljeća zabilježen je značajan pad prirasta obične bukve u Europi, pri čemu većina stabala ove vrste danas raste sporije nego prije 60 godina. Najizraženiji pad rasta zabilježen je u južnoj Europi, gdje se stopa pada procjenjuje na oko 20 %. Negativni klimatski učinci imaju tendenciju daljnjeg pogoršanja, a predviđa se da će se u narednih tridesetak godina prirast bukve dodatno smanjiti, osobito u južnoj Europi, gdje se očekuje pad i veći od 50 % (Martinez del Castillo i dr., 2022).

Unatoč svojoj konkurentnosti i superiornosti u odnosu na druge vrste drveća u zajednicama, obična bukva pokazuje izrazitu osjetljivost na klimatske ekstreme. Kontinuirani pad prirasta, koji se promatra već desetljećima, predstavlja jasan pokazatelj ranjivosti ove vrste u uvjetima klimatskih promjena.



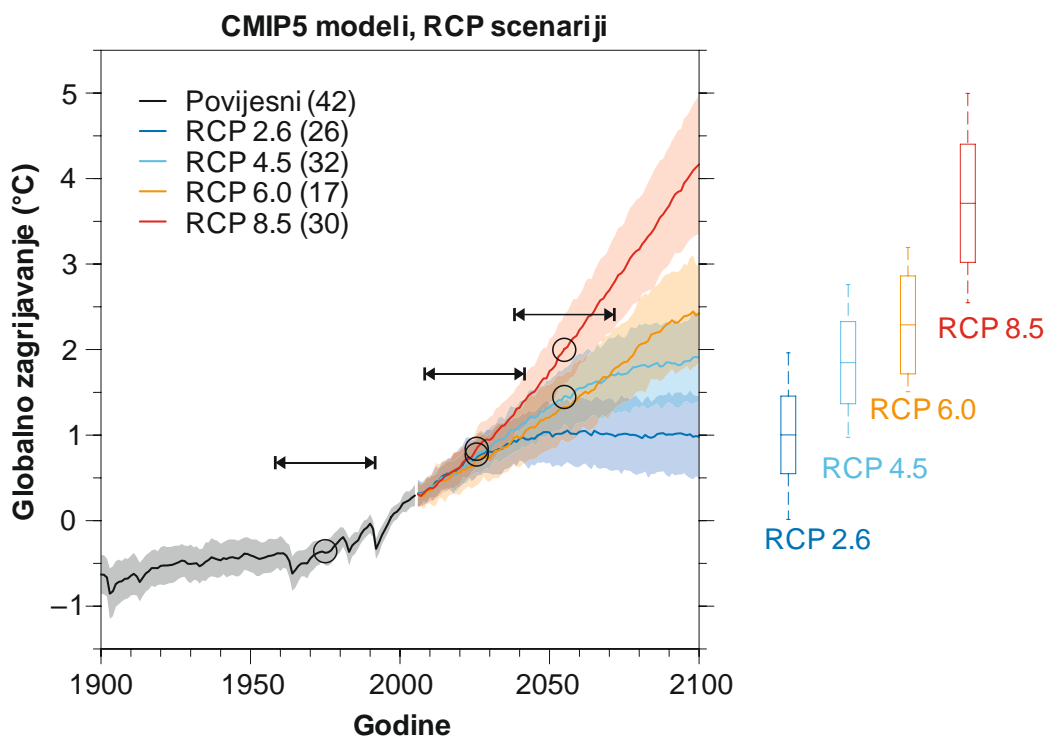
**Slika 3.** Odumiranje stabala obične bukve u ljeto (početak rujna 2024. godine) na Medvednici





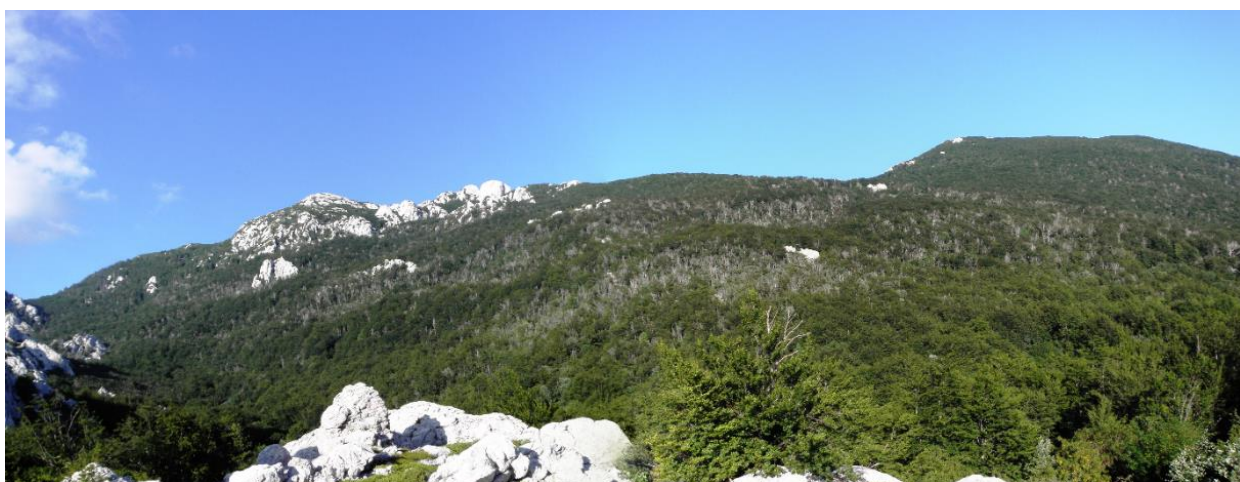
**Slika 4.** Potpuno odumrla stabla bukve (početak rujna 2024. godine) na Medvednici

Klimatske promjene imaju presudnu ulogu u oblikovanju budućnosti šumskih ekosustava, utječući na rast i razvoj drveća putem promjena u temperaturi, količini i intenzitetu oborina, kao i povećanju koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi. Povišenje temperatura zraka može značajno promijeniti fiziološke procese kod drveća, uključujući fotosintezu i disanje. Iako povećane razine ugljičnog dioksida mogu potaknuti ubrzan rast drveća u početnim fazama, dugoročno mogu izazvati smanjenu dostupnost hranjivih tvari te promjene u tlu koje negativno utječu na daljnji rast. Promjene u obrascima oborina, poput sve učestalijih i intenzivnijih suša, dovode do smanjenog rasta, povećanog odumiranja drveća i veće osjetljivosti ekosustava na stresne uvjete.



**Slika 5.** Projekcije globalnog zagrijavanja prema modelima emisija i scenarijima

Povećanje temperature zraka također povećava potencijalnu evapotranspiraciju, odnosno gubitak vode iz tla i biljaka, što dodatno pogoršava vodni deficit u ekosustavu. Međutim, stvarna evapotranspiracija ovisi o raspoloživosti vode u tlu i atmosferi. U suhim uvjetima, iako je potencijalna evapotranspiracija povećana, stvarna evapotranspiracija može se smanjiti zbog nedostatka raspoložive vode. Globalno povećanje evapotranspiracije za oko 10 % zabilježeno je između 1982. i 2010. godine, uglavnom zbog porasta temperature i vlažnosti. Zagrijana atmosfera, s većim sadržajem vlage, povećava rizik od ekstremnih vremenskih događaja poput jakih oluja, osobito u ljetnim mjesecima.



**Slika 6.** Odumiranje bukovih sastojina na padinama Velebita prouzrokovano sušom (izvor: Mikac 2023)

Brzina klimatskih promjena značajno premašuje kapacitete šumskih ekosustava za prilagodbu. Dugovječni organizmi poput stabala, koja se razvijaju tijekom nekoliko desetljeća ili stoljeća, suočavaju se s klimatskim uvjetima koji se drastično razlikuju od onih pod kojima su započeli svoj životni ciklus. Ova sve veća nepovezanost između klime i prilagodbe stabala smanjuje otpornost šuma i dovodi u pitanje njihovu sposobnost pružanja ključnih ekosustavnih usluga. Dugoročne nepovoljne posljedice ovih promjena mogu imati značajan utjecaj na ekološku stabilnost, kao i na gospodarske i društvene aktivnosti povezane sa šumarstvom.

Klimatske promjene utječu na šumske ekosustave neposredno i posredno (FAO i CIFOR, 2019). Neposredni utjecaji uključuju promjene u osnovnim klimatskim parametrima (temperature, oborine), te učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih događaja, kao što su toplinski valovi, suše, mraz i olujni vjetrovi. Posredni utjecaji očituju se kroz promjene u ekološkoj dinamici, uključujući pojavu novih štetnika, bolesti, invazivnih vrsta i smanjenu prisutnost oprašivača. Ljudske aktivnosti, poput prenamjene zemljišta i neodrživih praksi korištenja zemljišta, dodatno pogoršavaju ranjivost i smanjuju otpornost šumskih ekosustava na klimatske promjene.

Ovi kompleksni i međusobno povezani utjecaji zahtijevaju integrirani pristup upravljanju šumama, s naglaskom na povećanje njihove otpornosti i prilagodbe novim klimatskim uvjetima kako bi se očuvali vitalni ekosustavi te izbjegle negativne posljedice za okoliš, gospodarstvo i društvo u cjelini.

## 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovoga istraživanja su:

**1. Analizirati utjecaj klimatskih čimbenika (oborina i temperatura zraka) na radijalni prirast** stabala obične bukve u Dinaridima. Cilj je odrediti značajne klimatske čimbenike koji limitiraju ili pogoduju radijalnom rastu stabala bukve.

**2. Odrediti i analizirati utjecaj nadmorske visine na klimatsku osjetljivost obične bukve** na Dinaridima. Cilj ove analize je odrediti koji klimatski čimbenik i kako utječe na rast stabala bukve na području Dinarida u ovisnosti o nadmorskoj visini.

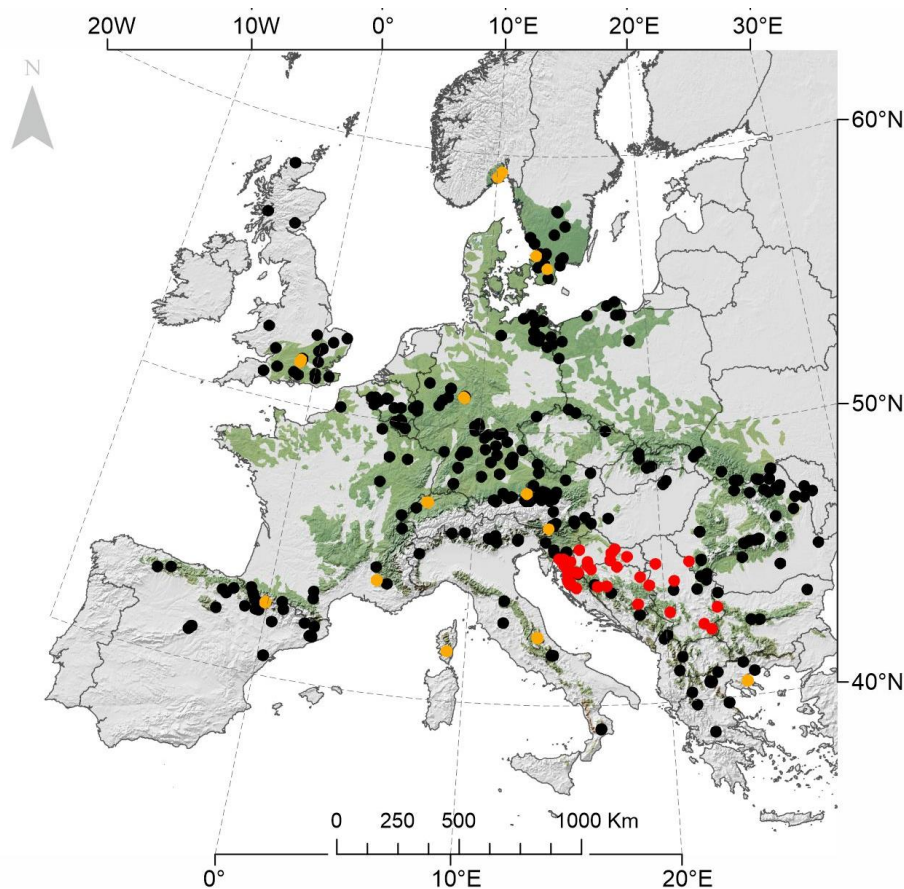


### 3. MATERIJAL I METODE RADA

Obična bukva (*Fagussylvatica* L.) je najzastupljenija vrsta drveća u Hrvatskoj. Ona zauzima oko 28% sveukupne površine šuma, a po drvnj zalihi gotovo 40% od ukupne drvene zalihe svih vrsta drveća u Hrvatskoj. Bukva je vrsta široke ekološke valencije, pridolazi u gotovo svim vegetacijskim pojasevima odnizine (u primjesama sa hrastom lužnjakom) pa sve do subalpinskog vegetacijskog pojasa gdje ujednotvori i gornju granicu šumske vegetacije. Obzirom na prosječnu temperaturu zraka i oborine bukva pokazuje širok raspon pridolaska (Slika 17). Obična bukva vrlo teško podnosi ekstremne klimatske uvjete jer ponik strada od mraza i suše što je česta pojava u prirodnom arealu bukovih šuma ili na rubu njihova areala, osobito na južnom dijelu (Harapin 2003).

#### 3.1. Odabir ploha za istraživanje

Plohe su postavljene na gradijentu nadmorskih visina od 152 do 1500 m duž gradijenta Dinarida od Hrvatske do Bosne i Hercegovine.



**Slika 7.** Prostorni položaj istraživanih lokaliteta bukve na Dinaridima (crveno) u odnosu na poznate lokalitet u Europi

### **3.2. Prikupljanje podataka**

Na odabranim lokalitetima uzorkovano je minimalno 15 dominantnih stabala. Na svakom lokalitetu, tj. svakoj pokusnoj plohi je utvrđena nadmorska visina (m), prevladavajući nagib i ekspozicija. Na svakom pojedinom stablu izmjereni su: prsni promjer (cm), visina (m), Vrsta drveta, vitalitet i eventualna oštećenja na stablima

Na svim odabranim stablima pomoću Pressler-ovog svrdla promjera 4.9 mm prikupljena su po dva uzorka. Uzorci su uzimani na prsnoj visini (~ 1,30 m od razine tla) nasuprotno jedan od drugoga te okomito na nagib terena kako bi se izbjeglo uzorkovanje reakcijskog drva. Nakon vađenja uzorci su označeni rednim brojem plohe i identifikacijskim oznakama (lokalitet, ploha, vrsta drveća, broj uzorka) prema uputama ITRDB (The International Tree-Ring Data Bank) te stavljeni u kartonske slamke za transport.

### **3.3. Sušenje i lijepljenje uzoraka**

Nakon povratka s terena prikupljeni uzorci su stavljeni na sušenje na sobnoj temperaturi od 24 - 48 h. Prvi korak u procesu obrade, nakon sušenja izvrtaka je lijepljenje uzoraka na za to izrađene drvene podloške. Prilikom lijepljenja uzoraka bitno je postaviti uzorak tako da su provodni elementi (traheje odnosno traheide) postavljeni vertikalno kako se nalaze u deblu stabla, kako bi godovi bili jasno uočljivi nakon obrade.

#### **2.5. Mehanička i kemijska obrada uzoraka**

Nakon sušenja i lijepljenja obavljena je gruba i fina (poliranje) mehanička obrada uzoraka i preparacija pomoću uređaja Core-Microtome. Mikrotom je uređaj dizajniran za površinsku pripremu cijelih izvrtaka (duljine do 70cm), omogućuje mikroskopski precizno rezanje ravnih površina (debljine 0.1 mm) kako bi se jasno vidjele granice godova.

### **3.4. Digitalizacija uzoraka**

Pripremljeni uzorci se skeniraju pomoću sustava ATRICS (Advanced Tree Ring ImageCapturing System) koji se sastoji od automatiziranog mjernog stola i digitalne kamere (Olympus) povezanih sa računalom. Fotografije nastale prilikom pomicanja mjernog stola spajaju se u jednu snimku visoke rezolucije koja predstavlja polazište za izmjeru širine godova. Vrlo bitan korak prilikom skeniranja je postavljanje kalibracijskog stakalca na površinu uzorka kako bi se prilikom očitavanja vrijednosti širine godova iz piksela mogle pretvoriti u stotinke milimetra.

### **3.5. Izmjera širina godova**

Izmjera širina godova se provodi u programu CooRecorder na prethodno snimljenim uzorcima. Izmjera se provodi digitalno a podaci o širinama godova se spremaju u tabelarni format s vrijednostima širine goda u 1000/mm i godinom u kojoj je nastao god počevši od godine uzorkovanja ili prethodne ukoliko god nije cijeli, odnosno ako stablo još nije završilo rast za tekuću godinu. Takvi podaci se spremaju u standardni format ekstenzije .rwl te kao takvi služe za daljnju statističku obradu i analizu. Očitane širine godova se u naknadnoj analizi uprosječne na razini stabla, pokusne plohe i vrste drveta te se na taj način stvara krivulja radijalnog prirasta odnosno širina godova.

### **3.6. Analiza i statistička obrada uzoraka**

Unakrsno datiranje izmjerenih serija širina godova napravljeno je vizualno uz statističku provjeru kvalitete datacije pomoću programa COFECHA (Holmes, 1983). Prije datiranja serije širina godova s istih stabala su uprosječene u jednu individualnu seriju. Kvalitetno datirane serije širina godova su detrendirane kako bi se uklonio efekt starosti stabala te drugih šumova koji nisu direktno povezani s klimom (e.g. growthreleases). Standardizacija je provedena pomoću programa ARSTAN (Cook 1985) koristeći funkciju spline (50% prekidom frekvencije) na 32 godine na prethodno stabiliziranim serijama koristeći power transformaciju kako bi se producirano homoskedastički indeks (Cook & Peters, 1997). Reziduali izmjerenih vrijednosti i detrendiranih funkcija su izračunati kao razlika (Helama, Lindholm, Timonen, & Eronen, 2004). Za svaki lokalitet rezidualne vrijednosti serija širina godova su uprosječene u individualnu kronologiju koristeći biweightrobustmean (Cook, 1985). U naknadnim analizama klimatske osjetljivosti korištena je ARSTAN kronologija. Analize klimatske osjetljivosti napravljena je pomoću jednostavnih (Persons) korelacija između indeksnih kronologija (RWI) i mjesečnih vrijednosti klimatskih čimbenika za razdoblje od 19 mjeseci (od lipnja prethodne godine do listopada tekuće godine) za razdoblje od 1950 – 2005. godine.

Za svaki pojedini lokalitet na osnovu prostornog položaja (Latitude, Longitude) te nadmorske visine (elevation, m ) preuzeti su klimatski podaci (izvorne mjesečne i izvedene sezonske temperature zraka i sume oborina) pomoću programa ClimateEU 4.63 (Hamann, Wang, Spittlehouse, & Murdock, 2013).

**Tablica 2.** Popis ploha s podacima o geografskom položaju i nadmorskoj visini

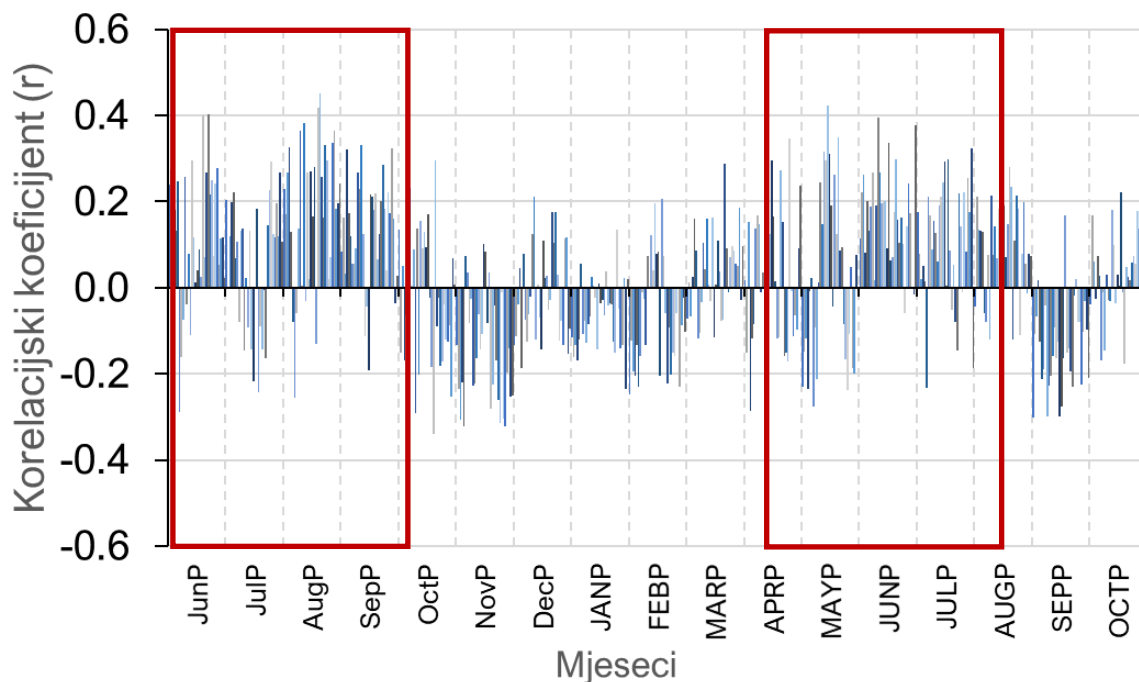
ID	Oznaka	Zemlja	latituda	longituda	Nad.Vis,	Code
26	BOS_PER	BosniaandHerzegovina	43.308	18.700	1201	BOS_PER
42	CRO_COR	Croatia	44.921	15.497	1007	CRO_COR
43	CRO_CUD	Croatia	44.881	15.535	1121	CRO_CUD
44	CRO_RAM	Croatia	44.491	15.180	820	CRO_RAM
45	CRO_RIE	Croatia	44.864	15.618	673	CRO_RIE
46	CRO_RIS	Croatia	45.441	14.665	997	CRO_RIS
145	JANI	BosniaandHerzegovina	44.150	17.280	1450	JANI
168	LOM	BosniaandHerzegovina	44.460	16.470	1400	LOM
218	PERU	BosniaandHerzegovina	43.300	18.720	1500	PERU
345	BR25	Croatia	45.028	15.084	681	BR25
346	DA120	Croatia	45.601	17.353	403	DA120
347	DR24	Croatia	45.172	15.085	623	DR24
348	DV80	Croatia	45.017	16.304	244	DV80
349	GL71	Croatia	45.314	16.105	205	GL71
350	GL72	Croatia	45.166	16.100	452	GL72
351	JA47	Croatia	45.745	15.702	440	JA47
352	NA139	Croatia	45.459	18.174	152	NA139
353	NV21	Croatia	45.173	14.883	885	NV21
354	OG31	Croatia	45.316	15.237	433	OG31
355	OT26	Croatia	44.869	15.086	870	OT26
356	SP125	Croatia	45.746	17.558	185	SP125
395	Vilje	Croatia	45.402	14.624	1119	vil001
396	Kup.Vrh	Croatia	45.412	14.865	979	kup001
397	JurkoveDrage	Croatia	44.499	15.168	862	ram001
398	MaliSadikovac	Croatia	44.508	15.170	947	ram002
399	CD_Metla1	Croatia	44.521	15.193	964	cdm001
400	CD_Metla2	Croatia	44.524	15.215	1066	cdm002
401	Medvedak_P2	Croatia	44.894	15.639	817	med002
402	Kugina	Croatia	44.616	15.064	1230	kug001
403	Bacic	Croatia	44.579	15.099	1101	bac001
404	Paklenica	Croatia	44.338	15.504	698	pak001
405	Dev.Tav	Croatia	44.858	15.086	1195	dev001

## 4.REZULTATI

### 4.1. Klimatska osjetljivost obične bukve u Dinaridima – Koji klimatski element i u kojem smjeru utječe na radialni prirast bukve?

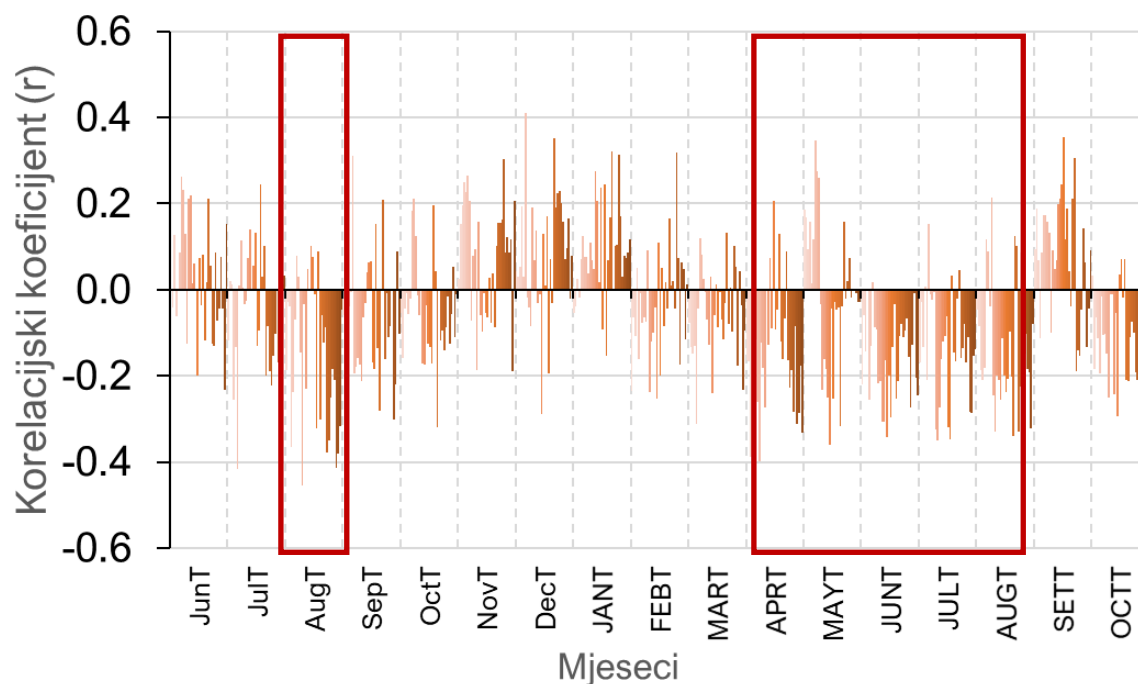
Rezultati korelacijskih analiza između rezidualnih kronologija obične bukve i klimatskim čimbenika (oborina i temperatura zraka) mogu biti pozitivni i negativni. Pozitivni korelacijski koeficijenti ukazuju da povećanje vrijednosti određenog klimatskog elementa će i stabla imati šire godove, odnosno imat će optimalnije uvjete za rast. Negativna vrijednost ukazuje da povećanje određenog klimatskog elementa limitira radialni prirast bukve. Recimo, visoke temperature zraka limitiraju rasta stabala dok visoke oborine utječu pozitivno.

Dobivene vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti oborina (od lipnja prethodne godine do listopada tekuće godine) ukazuju za značajne pozitivne korelacije u lipnju, srpnju i kolovozu prethodne godine na rasta stabala bukve gotovo na svim istraživanim lokalitetima. Sličan obrazac je utvrđen i za oborine u ljeto tekuće godine ali su vrijednosti korelacijskih koeficijenata nešto niže (Slika 8).



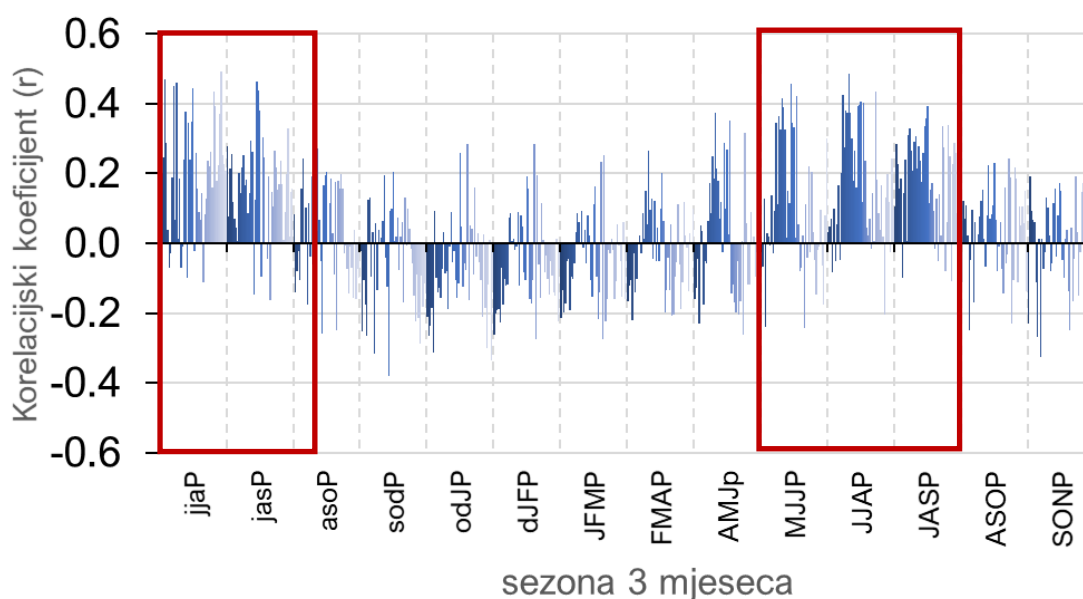
**Slika 8.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti oborina od lipnja prethodne godine (JunP) do listopada tekuće godine – godine u kojoj je formiran god (OCTP) za svaku pojedinu kronologiju.

Za razliku od oborina korelacijski koeficijenti između kronologija rasta stabala bukve i temperatura zraka su u potpunosti suprotni. Drugim riječima visoke temperature zraka i to naročito u kolovozu prethodne godine negativno djeluju na rast stabala bukve (Slika 9). Sličan obrazac je i sa ljetnim mjesecima tekuće godine, utvrđene su značajne negativne korelacije između rasta stabala bukve i visokih temperatura zraka od travnja do kolovoza (Slika 9).



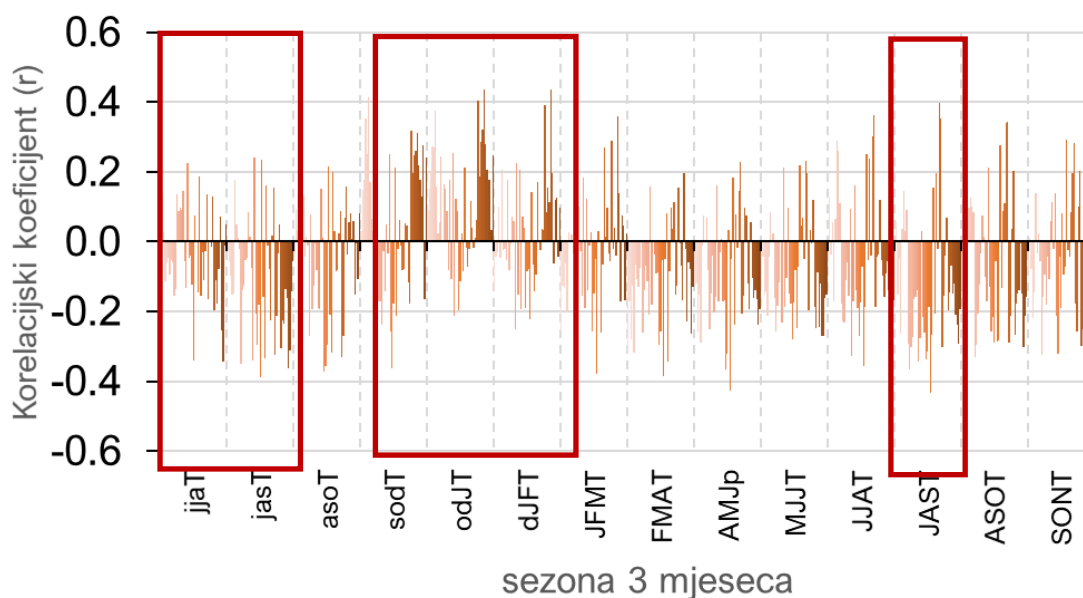
**Slika 9.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između prosječnih mjesečnih temperatura zraka od lipnja prethodne godine (JunP) do listopada tekuće godine – godine u kojoj je formiran god (OCTP) za svaku pojedinu kronologiju.

Slične vrijednosti kao i slične obrasce utvrdili smo i u sezonskim korelacijama. Naime, oborine u ljeto prethodne godine (jjaP i jasP) imaju značajan i pozitivan utjecaj na rast stabala bukve gotovo na svim istraživanim lokalitetima. Identično tomu oborine u ljeto tekuće godine nastanka goda također imaju značajan i pozitivan utjecaj na rasta stabala bukve. Drugim riječima, više oborina u ljeto (ujedno i najsušem razdoblju godine) značajno pogoduje rastu stabala bukve. Korelacijski koeficijent maksimalno iznose o do 0.50 (Slika 10).



**Slika 10.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između ukupnih tromjesečnih suma oborina (suma do lipnja do kolovoza, jjaP) do tromjesečne sume oborina u razdoblju od rujna-studenog (SONP) za svaku pojedinu kronologiju.

Rezultati korelacijskih analiza između indeksnih kronologija bukve na Dinaridima i prosječnih tromjesečnih vrijednosti temperatura zraka ukazuju da značajan pozitivan utjecaj visokih temperatura zraka u jesen i zimu prethodne godine na rasta stabala bukve. U isto vrijeme visoke ljetne temperature prethodne kao i tekuće zraka limitiraju rast stabala bukve (negativne korelacije).



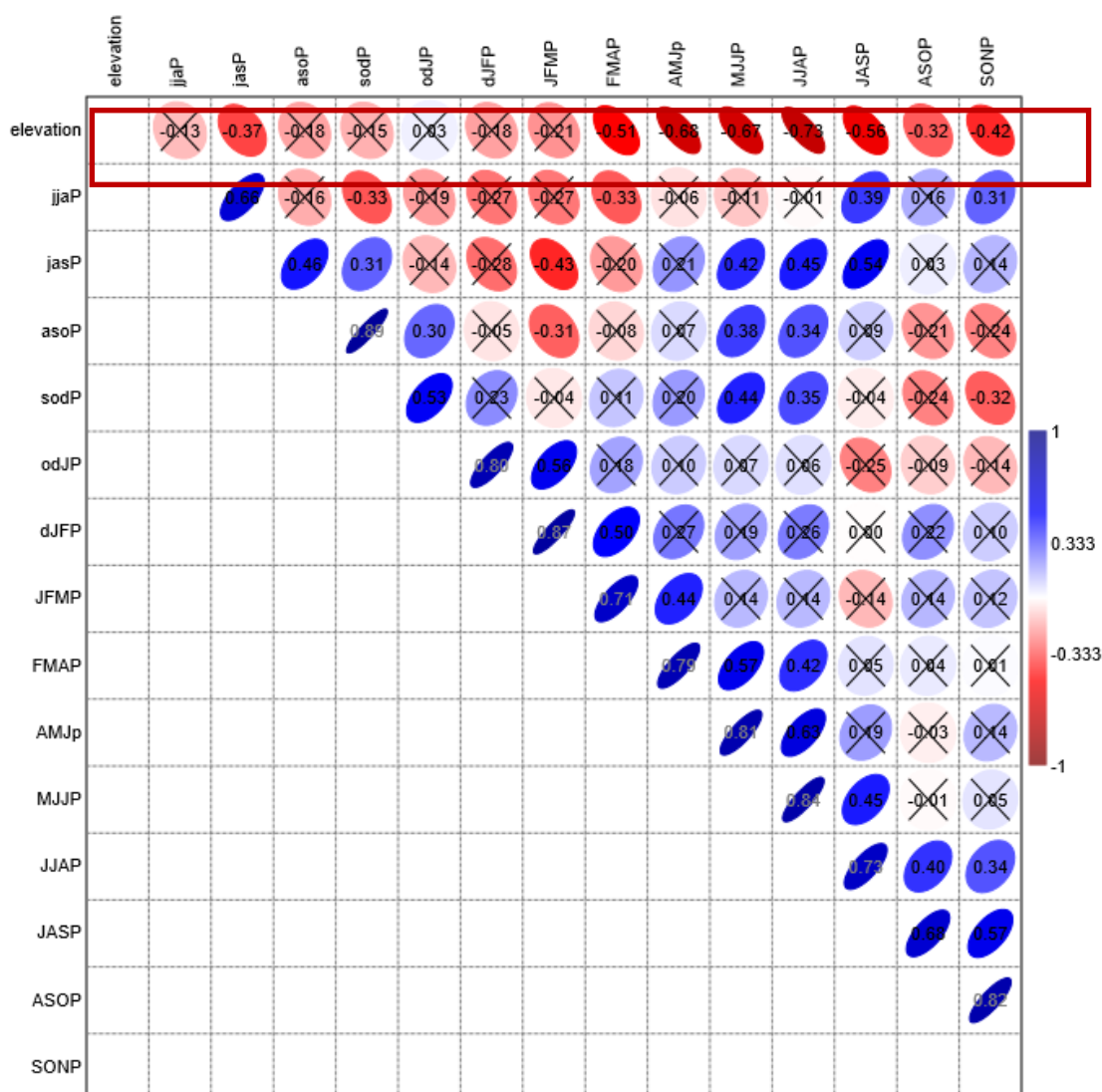
**Slika 11.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između prosječnih tromjesečnih temperatura zraka (prosjeak do lipnja do kolovoza, jjaT) do prosjeka za razdoblje od rujna-studenog (SONT) za svaku pojedinu kronologiju.



## 4.2. Utjecaj nadmorske visine na klimatsku osjetljivost obične bukve

U ovom istraživanju važan fokus je bio na utvrđivanju utjecaja nadmorske visine na klimatsku osjetljivost stabala obične bukve na području Dinarida. Stoga su vrijednosti sezonskih korelacija (za tromjesečne vrijednosti oborina i temperature zraka) analizirani u odnosu prema nadmorskim visinama istraživanih lokaliteta.

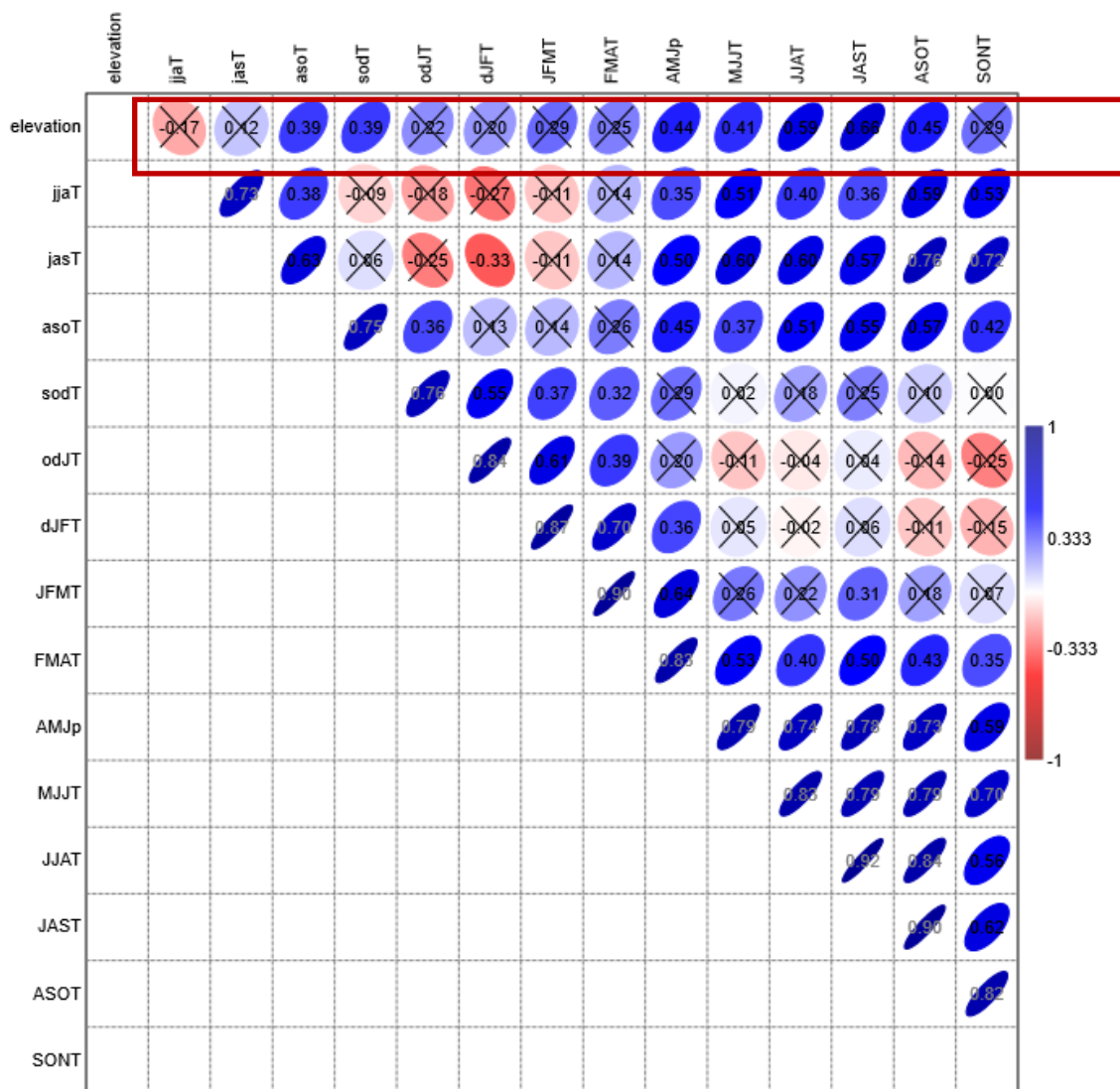
Utvrđeno je da nadmorska visina značajno utječe na jačinu klimatskog signala (drugim riječima jaču ili slabiju ovisnost o klimatskom čimbeniku) i to negativno za oborine. Povećanje nadmorske visine smanjuje se utjecaj oborina (negativne korelacije). Najveće utvrđene značajne negativne korelacije su upravo s oborinama u ljeto (od lipnja do kolovoza) tekuće godine u iznosu od  $r = -0.73$  (slika 12).



**Slika 12.** Korelacijska matrica između nadmorske visine (*elevation*) i sezonskih (tromjesečnih) vrijednosti korelacija rasta stabala s oborinama.

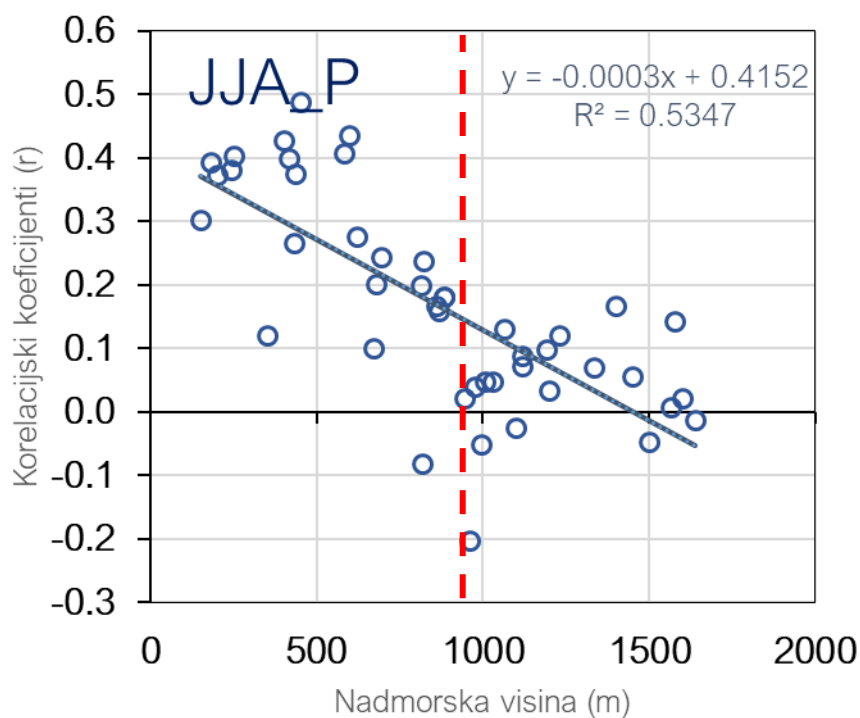
Suprotno oborinama, povećanjem nadmorske visine pozitivno se povećava utjecaj

temperature zraka na rasta stabala bukve. Značajne (pozitivne) vrijednosti linearnih korelacijskih koeficijenata su utvrđene za temperaturu zraka u ljeto tekuće godine (prosjek od srpnja do rujna, JAST)  $r = 0.66$ . Zanimljivo je da je utjecaj nadmorske visine također značajna i za klimatsku osjetljivost bukve i to za razdoblje u jesen prethodne godine (asoT) u iznosu od  $r = 0.39$  (slika 13).



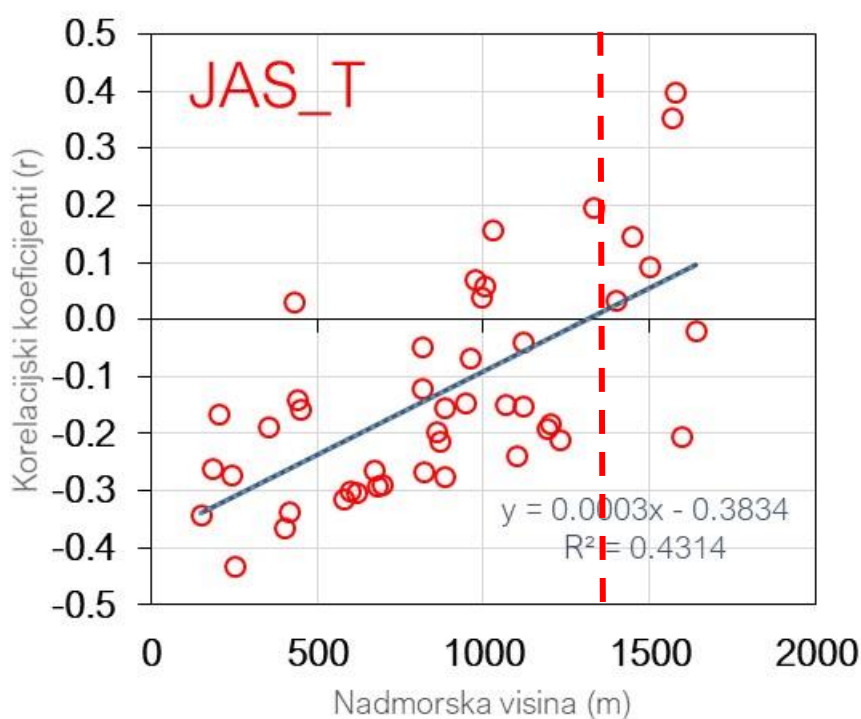
**Slika 13.** Korelacijska matrica između nadmorske visine (*elevation*) i sezonskih (tromjesečnih) vrijednosti korelacija rasta stabala s temperaturama zraka.

Linearni regresijski model je stoga napravljen za one vrijednosti sezonskih korelacija koje su se pokazale najznačajnije u odnosu prema nadmorskoj visini. Model za oborine u ljeto tekuće godine prikazan je na slici 14. Iz modela vidimo da je ukupna objašnjena varijabilnost utjecaja oborina na rast stabla bukve na Dinaridima oko 54% ( $r^2=0.54$ ). Populacije bukve koje rastu na nadmorskim visinama manjim od 1500 m značajno pozitivno ovise o količinama oborina u ljeto tekuće godine. Naročito one koje rastu na visinama ispod 500 m (Slika 14).



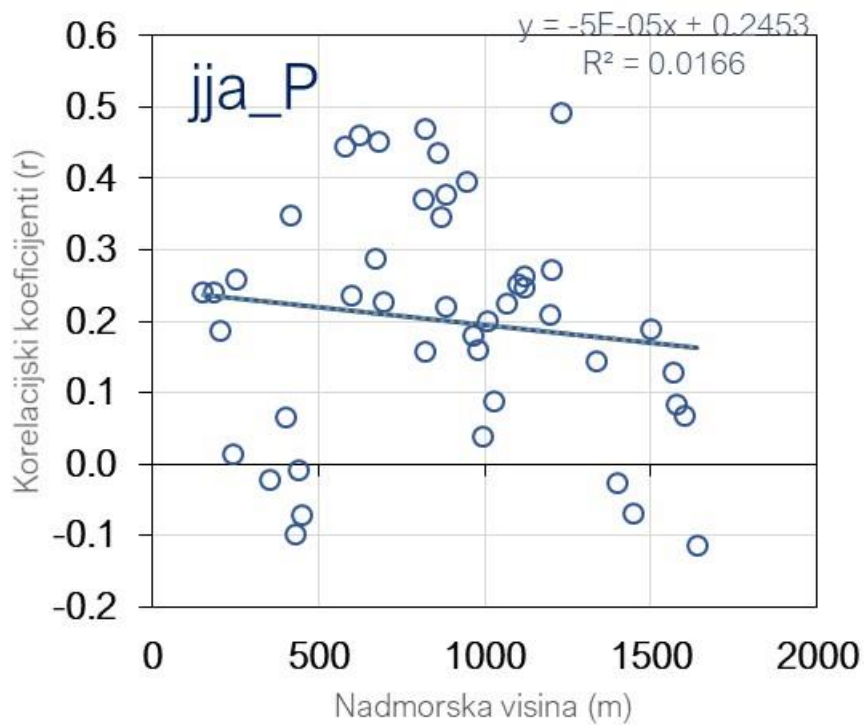
**Slika 14.** Odnos između klimatske osjetljivosti na **sumu oborina u ljeto tekuće godine (lipanj-kolovoz)** i nadmorske visine

Model za prosječnu temperaturu zraka i nadmorsku visinu ukazuje suprotno prethodno navodnoj tvrdnji za oborine. Ukupno objašnjena varijabilnost modela iznosi 43% ( $r^2=0.43$ ). Naime populacije bukve koje rastu na nižim nadmorskim visinama limitirana su u svom razvoju visokim temperaturama zraka u ljeto tekuće godine (slika 15).

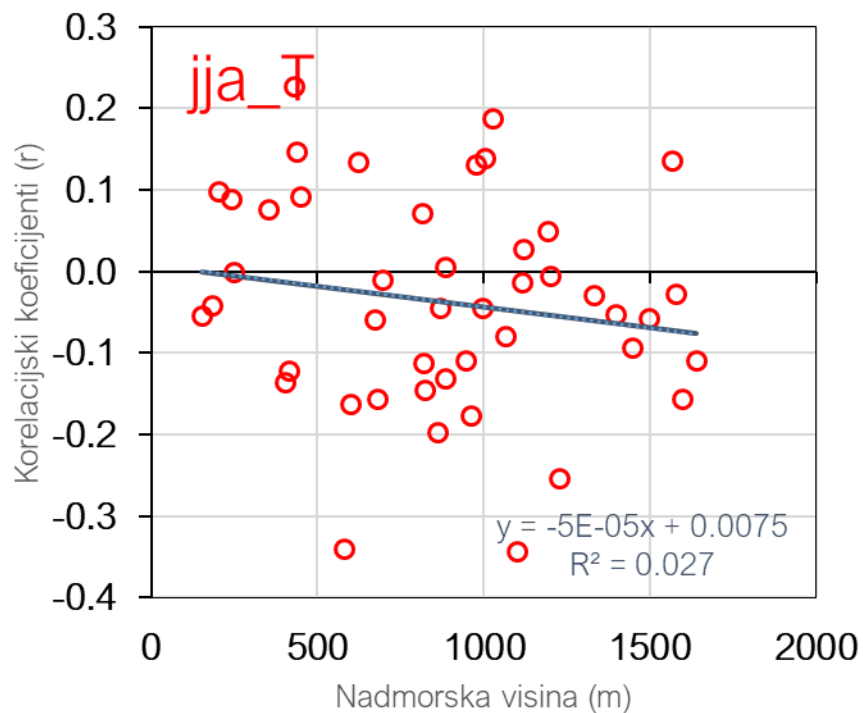


**Slika 15.** Odnos između klimatske osjetljivosti na **prosječnu temperaturu zraka u ljeto tekuće godine (srpanj-rujan)** i nadmorske visine

Kako su se klimatski uvjeti prethodne godine naročito u ljeto pokazali značajnim za rast stabala bukve napravljeni su linearni regresijski modeli i za sumu oborina prethodne godine (od lipnja do kolovoza jjaP) kao i za temperaturu zraka (jjaT) (slike 16 i 17). Oba modela nisu značajna, odnosno nema razlike da li stabala rastu na nižim ili višim nadmorskim visinama kao što je slučaj s prethodno navedenim modelima za tekuću godinu. Ovo možemo objasniti činjenicom da su sva stabla bukve u Dinaridima bez obzira gdje rasla (na kojoj nadmorskoj visini) uvijek jednako ovisna o ovim klimatskim čimbenicima. Deficit oborina i visoke temperature zraka prethodne godine limitiraju rast stabala bukve od 500 – 1500 m.

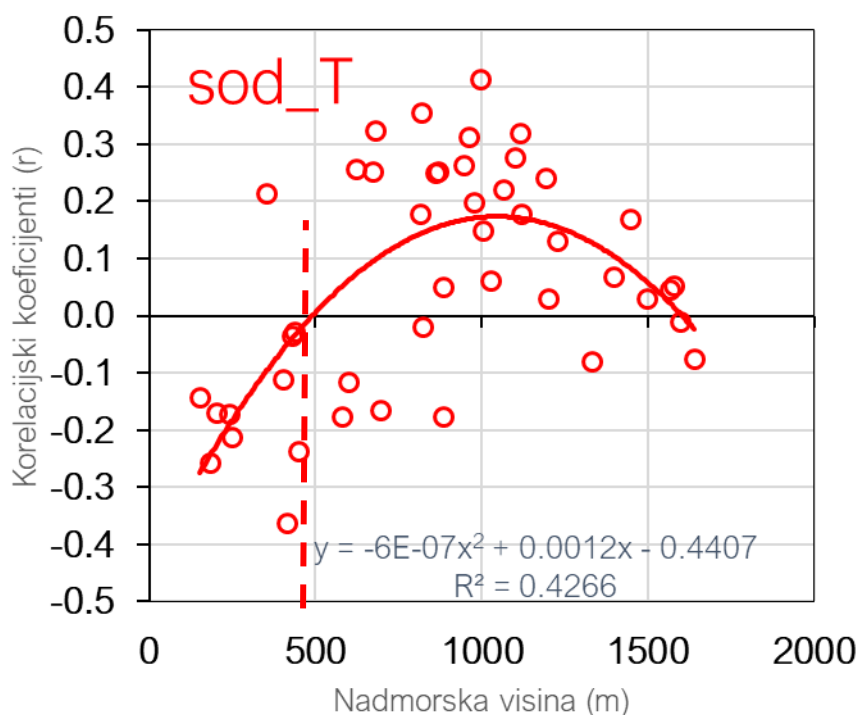


**Slika 16.** Odnos između klimatske osjetljivosti na **sumu oborina u ljeto prethodne godine (lipanj-kolovoz)** i nadmorske visine



**Slika 17.** Odnos između klimatske osjetljivosti na **prosječnu temperaturu u ljeto prethodne godine (lipanj-kolovoz)** i nadmorske visine

Regresijski model za temperaturu zraka nije linearni nego polinom drugog stupnja prikazan na slici 18. Naime vidljivo je da na gradijentu nadmorskih visina na Dinaridima postoji značajan utjecaj zimskih (prosječna temperatura zraka na rasta stabla bukve (slika 18)). Populacije bukve koje rastu na nadmorskim visinama nižim od 500 m pokazuju negativne korelacije s temperaturama zraka u zimu prethodne godine a populacije oko 1000 m n.m.v. pokazuju pozitivne i najveće korelacije s temperaturama zraka. Također daljnjim povećanje nadmorske visine ovaj utjecaj nije izražen.



**Slika 18.** Odnos između klimatske osjetljivosti na **prosječnu temperaturu u zimi prethodne godine (rujna-prosinca)** i nadmorske visine

## 5.RASPRAVA

Rezultati analize klimatske osjetljivosti bukve ukazuju da je bukva značajno pozitivno osjetljiva na oborine u lipnju, odnosno na ukupne oborine u ljetnom razdoblju od lipnja do kolovoza (JJA). Veće količine oborina u ljeto utječu pozitivno na rast stabala bukve na svim istraživanim lokalitetima. Oborine tijekom ljeta imaju značajan utjecaj na rast stabala obične bukve (*Fagussylvatica*), jer su ti mjeseci kritični za fiziološke procese kao što su fotosinteza i transpiracija, koji izravno utječu na rast stabala. Za razliku od oborina, visoke temperature zraka u istom razdoblju djeluju negativno na rast stabala bukve. Klimatski uvjeti prethodne godine imaju također pozitivan utjecaj kada je riječ o oborinama i negativan kada je riječ o temperaturi zraka.

Vrijednost ove zakonitosti značajno ovisi o nadmorskoj visini. Stabla koja rastu na nižim nadmorskim visinama osjetljivija su na manjak oborina od onih na višim nadmorskim visinama u ljetnim mjesecima. Klimatske promjene, koje uključuju sve češće i intenzivnije ljetne suše, dugoročno mogu negativno utjecati na rast bukve. Ako se trend smanjenih oborina nastavi, stabla će se suočiti s kontinuiranim stresom, što može dovesti do smanjenja njihove otpornosti i dugoročnog prirasta. S obzirom na to da bukva sporo raste, svako smanjenje rasta uzrokovano manjkom ljetnih oborina može imati značajne posljedice na strukturu šuma.

Obična bukva, kao dominantna šumska vrsta u velikom dijelu Europe, osjetljiva je na promjene klimatskih uvjeta, a visoke temperature, osobito tijekom ljetnih mjeseci, dovode do smanjenja njezinog radijalnog prirasta. Dendrokronološke analize, koje se temelje na proučavanju širine godova, omogućuju precizno praćenje reakcije stabala na klimatske ekstreme, uključujući toplinske valove i suše. Studije su pokazale da se u godinama s izrazito visokim ljetnim temperaturama pojavljuje smanjenje širine godova kod bukve, što je posljedica povećane evapotranspiracije i manjka dostupne vode u tlu. Kako je evapotranspiracija direktno povezana s povećanjem temperature, stabla u takvim uvjetima imaju otežane fiziološke procese poput fotosinteze i transpiracije, što rezultira smanjenom aktivnosti kambija i slabijim formiranjem godova (Büntgenetal., 2014).

U područjima južne Europe, gdje su temperature ljeti izrazito visoke, dendrokronološke studije pokazuju kontinuirani pad prirasta bukve. Prema istraživanjima, radijalni rast obične

bukve u ovim regijama smanjuje se za više od 20% u usporedbi s ranijim desetljećima (Martinez del Castillo et al., 2022). Toplinski valovi, koji postaju sve učestaliji i intenzivniji, dovode do povećanog stresa kod stabala, posebno u kombinaciji s nedostatkom oborina. Ova kombinacija visokih temperatura i suše uzrokuje smanjenje dostupnosti vode, što se direktno odražava na užim godovima i smanjenoj produktivnosti stabala. Također, visoke temperature dovode do pregrijavanja kore stabala, što može rezultirati pojavom suncožare i fizioloških oštećenja koja dodatno smanjuju vitalnost stabala (Dulamsuren et al., 2017).

U središnjoj i zapadnoj Europi, iako utjecaj visokih temperatura nije toliko izražen kao u južnim dijelovima, također dolazi do smanjenja rasta stabala bukve, osobito u godinama s produljenim sušnim razdobljima. Povećanje temperature uzrokuje veću osjetljivost stabala na sušu, što je dokumentirano kroz smanjenu godova i oslabljenu fotosintetsku aktivnost (Kocher et al., 2012). Dendrokronološke studije u ovim regijama pokazale su da su stabla bukve na višim nadmorskim visinama ili u sjevernim dijelovima Europe nešto otpornija na klimatske promjene, no i ona pokazuju trend smanjenja prirasta, osobito u ekstremno toplim godinama.

Klimatske projekcije za sljedeća desetljeća predviđaju daljnji porast ljetnih temperatura i učestalije suše, što će dodatno ugroziti vitalnost bukve. Modeli temeljeni na dendrokronološkim analizama sugeriraju da će do kraja 21. stoljeća radijalni prirast obične bukve u južnoj Europi pasti za više od 50%, što bi moglo imati ozbiljne posljedice za šumske ekosustave (Martinez del Castillo et al., 2022). Dugoročna istraživanja ukazuju na to da stabla koja danas rastu u relativno stabilnim uvjetima mogu do kraja svog životnog ciklusa doživjeti znatno različite klimatske uvjete, što će dodatno povećati njihovu ranjivost na klimatske stresove (Büntgen et al., 2014).

Ovi podaci ističu važnost dendrokronologije kao alata za razumijevanje utjecaja klimatskih promjena na dugovječne šumske vrste poput obične bukve. Kroz precizno datiranje i analizu širine godova moguće je pratiti povijesne obrasce rasta i projicirati buduće scenarije klimatske osjetljivosti stabala, što je ključno za razumijevanje i planiranje adaptivnih strategija u šumarstvu.



## 6. ZAKLJUČCI

1) Ljetne oborine su ključni klimatski čimbenik koji značajno utječe na rast stabala obične bukve u Dinaridima. Oborine održavaju ravnotežu vode u tlu, smanjuju stres zbog suše i omogućuju normalnu kambijalnu aktivnost. Njihov nedostatak može imati negativne posljedice na rast stabala, osobito u kontekstu klimatskih promjena koje donose sve sušnija ljeta.

2) Suprotno oborinama, visoke temperature zraka limitiraju rast bukve. Čak i u slučaju da se oborine dugoročno ne mijenjaju barem njihova količina i sezonske raspodjela visoke temperature zraka postepeno će dovesti do sve veće suše uslijed povećanja evaporacije što također može imati značajne posljedice na bukove šume u Dinaridima.

3) Nadmorska visina ima značajan utjecaj na klimatsku osjetljivost bukve na Dinaridima. Populacije na nižim nadmorskim visinama više ovise o klimi za razliku od populacija koje rastu na nižim visinama. Stoga će ove populacije prve osjetiti posljedice recentnih i budućih promjena klime.

## 7. LITERATURA

1. Anić, I., (2021): Uzgajanje šuma skripta za studente diplomskih studija. Internaskripta, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 158 str.
2. Büntgen, U., et al. (2014). "Temperature-induced reductions in the growth of European beech." *Global Change Biology*, 20(12), 4088-4096.
3. Dulamsuren, C., et al. (2017). "Responses of tree-ring width to climate warming in the forests of Central Europe." *Forest Ecology and Management*, 395, 61-68.
4. Dulamsuren, C., Hauck, M., Leuschner, C., & Leuschner, H. H. (2017). Climate change triggers a decline of beech forests in central and southern Europe. *Global Change Biology*, 23(10), 3627-3641
5. FAO, & CIFOR. (2019). *Forests and climate change: Challenges and opportunities*
6. Hamann, A., Wang, T., Spittlehouse, D. L., & Murdock, T. Q. (2013). A comprehensive, high-resolution database of historical and projected climate surfaces for western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(9), 1307
7. Kocher, P., et al. (2012). "Dendroclimatic signals in European beech (*Fagus sylvatica* L.)." *Dendrochronologia*, 30(3), 209-216.
8. Kocher, P., Horna, V., & Leuschner, C. (2012). Environmental control of radial stem growth and wood production in a temperate deciduous forest. *Trees*, 26(4), 1035-1048

9. Martinez del Castillo, E., et al. (2022). "Projected impacts of climate change on the growth of European beech." *Journal of Forestry Research*, 33(2), 441-452.
10. Martinez del Castillo, E., Zang, C. S., Buras, A., Hacket-Pain, A., Esper, J., Serrano-Notivoli, R., Hartl, C., ... de Luis, M. (2022). Climate-change-driven growth decline of European beech forests. *Communications Biology*, 5(1), 163
11. Mikac, S., & sur. (2023). Odumiranje stabala bukve u šumama Dinarida. *Šumarski list*, 147(7-8), 345-360
12. Slavko Matić, 2003: Obična bukva u Hrvatskoj: Taksonomija, morfologija i rasprostranjenost obične bukve, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 44 str.
13. Slavko Matić, 2003: Obična bukva u Hrvatskoj: Tla bukovih šuma, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 57-58, 63-64 str.
14. Slavko Matić, 2003: Obična bukva u Hrvatskoj: Klimatske prilike u šumskim ekosustavima obične bukve, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 72 str.
15. Slavko Matić, 2003: Obična bukva u Hrvatskoj: Klimatske prilike u šumskim ekosustavima obične bukve, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 80 str.
16. Slavko Matić, 2003: Obična bukva u Hrvatskoj: Štetni čimbenici i integralna zaštita obične bukve, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 591-592 str.
17. Slavko Matić, 2003: Obična bukva u Hrvatskoj: Štetni čimbenici i integralna zaštita obične bukve, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 580 str.