

# Analiza klimatske osjetljivosti stabala hrasta i graba obzirom na položaj u sklopu sastojine

---

**Borković, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:108:497075>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-05**



*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**

**TOMISLAV BORKOVIĆ**

**ANALIZA KLIMATSKE OSJETLJIVOSTI STABALA HRASTA  
LUŽNJAKA U ISTOČNOJ SLAVONIJI**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, RUJAN 2023.**

## PODACI O DIPLOMSKOM RADU

Zavod:	ZAVOD ZA UZGAJANJE I EKOLOGIJU ŠUMA 1
Predmet:	Silvikultura
Mentor:	izv.prof. Stjepan Mikac
Asistent - znanstveni novak:	-
Student (-ica):	TOMISLAV BORKOVIĆ
JMBAG:	0068228463
Akad. godina:	2022./2023.
Mjesto, datum obrane:	Zagreb, 27. rujan 2023. godine
Sadržaj rada:	Slika: 22 Tablica: 1 Navoda literature: 13
Sažetak:	<p>Klimatske promjene imaju značajan utjecaj na mnoge vrste drveća, uključujući hrast lužnjak (<i>Quercus robur</i>). Hrast lužnjak je listopadno drvo koje raste u većem dijelu Europe i Azije, te je karakteristično za nizinske poplavne šumske ekosustave. Nizinski poplavni šumski ekosustavi direktno ovise o hidrološkom režimu nizinskih rijeka. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi kako klimatske promjene utječu na varijabilnost prirasta Hrasta lužnjaka I Običnog graba na području Podravine i Posavine. Također će se u radu analizirati postoji li razlika u klimatskoj osjetljivosti dobivenih kronologija hrastova sa područja Podravine i hrastova sa područja Posavine.</p>



## IZJAVA

### O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 1

Datum: 27.09.2023.

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

U Zagrebu, 27. rujna 2023.

---

vlastoručni potpis

Tomislav Borković

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PROBLEMATIKA .....	3
3. MATERIJAL I METODE RADA.....	6
3.1. Područje istraživanja.....	6
3.2. Kriteriji za odabir pokusnih ploha .....	7
3.3. Prikupljanje podataka.....	8
3.4. Obrada podataka .....	9
3.5. Analiza podataka.....	11
4. CILJEVI.....	12
5. REZULTATI.....	13
5.1. Korelacije s mjesečnim vrijednostima klimatskih čimbenika .....	13
5.2. Korelacije s prosječnim sezonskim vrijednostima klimatskih čimbenika .....	17
5.3. Prosječna korelacija s klimatskim čimbenicima za istraživana područja .....	21
5.4. Utjecaj nadmorske visine (mirkoreljefa) na vrijednosti korelacijskih koeficijenata s klimom .....	24
6. RASPRAVA .....	26
7. ZAKLJUČCI.....	29
8. LITERATURA .....	30

## 1. UVOD

Klimatske promjene imaju značajan utjecaj na biljni svijet, uključujući i Hrast lužnjak (*Quercus robur* L). Utjecaj klimatskih promjena na hrast lužnjak može biti složen i raznolik, a ovisi o mnogim faktorima, uključujući geografski položaj, specifične uvjete rasta, i dinamiku promjena u klimatskim uvjetima.

U nizinskim lužnjakovim ekosustavima Hrvatske, ključne promjene u staništima koje su dosad značajno utjecale na mortalitet stabala i cijele sastojine povezane su s promjenama hidrološke dinamike (Prpić i Anić, 2000). Stabla hrasta imaju izrazitu dnevnu potrebu za vodom. Prema istraživanjima Čermáka (1989), stabla hrasta mogu apsorbirati između 80 i 400 kilograma vode svakog dana, što ovisi o njihovoj veličini. Ova visoka potreba za vodom čini hrast jednim od najvećih potrošača vode među svim šumskim vrstama drveća.

Promjene u hidrološkoj dinamici, kao što su smanjenje dostupnosti vode ili promjene u režimu vodostaja, mogu značajno utjecati na stabla hrasta i njihov opstanak. Nedostatak vode ili suša može uzrokovati stres kod stabala, smanjenje njihove vitalnosti i povećanu osjetljivost na štetnike i bolesti. Stoga je očuvanje adekvatnog hidrološkog režima važno za očuvanje nizinskih lužnjakovih ekosustava i stabala hrasta unutar tih ekosustava.

Prema podacima sa zadnjeg izvješća Međunarodnog panela za klimatske promjene (IPCC 2013), OD 1950.-ih godina do danas, temperatura atmosfere i oceana se povećala, razina mora se povećala, također se povećala koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi, dok su se količine snijega i leda smanjile.

Među stakleničkim plinovima najveći utjecaj na povećanje globalne temperature ima ugljični dioksid.

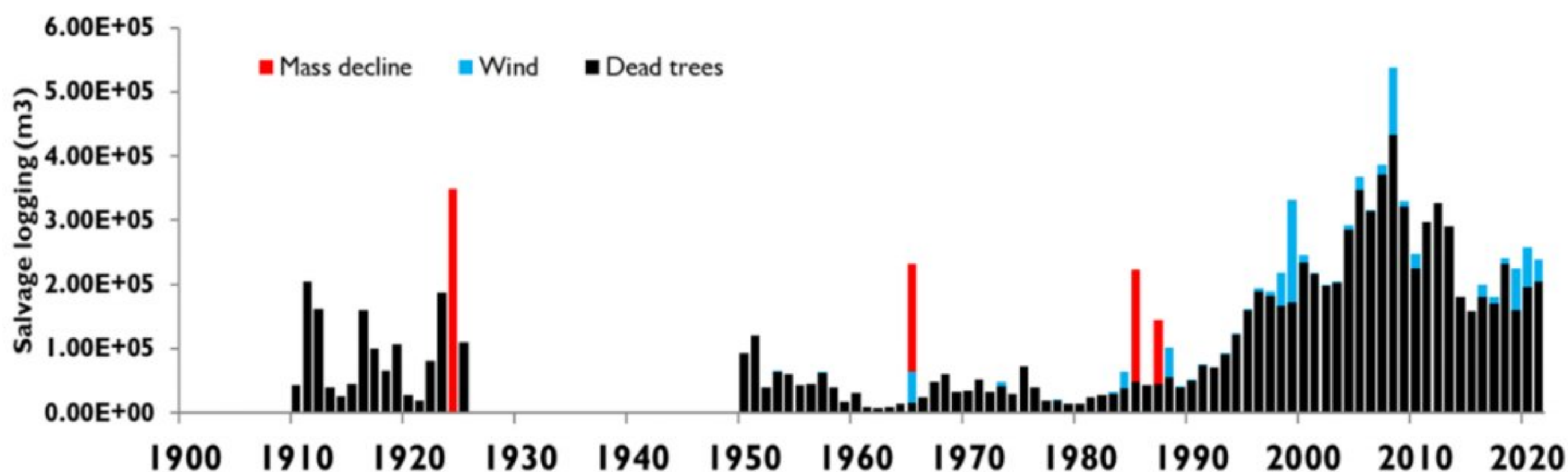
Na području Hrvatske utvrđene su statistički značajan porast temperatura zraka nakon 1988. godine, a srednje godišnje temperature zraka porasle su prosječno za 0,844 °C (Bonacci 2010).

Ključne posljedice klimatskih promjena koje se smatraju da mogu značajno utjecati na šumske ekosustave obuhvaćaju promjene u temperaturi, oborinama i njihovom rasporedu, češće i intenzivnije ekstremne klimatske događaje kao što su suše i oluje, te promjene u širenju i aktivnostima štetnih organizama zbog novih uvjeta koje donosi promijenjena klima (Anderegg i dr. 2012).

Prema istraživanju (Linder i dr. 2010), klimatske promjene mogu imati i povoljan i nepovoljan utjecaj na šumske ekosustave. Na sjeverozapadnom području Europe, očekuje se pozitivan efekt na rast drveća i proizvodnju drveta zbog povećane koncentracije CO<sub>2</sub>, viših temperatura i produženja vegetacijske sezone (Myneni i dr. 1997.) Međutim, s druge strane, porast suša i češćih vremenskih ekstrema donosi nepovoljne posljedice, pri čemu je vjerojatno da će negativni utjecaji preteći pozitivnima, posebno na južnom i istočnom dijelu Europe.

## 2. PROBLEMATIKA

Kada spominjemo izraz "klimatske promjene", mislimo na statistički značajne izmjene prosječnih stanja ili varijacija klimatskih čimbenika koje se protežu tijekom desetljeća ili čak dulje razdoblje (Cindrić Kalin i sur. 2018).



**Slika 1.** Količina odumrlog drva hrasta lužnjaka ( $m^3$ ) u Republici Hrvatskoj prema uzroku odumiranja (izvor: Mikac i dr. 2018)

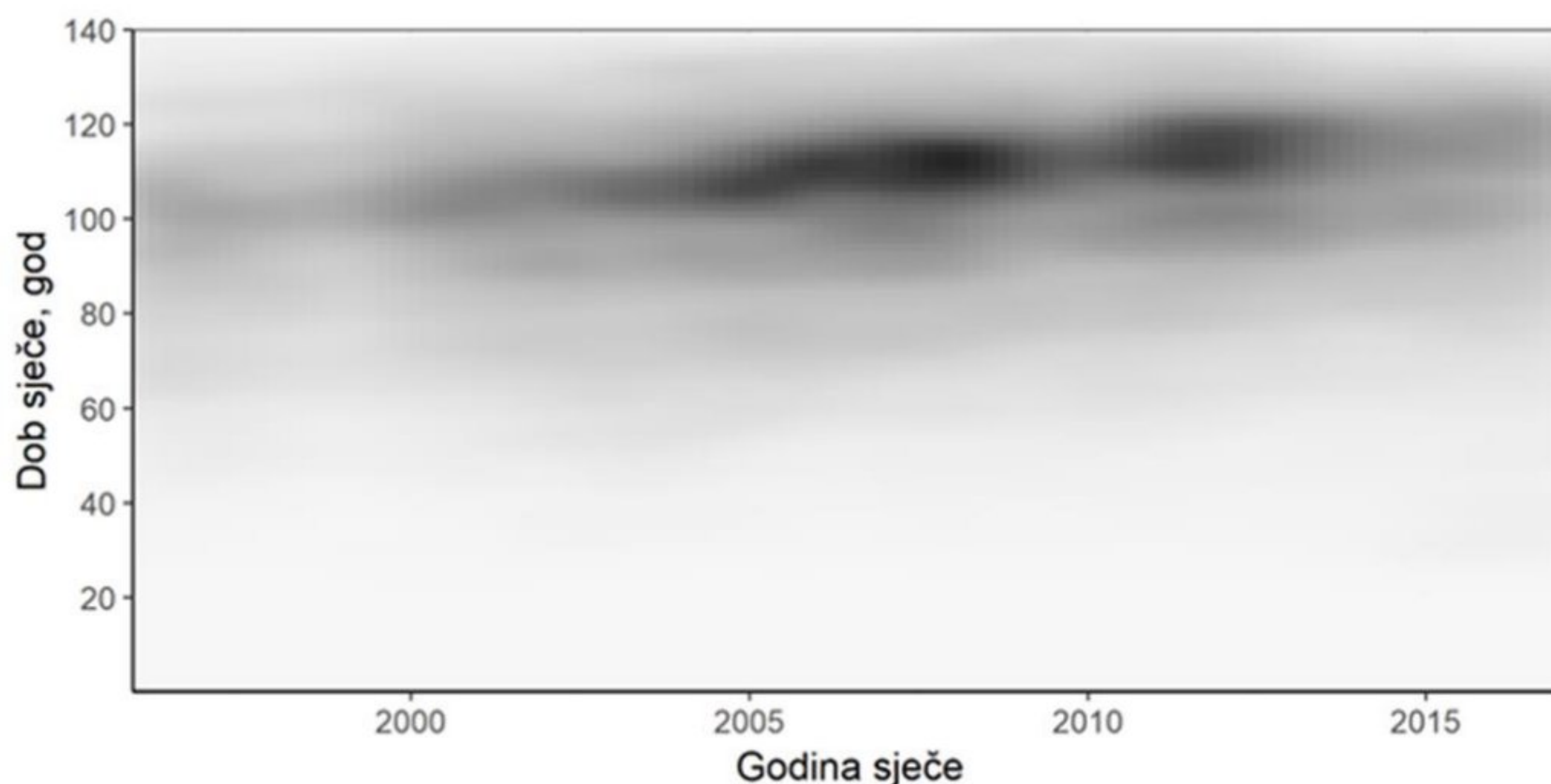
Fluktuacije u klimi mogu biti posljedica unutarnjih faktora prisutnih u samom klimatskom sustavu, kao i vanjskih faktora. Primjerice, vanjski faktori uključuju obilnu emisiju čestica iz vulkanskih erupcija i ljudske aktivnosti koje uvode stakleničke plinove u atmosferu. Ovi staklenički plinovi igraju ključnu ulogu u procesu zagrijavanja atmosfere. (Cindrić Kalin i sur., 2018). Također klimatske promjene imaju značajan utjecaj na prirast stabala. Prirast stabala odnosi se na brzinu rasta i debljinu stabla tijekom određenog vremenskog razdoblja, obično godine dana.

Povećanje prosječnih temperatura može utjecati na prirast stabala. U toplijim uvjetima stabla mogu brže rasti, ali to također može dovesti do povećane potrošnje vode, što može biti problem u sušnim područjima. Promjene u oborinama, uključujući i ekstremne vremenske uvjete poput suša ili obilnih kiša, mogu imati značajan utjecaj na prirast stabala. Sušni uvjeti mogu usporiti rast, dok obilne kiše mogu dovesti do problema poput erozije tla.

Povećana koncentracija ugljičnog dioksida ( $CO_2$ ) u atmosferi može potencijalno potaknuti brži prirast stabala, jer biljke koriste  $CO_2$  za fotosintezu. Međutim, drugi faktori, poput dostupnosti hranjivih tvari i vode, također igraju važnu ulogu. Promjene u temperaturi i oborinama mogu utjecati na širenje štetnika i bolesti koje mogu oštetiti ili uništiti stabla, smanjujući njihov prirast. Učestalost ekstremnih vremenskih događaja poput požara, uragana i suša može značajno utjecati



na prirast stabala i šumski ekosustav. Ovi događaji mogu uništiti stabla ili narušiti njihovu sposobnost te im smanjiti rast.



**Slika 2.** Količina ( $m^3$ ) odumrlih stabala hrasta lužnjaka prema dobi sastojine (izvor: Dekanić i dr. 2019)

*Promjena klime ima značajan utjecaj na odumiranje stabala. Povećanje temperatura i ekstremnih vremenskih uvjeta kao što su suše, poplave i šumski požari često dovode do stresa i pada vitaliteta stabala. Suše, na primjer, smanjuju dostupnost vode, što otežava apsorpciju i transport vode kroz stablo, čime se povećava osjetljivost stabala na bolesti i štetnike.*

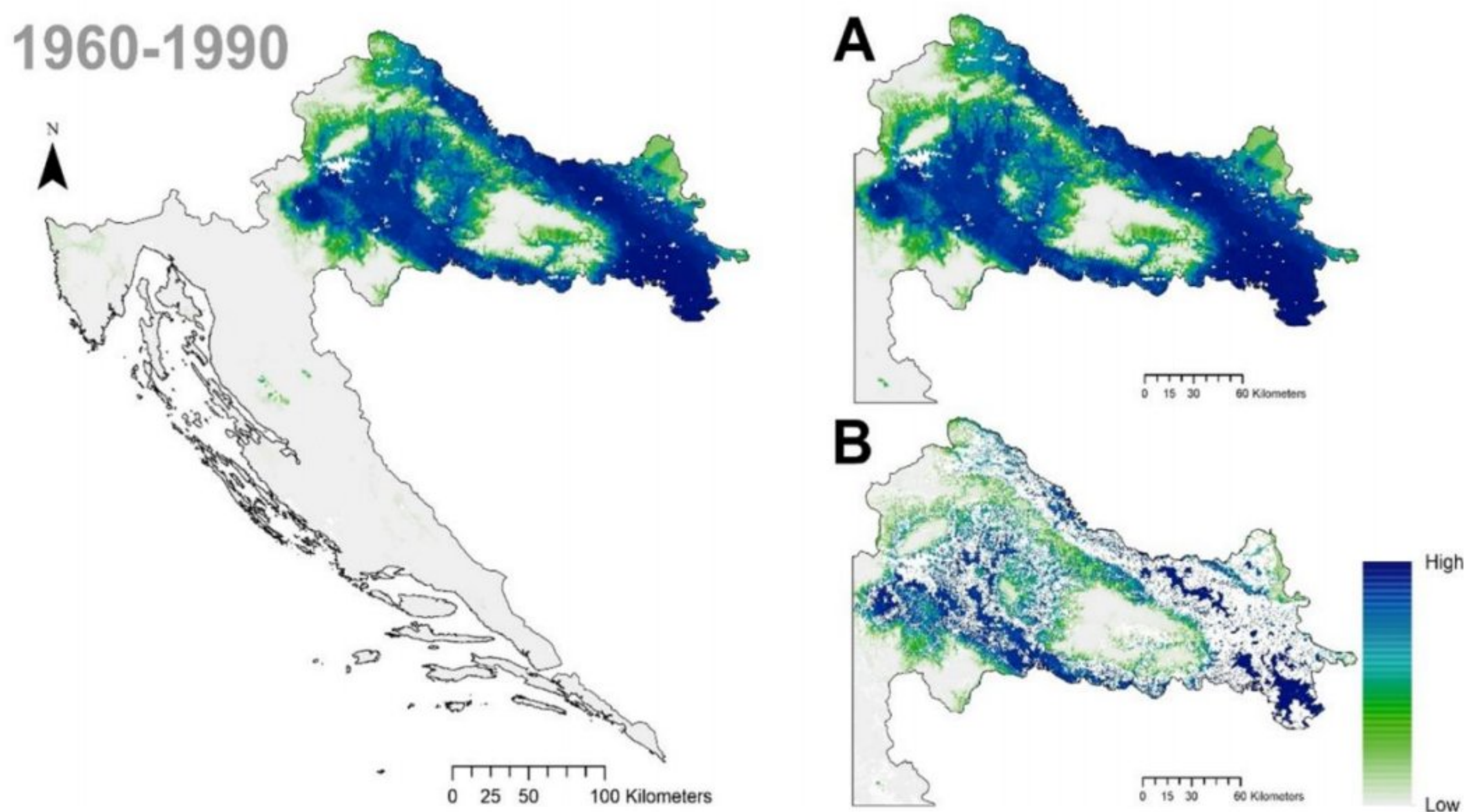
Kolebanja podzemnih voda igra ključnu ulogu u općem hidrološkom ciklusu planete. Glavni čimbenici koji pokreću ovaj proces su energija Sunca i gravitacija. Postoje dva osnovna mehanizma kojima se ostvaruje razmjena vode između površine Zemlje i atmosfere, a to su evapotranspiracija te oborine (Hipel i McLeod 1994).

Promjene razine podzemne vode proizlaze iz punjenja ili ispražnjavanja vodonosnih slojeva zbog raznih procesa. To uključuje unos vode iz padavina, intercepcije vegetacije, površinsko otjecanje ili priljev, infiltraciju, horizontalno i vertikalno kretanje podzemne vode, te tok vode u nezasićenim dijelovima tla i proces evotranspiracije (Pilaš 2006).

U nizinskim područjima je ključan mikro reljef (bara, niza, greda) koji preraspoređuje i usmjerava površinske tokove vode, bilo da se radi o vodi iz oborina ili vodi iz poplava.

Na višim makro i mezoreljefnim oblicima terena, voda se infiltrira u tlo i putuje podzemno prema nižim dijelovima, gdje se često zadržava u depresijama dulje vrijeme prije nego što se isprazni. Ovi utjecaji lokalnih mikroreljefnih karakteristika imaju značajan utjecaj na oblikovanje razmještaja šumskih zajednica u nizinskim područjima (Vukelić i Rauš 1998).

Osim putem oborina, voda u nizinskim područjima dolazi u obliku poplavne vode. Uslijed topljenja snijega u uzvodnim dijelovima sliva, dolazi velika količina vode koja često plavi nizinska područja. U mnogim ekološkim studijama često se promatra podzemna voda i površinski vodotoci kao odvojeni sustavi, iako je važno napomenuti da su s hidrološkog gledišta često međusobno povezani (Brunke i Gonser 1997; Sophocleous 2002).



**Slika 3.** Potencijalni utjecaj promjena klime na ekološku nišu hrasta lužnjaka (izvor: Mikac i dr. 2023).

### 3. MATERIJAL I METODE RADA

#### 3.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno u nizinskim šumama na području Posavskih šuma unutar Spačvanskog bazena i u nizinskim šumama na području šumarije Koška.

Područje nizinskih šuma šumarije Koška rasprostire se na 9.137,48.ha u kojem kao glavna vrsta drveća dominira hrast lužnjak.

Spačva, kao najveći kompleks nizinskih šuma, smještena je na krajnjem djelu Posavine i djelomično prelazi državnu granicu. Ukupna površina Spačve obuhvaća 61.000 hektara šuma, od čega se 43.000 hektara nalazi unutar teritorija Hrvatske.

Hrast u Spačvi raste u dvije osnovne zajednice. Zajednica s Hrastom lužnjakom i velikom žutilovkom na vlažnijim područjima (nizama), dok je druga zajednica s hrastom lužnjakom i običnim grabom na sušim terenima (gredama).

Šume hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom (*Carpino-betuli-Quercetum roboris* (Anić, 1959) Rauš 1971) uspijevaju iznad tipičnih "močvarnih šuma" u kojima rastu obično vrbe, topole, crna joha i poljski jasen. Ove šume povremeno podnose periodičko plavljenje tijekom određenog vremenskog razdoblja.

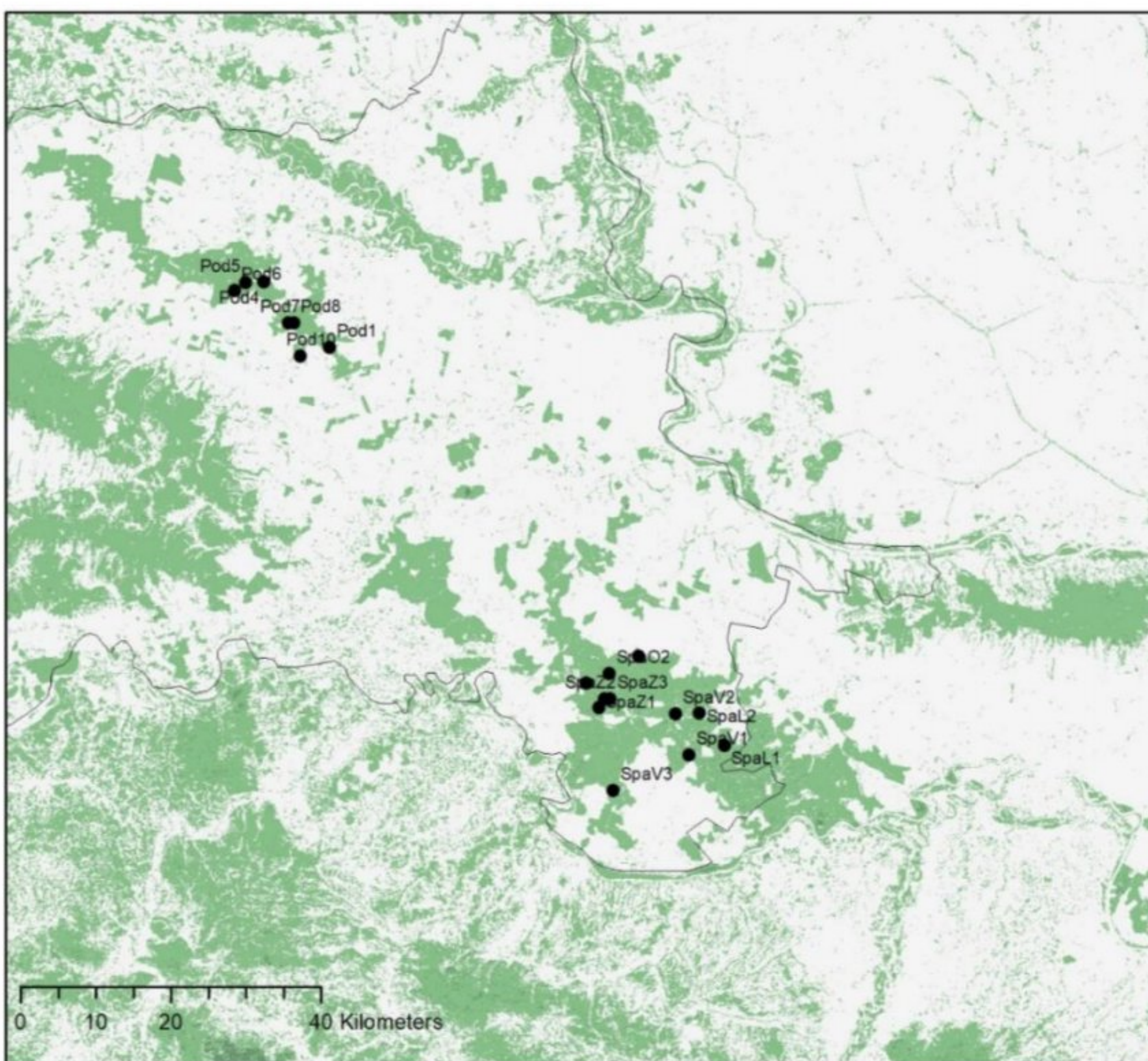
Iznad zajednice hrasta lužnjaka sa velikom žutilovkom izvan dosega poplavnih voda, ali i dalje pod utjecajem visokih podzemnih voda, raste šuma hrasta lužnjaka s običnim grabom (*Genisto elatae-Quercetum roboris* Horvat 1938). Ovdje tlo ostaje vlažno, osim u ekstremnim situacijama poput iznimno visokih vodostaja.

Odabir i postavljanje pokusnih ploha za uzorkovanje hrasta lužnjaka na području istraživanja bili su temeljeni na nekoliko kriterija: geografski položaj, mikroreljef, starost sastojina i utjecaj gospodarenja

### 3.2. Kriteriji za odabir pokusnih ploha

Plohe su odabrane tako da odražavaju geografski raznolike lokacije unutar područja istraživanja. Ovo osigurava reprezentativnost uzorka i uzima u obzir potencijalne razlike u klimatskim uvjetima ili tlu na različitim područjima. Mikroreljef područja ima značajan utjecaj na rast i pridolazak hrasta lužnjaka. Plohe su uspostavljane na različitim mikroreljefima (bara, niza, greda) kako bi se razumjela ta varijabilnost i kako bi se obuhvatili različiti ekološki uvjeti.

Odabir ploha također uzima u obzir starost sastojina hrasta lužnjaka. To omogućuje praćenje različitih faza rasta i razvoja hrasta te da se bolje razumije kako se ekosustav mijenja tijekom vremena. Ako je na tom području bilo prijašnjih aktivnosti gospodarenja šumom, to bi također moglo biti važno za odabir ploha. Utjecaj takvih aktivnosti može imati dugoročne posljedice na šumske ekosustave. Ovim kriterijima osigurava se da pokusne plohe pokrivaju različite aspekte ekoloških čimbenika koji utječu na rast i razvoj hrasta lužnjaka na području istraživanja.



**Slika 4.** Prostorni položaj pokusnih ploha

### 3.3. Prikupljanje podataka

Izmjeru na terenu smo obavili klasičnim metodama za mjerenje karakterističnih elemenata strukture šumskih sastojina, kao i uzimanjem uzoraka za dendrokronološke analize.

Mjerenje karakterističnih elemenata sastojina uključivalo je upotrebu  $\pi$ -vrpce (za mjerenje promjera debla stabala na prsnoj visini) i visinomjera Vertex Haglof IV za mjerenje visine stabala.

Veličinu svake istraživačke plohe odredili smo na licu mjesta, uzimajući u obzir gustoću i vitalitet stabala u sastojini. Da bismo zadovoljili kriterije istraživanja klimatskih promjena na tom području, bilo je potrebno uzeti najmanje 15 dominantnih i zdravih stabala na svakoj plohi. Veličina ploha varirala je ovisno o stanju sastojine, pa su neke bile površine od 1.500 m<sup>2</sup>, dok su druge bile čak dvostruko veće, do 3.000 m<sup>2</sup>.

Da bismo prikupili uzorke za dendrokronološku analizu, izabrali smo dominantna stabla koja nisu bila značajno izložena konkurenciji drugih stabala kako bi pravilnije utvrdili utjecaj klimatskih promjena tijekom njihovog životnog vijeka. Uzorkovanje smo provodili koristeći Presslerovo svrdlo proizvođača Haglof, promjera 5,1 mm, različitih duljina ovisno o potrebama i veličini stabala, pri čemu smo uzimali uzorke duljine između 30 i 100 cm.

Presslerovo svrdlo se sastoji od tri glavna dijela: svrdla, izvlakača (igle) i ručke. Ovo svrdlo se koristi za uzimanje uzoraka na kojima su vidljivi godovi stabala, budući da se tijekom bušenja prekidaju okomiti provodni elementi i otvori postaju jasno vidljivi na uzorku. Postupak uzorkovanja obavlja se na prsnoj visini stabla, tj. na visini od 1,30 metara iznad tla, i to sa dva suprotna uzorka na svakom stablu.

### 3.4. Obrada podataka

Priprema uzoraka za dendrokronološke analize izvedena je u Laboratoriju za dendroekologiju na Fakultetu Šumarstva i drvne tehnologije. Prikupljeni uzorci su izvađeni iz transportnih spremnika, (plastične slamke). Nakon toga, uzorci su ostavljeni da se suše 24 sata na sobnoj temperaturi.

Sljedeći korak u pripremi uzoraka bio je njihovo pričvršćivanje na drvene podloške koristeći obično ljepilo za drvo. To je omogućilo pripremu uzoraka za daljnju obradu na tračnoj brusilici s različitim granulacijama brusnog papira, od 100 do 600. Konačna faza pripreme uzoraka uključivala je nanošenje krede na brušenu površinu uzorka kako bi se istaknula razlika u veličini provodnih elemenata i olakšalo prepoznavanje godina.

Prikupljeni uzorci su fotografirani korištenjem sustava ATRICS (Advanced Tree Ring Image Capturing System). Sustav ATRICS se sastoji od automatiziranog mjernog stola (Isel MS200HT), binokulara (Zeiss Stemi 305) i digitalne kamere (Infinity Lumenera 1), koji su povezani s računalom. Tijekom fotografiranja, automatizirani mjerni stol se pomakne kako bi se stvorio niz fotografija koje se potom spajaju u jedinstveni kompozit, koji predstavlja digitalni snimak jednog uzorka.

Tijekom postupka fotografiranja, na svakom uzorku se postavlja kalibracijsko stakalce. To omogućuje pretvaranje vrijednosti širine godina, koje se očitavaju iz piksela na fotografiji, u stotinke milimetra tijekom analize.

Očitavanje širine godina (TRW) provodilo se korištenjem programa CooRecorder i CDendro, specijaliziranih alata za potrebe dendrokronologije. Preciznost očitavanja širine godina iznosi 1/100 mm i varira ovisno o iskustvu i vještini operatera koji provodi očitavanje.

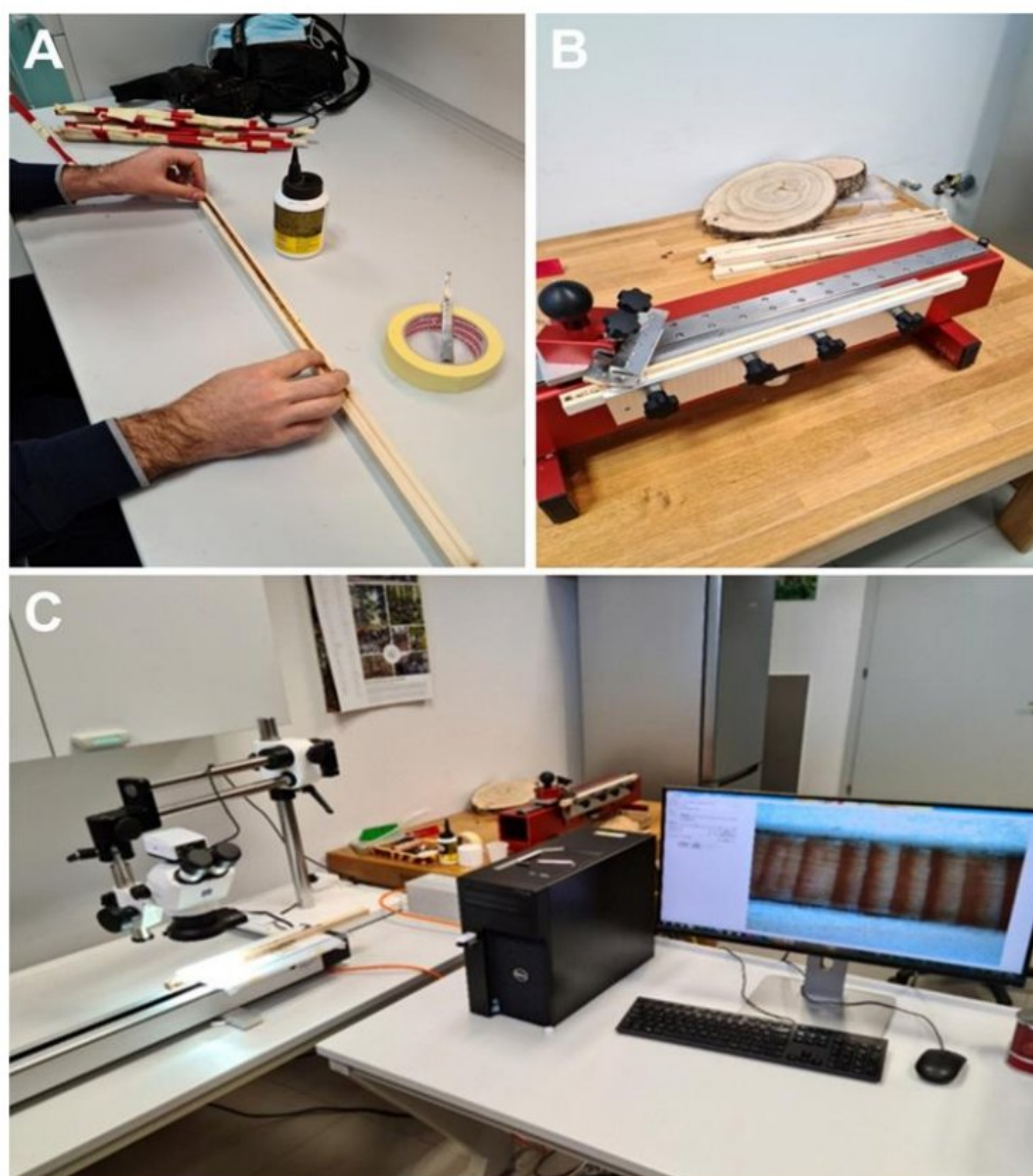
Program ima sposobnost automatskog očitavanja godina temeljenog na kontrastu između ranog i kasnog drvenog tkiva, što se pokazalo praktičnim za četinjače. Međutim, za prstenasto-porozne listopadne vrste poput hrasta, najbolje je očitavanje izvršiti ručno, odnosno pojedinačno određivanje granica svakog pojedinog goda.

Proces uklapanja dobivenih kronologija u vremenski okvir započinje datiranjem svake pojedinačne kronologije, što podrazumijeva određivanje posljednje godine rasta uzorkovanog stabla. Kod živih stabala, obično je relativno jednostavno utvrditi godinu posljednjeg goda, posebno ako su uzorci uzimani tijekom perioda mirovanja vegetacije. To je općenito preporučena

praksa za uzorkovanje. Međutim, ako su uzorci uzimani tijekom vegetacijskog razdoblja, na primjer, ljeti, moguće su poteškoće u određivanju godine posljednjeg goda, jer različite vrste drveća imaju različite početke i trajanje formiranja novih godina.

Sljedeći korak je kontrola kvalitete očitavanja, koja se obično izvodi uspoređivanjem kronologija dvaju uzoraka s istog stabla. Ovo smanjuje mogućnost greške prilikom očitavanja uzrokovane oštećenjem jednog uzorka, nedovoljno preciznom pripremom ili previdom. Nakon toga slijedi usporedba svih provjerenih parova s iste plohe ili lokaliteta. Ovaj postupak se obavlja uz pomoć programa TSAPWin i Cofecha, koji koriste grafičke prikaze i statističke analize za provjeru podudarnosti kronologija.

Stoga se u ovom postupku uklapanja kronologija često oslanja na statističke metode, uz dijelom grafičke analize, također koristeći programe TSAPWin i Cofecha.



**Slika 5.** Postupak pripreme uzoraka (lijepljenje A, mehanička priprema B i skeniranje C)

### 3.5. Analiza podataka

Standardizacija ili uklanjanje varijabilnosti niske frekvencije provodi se kako bi se minimizirao utjecaj bioloških trendova rasta stabala, gospodarskih zahvata i prirodnih nepogoda, kako bi se maksimalno zadržao utjecaj klimatskih čimbenika. Biološki trend rasta je najuočljiviji u mlađim fazama razvoja stabla kada prirodno raste brže i postiže veći radijalni prirast. Međutim, ovi podaci o prirastu često nisu pouzdani za usporedbu s vrijednostima klimatskih čimbenika, kao ni za određivanje godina s neuobičajeno velikim prirastima koji se mogu dogoditi zbog promjena u strukturi sastojine. Stoga se standardizacijom uklanjaju svi ti neklimatski utjecaji na podatke.

Postupak standardizacije obično uključuje korištenje statističkih metoda. U ovom istraživanju, za tu svrhu korištena je Spline funkcija, uz korištenje paketa `dplR` u R-u (Bunn, 2008). Prije standardizacije, svaki pojedinačni uzorak je stabilizirana varijanca pomoću `power` funkcije.

Nakon provedene standardizacije, reziduali između mjerenih i izjednačenih podataka su izračunati kao razlika između njih. Ti reziduali se koriste za izradu kronologije za svaku pojedinu lokaciju i vrstu drveća, omogućujući tako precizniju analizu utjecaja klimatskih čimbenika na rast stabala.

Standardizirane serije, ili indeksne vrijednosti, su agregirane u jedinstvenu kronologiju RWI koristeći Tukey's biweight robust mean metodu (Mosteller i Tukey, 1977) u R-u. Ovaj pristup omogućuje uklanjanje ekstremnih vrijednosti koje mogu znatno utjecati na prosječnu vrijednost kronologije.

Korelacijske analize između mjesečnih vrijednosti hidroloških i klimatskih faktora te rezidualnih kronologija (RWI) izvršene su za vremenski raspon od 1900. do 2020. godine.

Za provođenje analize koristila se `dcc` funkcija (*correlation function analysis*) u `treeclim` paketu (Zang i Biondi 2015.)



## 4. CILJEVI

Ciljevi ovoga istraživanja su:

- analizirati utjecaj klimatskih čimbenika (oborina i temperatura zraka) na godišnju varijabilnost širina godova hrasta lužnjaka u istočnoj Slavoniji
- utvrditi razlike te usporediti klimatsku osjetljivost (korelacije s klimom) hrasta lužnjaka između dva šumska bazena
- odrediti koji je temeljni klimatski čimbenik koji utječe na rasta stabala hrasta lužnjaka

## 5. REZULTATI

### 5.1. Korelacije s mjesečnim vrijednostima klimatskih čimbenika

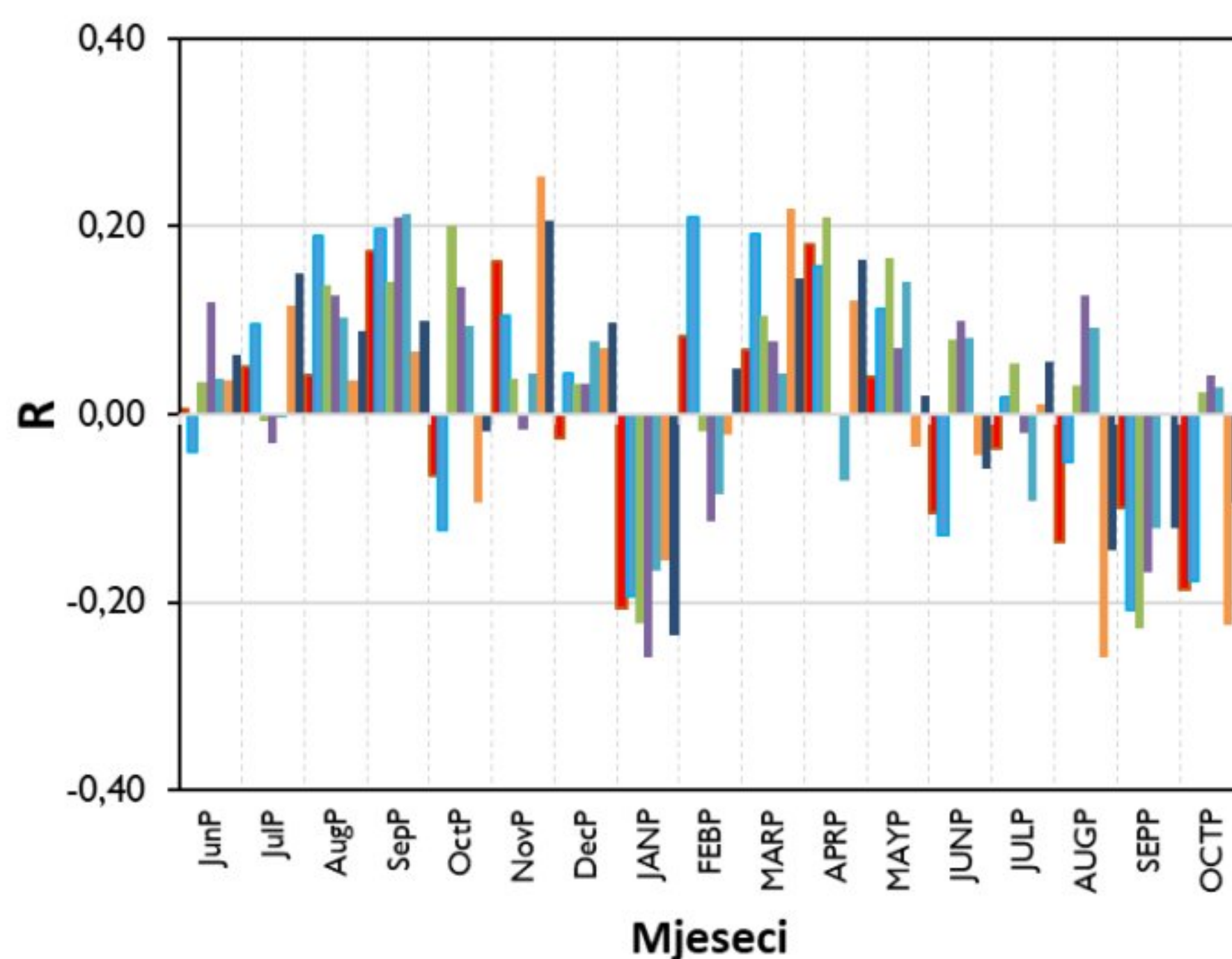
Ukupno je prikupljeno, kvalitetno datirano i korišteno za daljnje analize 7 ploha na području Koške i 10 ploha na području Spačvanskog bazena. Ukupni broj uzoraka (izvrtaka iz stabala) je 420 komada. Konstruirane kronologije širina godova hrasta lužnjaka imaju izraženi populacijski signal (EPS) veći od 0.85 za razdoblje od 1900 do 2020. godine. Stoga su korelacijske analize s oborinama i temperaturom zraka napravljene za razdoblje od 1901 – 2020. godine s pojedinačnim mjesečnim vrijednostima navedenih klimatskih čimbenika.

**Tablica 1.** Popis istraživanih ploha prema područjima s koordinatama i nadmorskom visinom

Red.br.	Područje	site	latitude	longitude	elevation
1	Koška	Pod1	45,50	18,41	100
2	Koška	Pod10	45,49	18,36	106
3	Koška	Pod4	45,58	18,30	88
4	Koška	Pod5	45,58	18,27	103
5	Koška	Pod6	45,57	18,25	109
6	Koška	Pod7	45,53	18,34	106
7	Koška	Pod8	45,53	18,35	106
8	Spačva	SpaL1	45,01	19,06	87
9	Spačva	SpaL2	45,05	19,02	76
10	Spačva	SpaO1	45,12	18,92	75
11	Spačva	SpaO2	45,10	18,87	94
12	Spačva	SpaV1	45,00	19,00	93
13	Spačva	SpaV2	45,05	18,98	83
14	Spačva	SpaV3	44,96	18,87	92

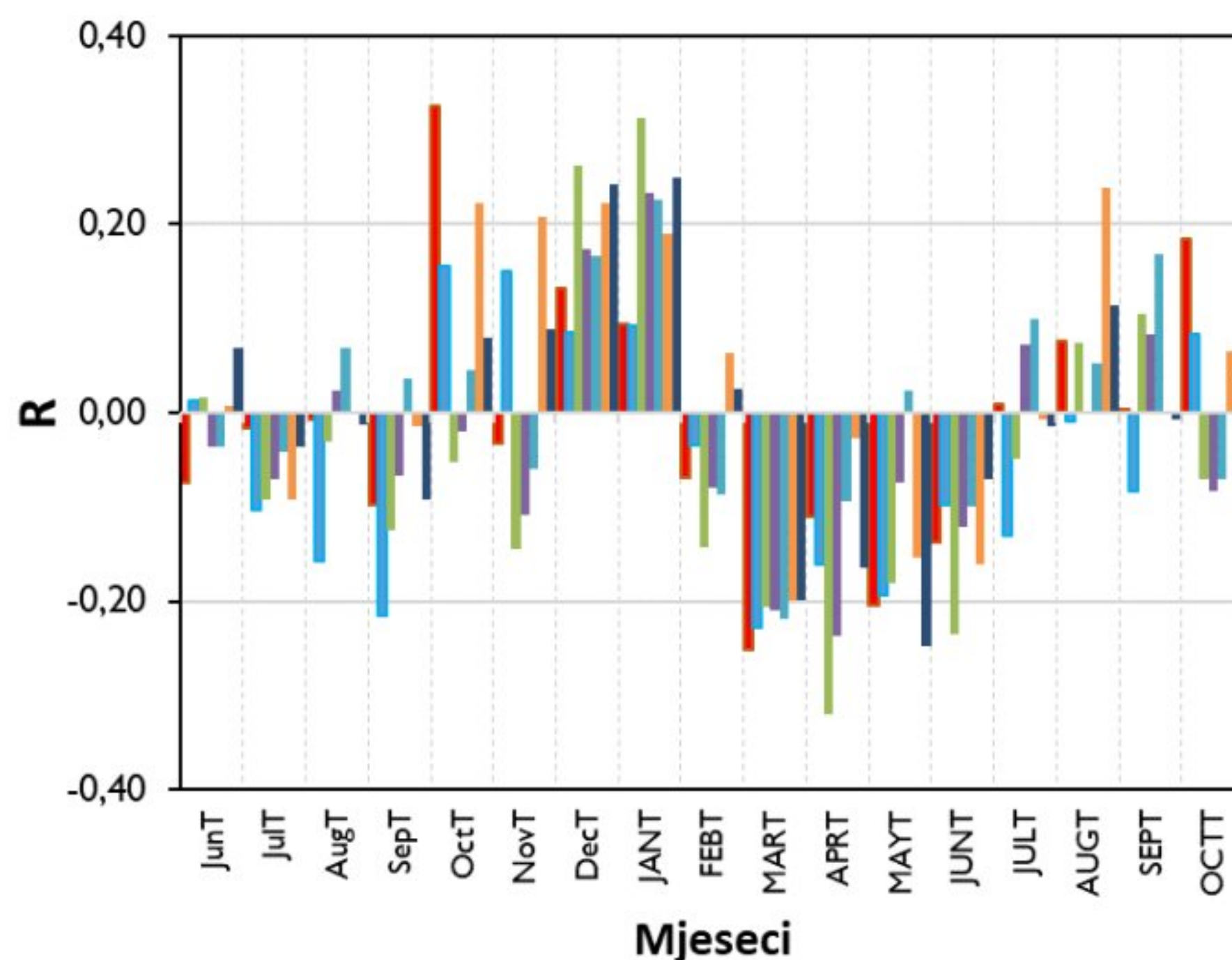
15	Spačva	SpaZ1	45,06	18,85	94
16	Spačva	SpaZ2	45,07	18,86	94
17	Spačva	SpaZ3	45,07	18,87	91

Korelacijski koeficijenti između oborina i indeksnih kronologija hrasta za područje Koške ukazuju da oborine u ljeto tekuće godine maju pozitivan utjecaj na rast stabala kao i oborine u proljeće tekuće godine. Negativne korelacije su utvrđene za oborine u siječnju kao i za oborine u kolovozu tekuće godine (Slika 6).



**Slika 6.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti oborina i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške. Malim slovima su označene korelacije za mjesec prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljene pojedinačni lokaliteti.

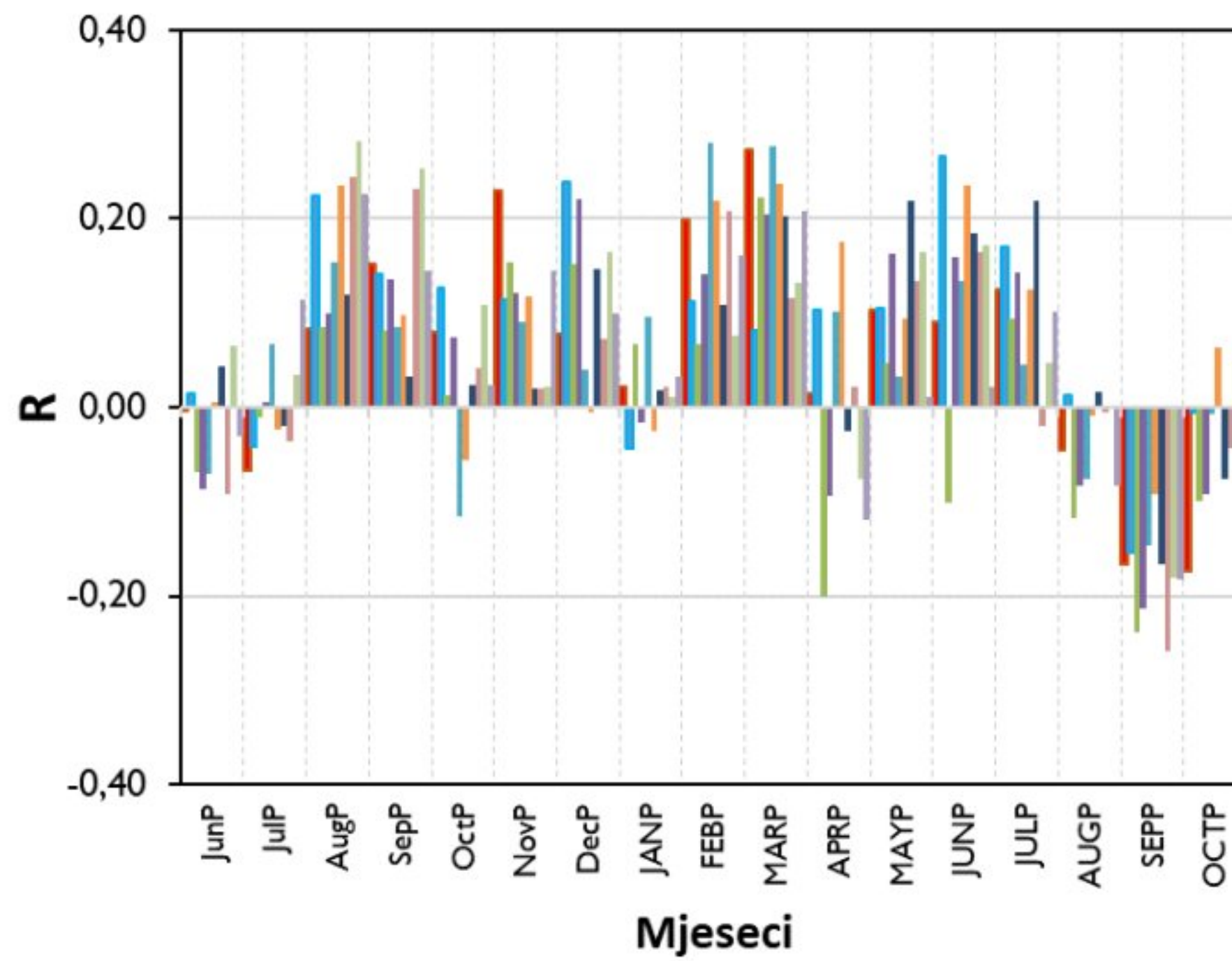
Korelacije s mjesečnim vrijednostima temperature zraka su negativne od veljače do lipnja dok su pozitivne sa temperaturom zraka u zimskim mjesecima prethodne godine (Slika 7).



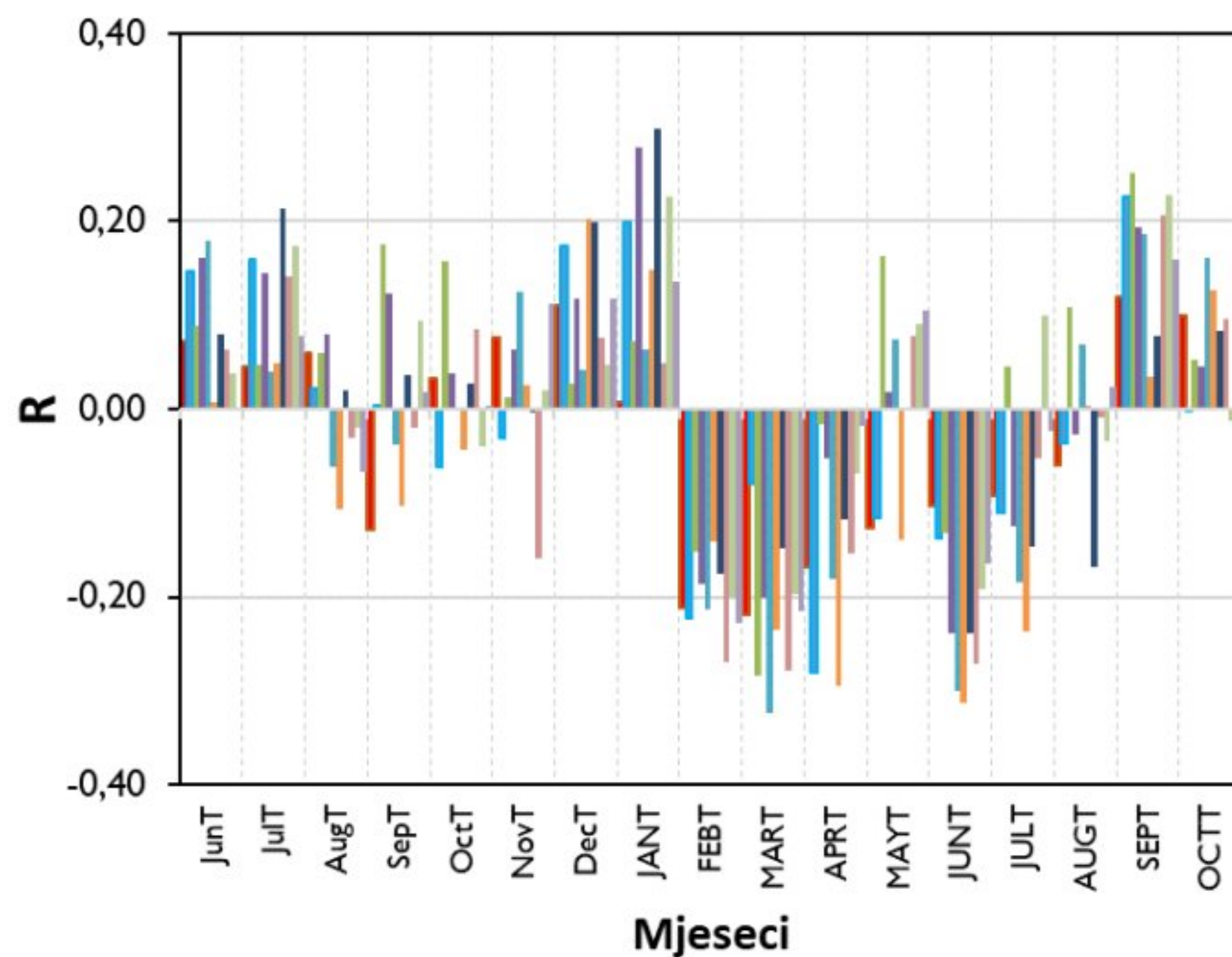
**Slika 7.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti temperature zraka i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške. Malim slovima su označene korelacije za mjesec prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljeni pojedinačni lokaliteti.

Za područje Spačve utvrđene su pozitivne korelacije oborinama i to naročito u proljeće tekuće godine (veljača – ožujak) i ljeto (svibanj – srpanj). Negativne korelacije s oborinama su utvrđene jedino u rujnu tekuće godine (Slika 8).

Za razliku od oborina, temperature zraka pokazuju negativne korelacije u proljetnim mjesecima (veljača – ožujak) i ljeto tekuće godine (lipanj) dok visoke temperature zraka u zimi prethodne godine djeluju pozitivno na rast stabala na području spačvanskog bazena (Slika 9).



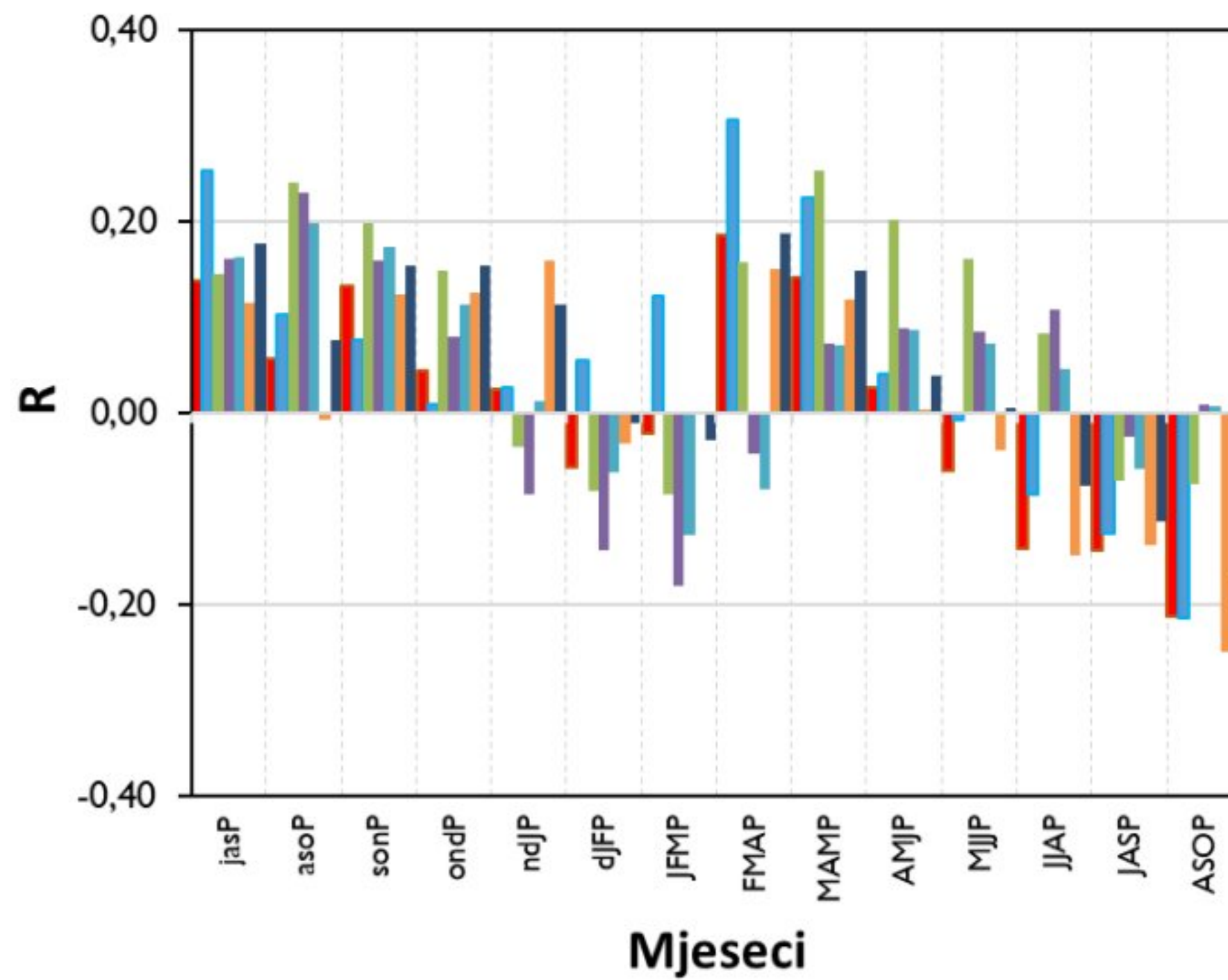
**Slika 8.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti oborina i kronologije hrasta lužnjaka za područje Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesec prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljeni pojedinačni lokaliteti.



**Slika 9.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti temperature zraka i kronologije hrasta lužnjaka za područje Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesec prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljeni pojedinačni lokaliteti.

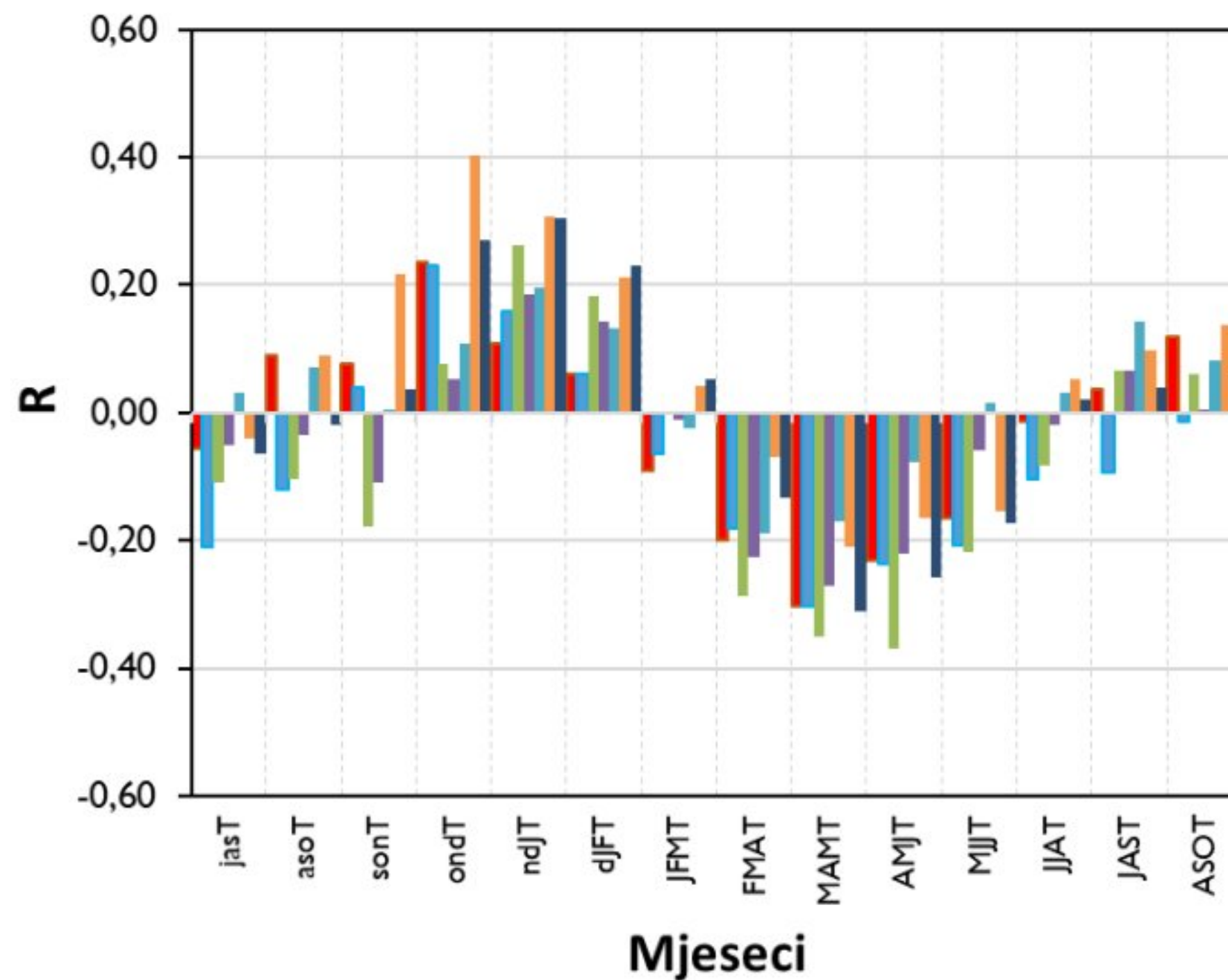
## 5.2. Korelacije s prosječnim sezonskim vrijednostima klimatskih čimbenika

Sezonske korelacije, koje predstavljaju odnos između sezonskih vrijednosti klime (suma oborina u tri mjeseca ili prosječna temperatura zraka u 3 mjeseca) pokazuju da veće količine oborina u proljeće (suma oborina od veljače do travnja) ima pozitivan utjecaj na rasta stabala hrasta lužnjaka na području Koške (Slika 10).



**Slika 10.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između sume oborina za duljinu sezone od 3 mjeseca (npr. FMA – veljača do travanja) i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške. Malim slovima su označene korelacije za mjesece prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljeni pojedinačni lokaliteti.

Analiza sezonskih korelacija za temperaturu zraka ukazuje da visoke zimske temperature zraka prethodne godine utječu pozitivno na rast stabala hrasta a ljetne temperature tekuće godine utječu negativno na rast hrasta na području Koške (Slika 11).

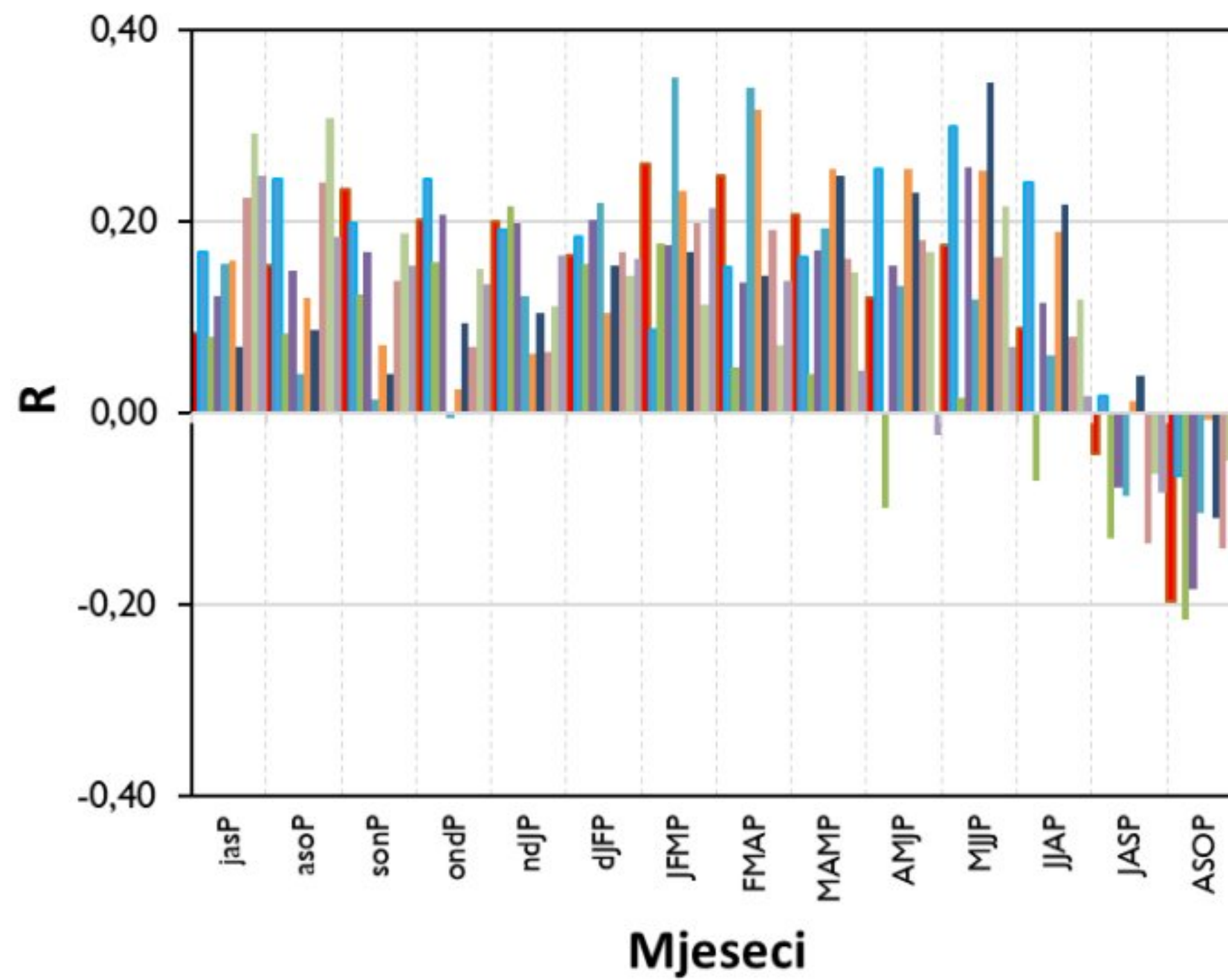


**Slika 11.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između prosječnih vrijednosti temperature zraka za 3 mjeseca (npr. FMA – veljača do travanja) i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške. Malim slovima su označene korelacije za mjesece prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljene pojedinačni lokaliteti.

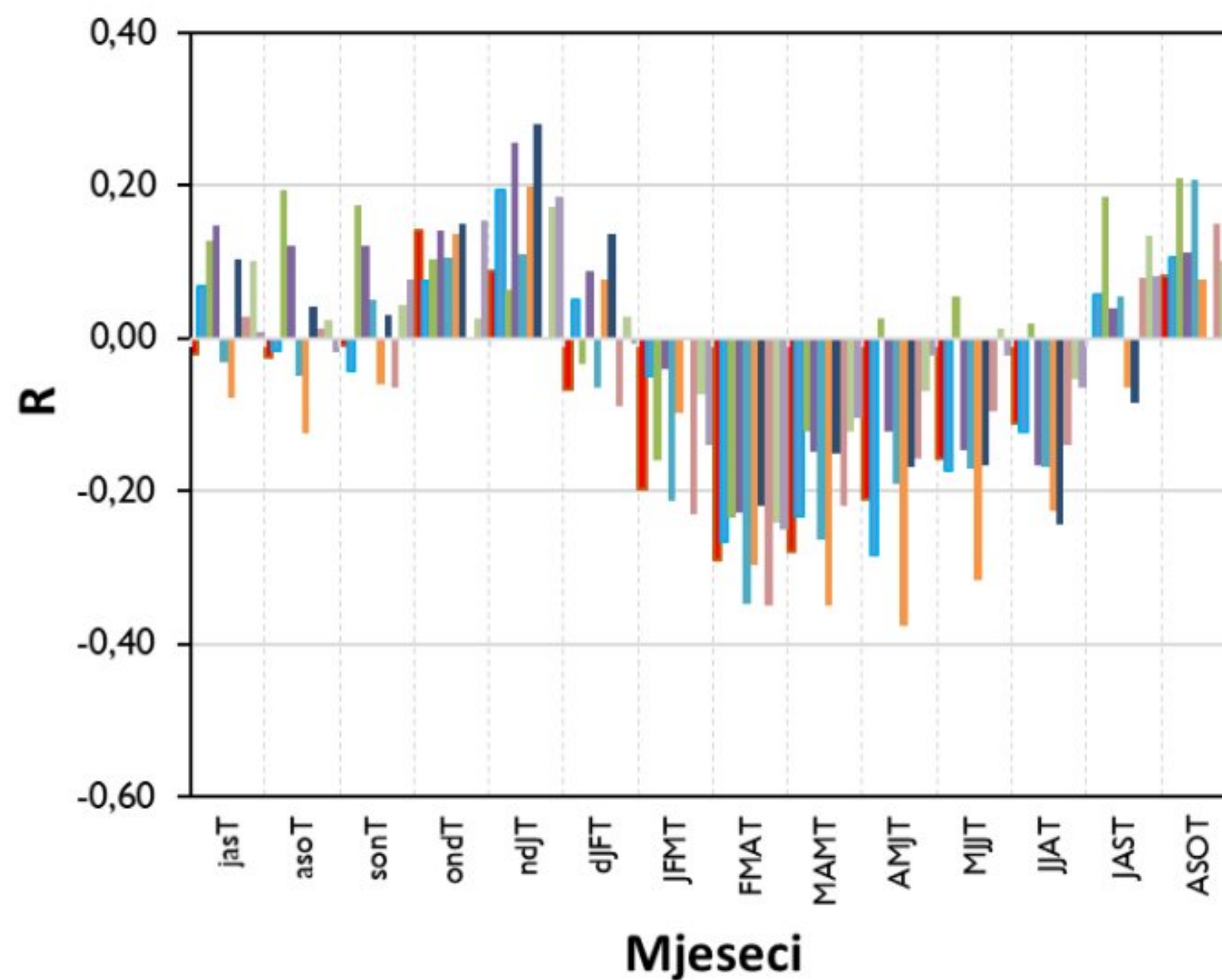
Za razliku od Koške na području Spačve svi lokaliteti pokazuju značajan pozitivan utjecaj oborina na rast stabala hrasta i to naročito u razdoblju od veljače do travnja tekuće godine (Slika 12).

Temperature zraka tijekom istog razdoblja (proljeće) od veljače to travnja djeluju negativno na rasta stabala hrasta lužnjaka (Slika 13).





**Slika 12.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između sume oborina za duljinu sezone od 3 mjeseca (npr. FMA – veljača do travanja) i kronologije hrasta lužnjaka za područje Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesece prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljeni pojedinačni lokaliteti.

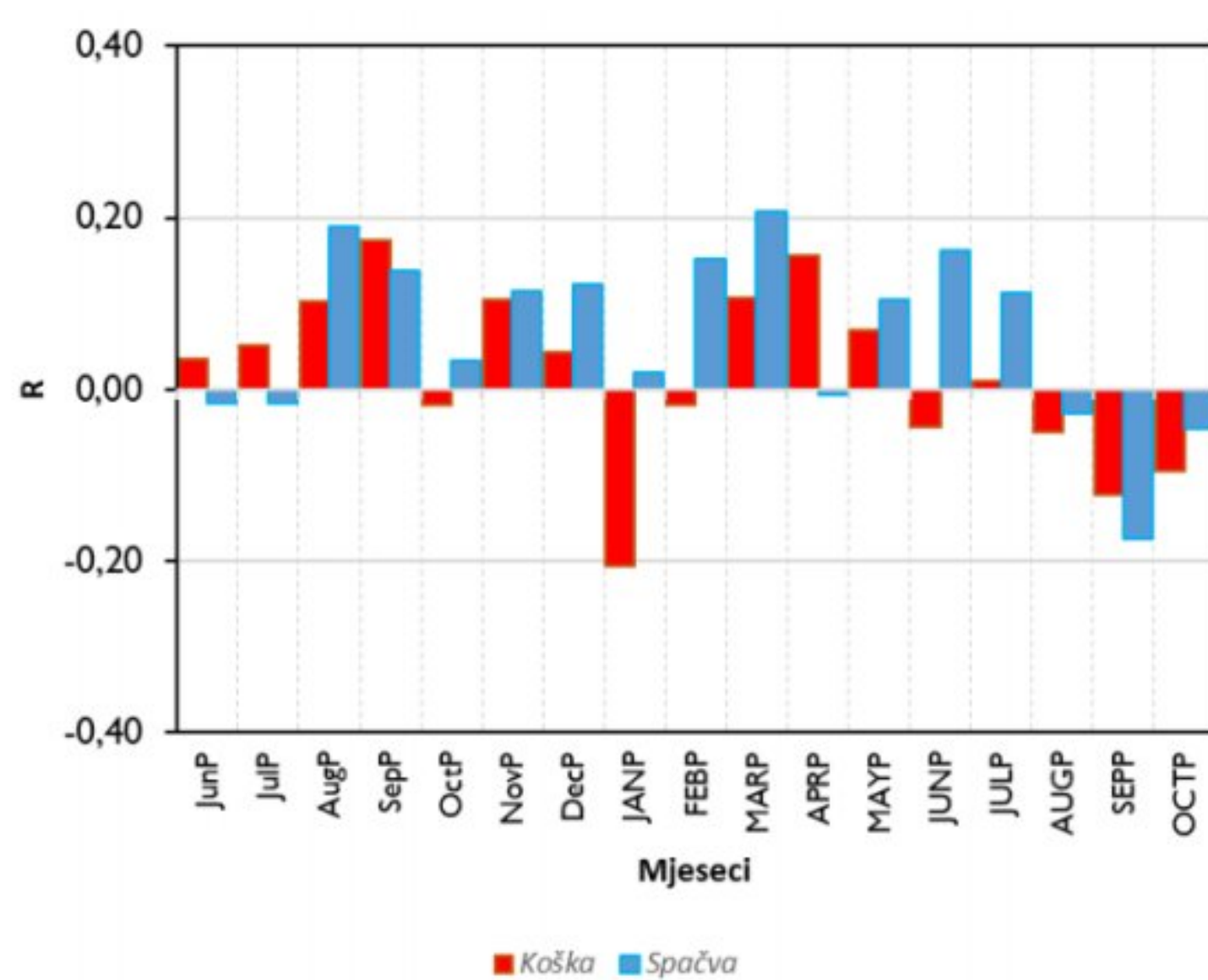


**Slika 13.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između prosječnih vrijednosti temperature zraka za 3 mjeseca (npr. FMA – veljača do travanja) i kronologije hrasta lužnjaka za područje Spačve.

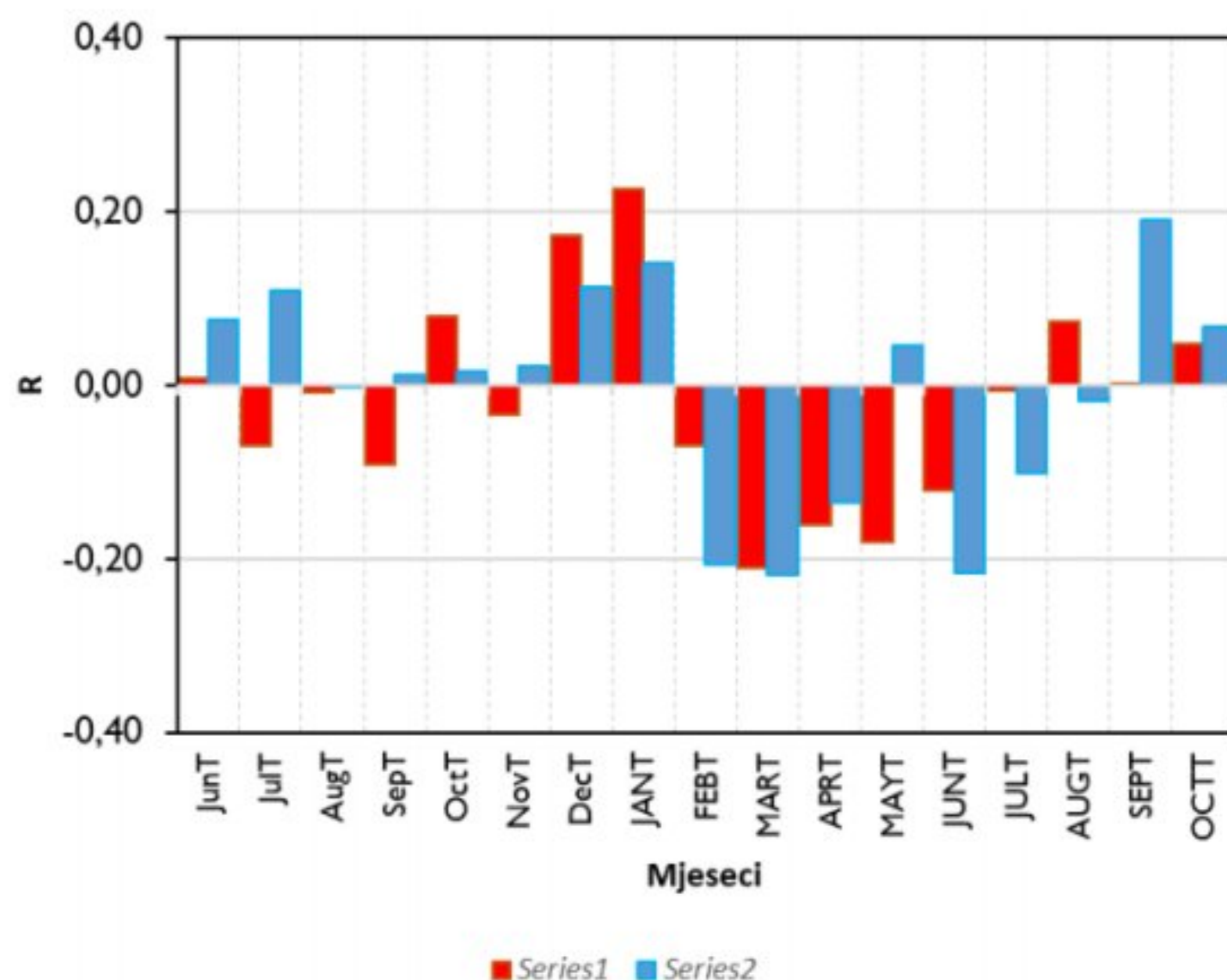
Malim slovima su označene korelacije za mjesece prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda. Različitim bojama su predstavljeni pojedinačni lokaliteti.

### 5.3. Prosječna korelacija s klimatskim čimbenicima za istraživana područja

Prosječne korelacije prema područjima (prosjeck korelacijskih koeficijenata za Košku i Spačvu) ukazuju na sličnosti i razlike o utjecaju promatranih klimatskih čimbenika na rasta stabala hrasta lužnjaka. Na slici 14. su prikazane prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata za mjesečne vrijednosti oborina između Koške i Spačve gdje je vidljivo da na području Koške oborine u siječnju tekuće godine (JANP) djeluju negativno na rast stabala hrasta dok u Spačvi to nije slučaj.

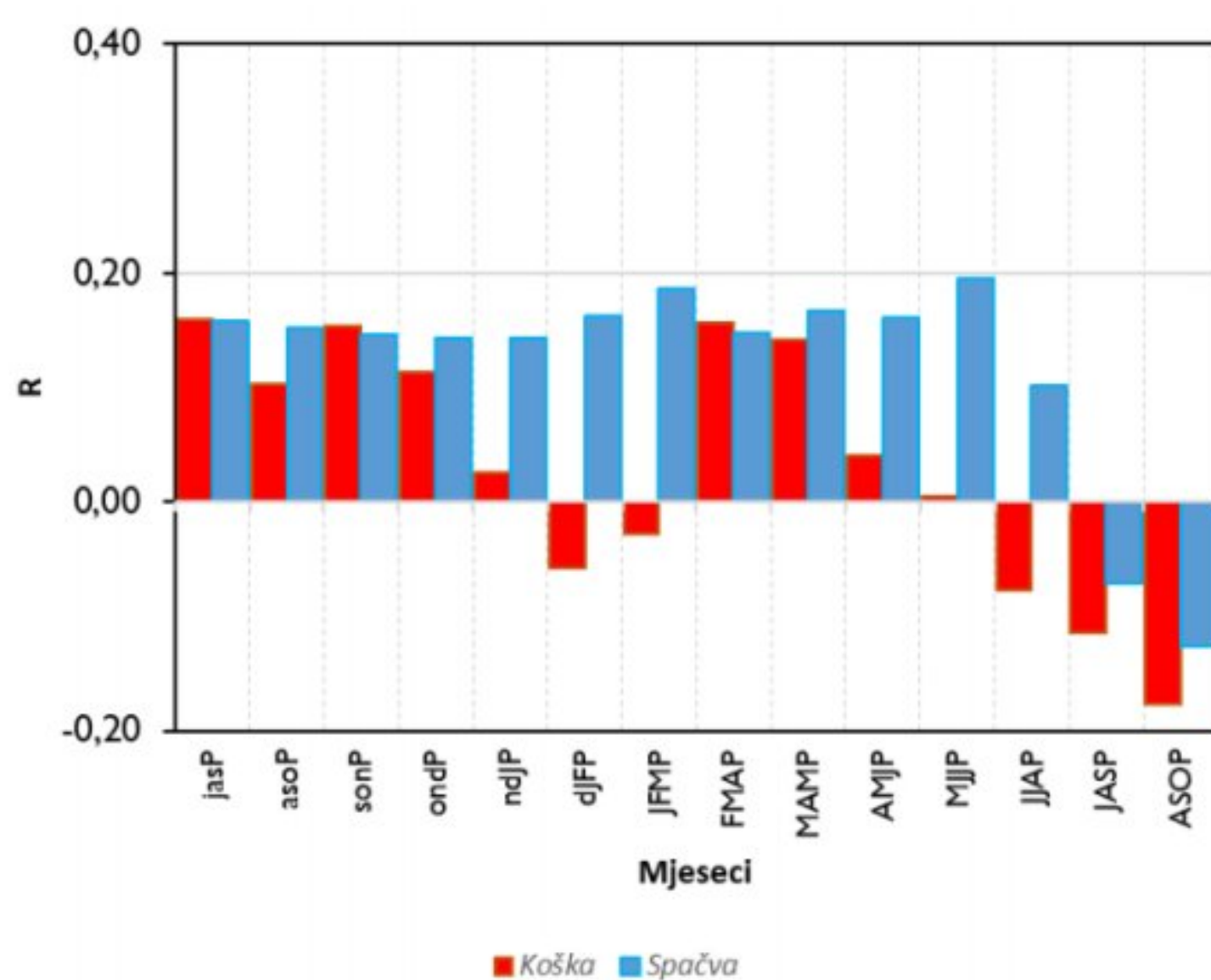


**Slika 14.** Prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti oborina i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške i Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesece prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda.

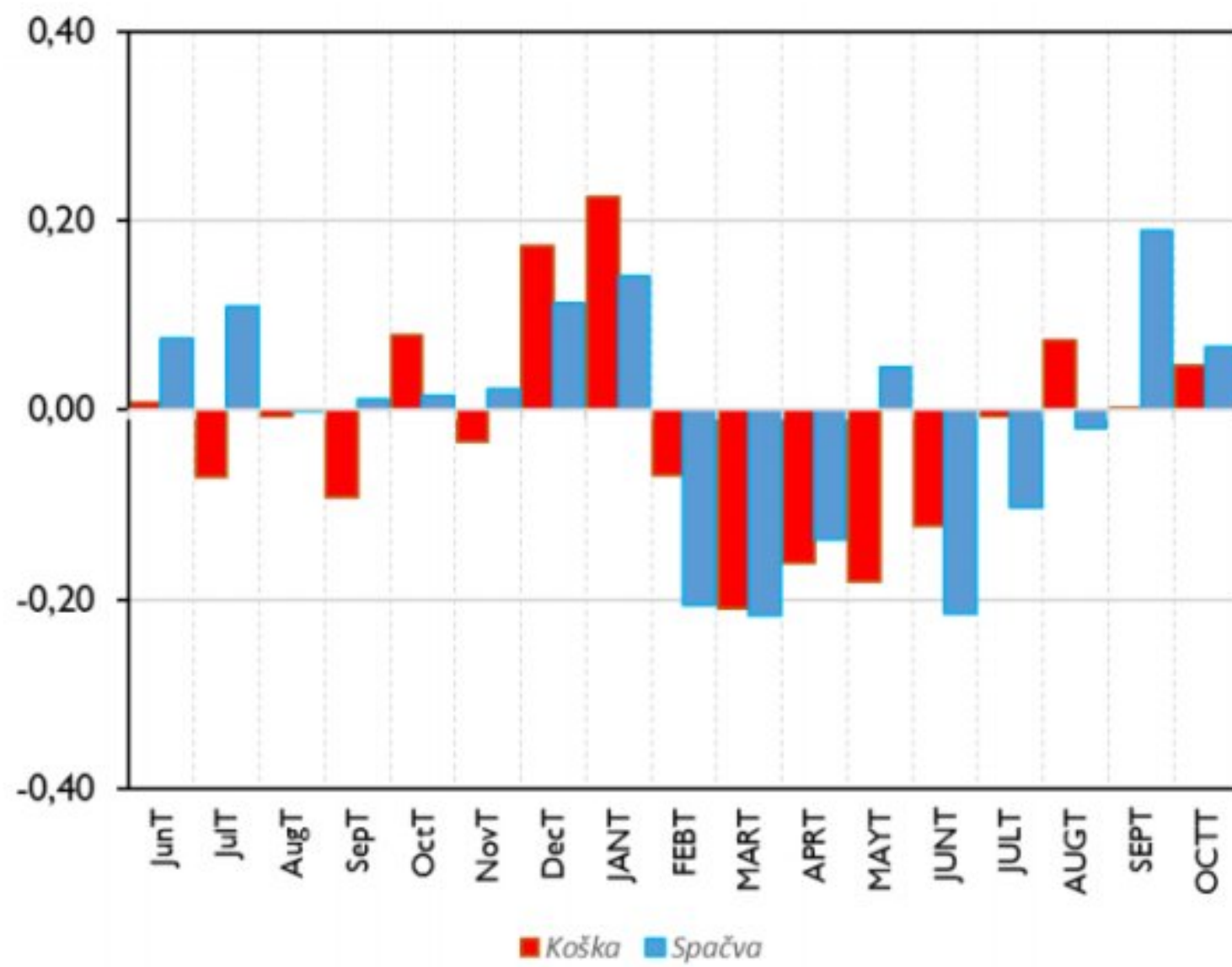


**Slika 15.** Prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata između mjesečnih vrijednosti temperature zraka i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške i Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesec prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda.

Značajne razlike između Spačve i Koške su utvrđene za sezonske vrijednosti oborina (Slika 16). Korelacije s oborinama u zimskom periodu prethodne godine su značajno više u Spačvi i djeluju pozitivno na rast stabala hrasta dok na području Koške nemaju značajan utjecaj.



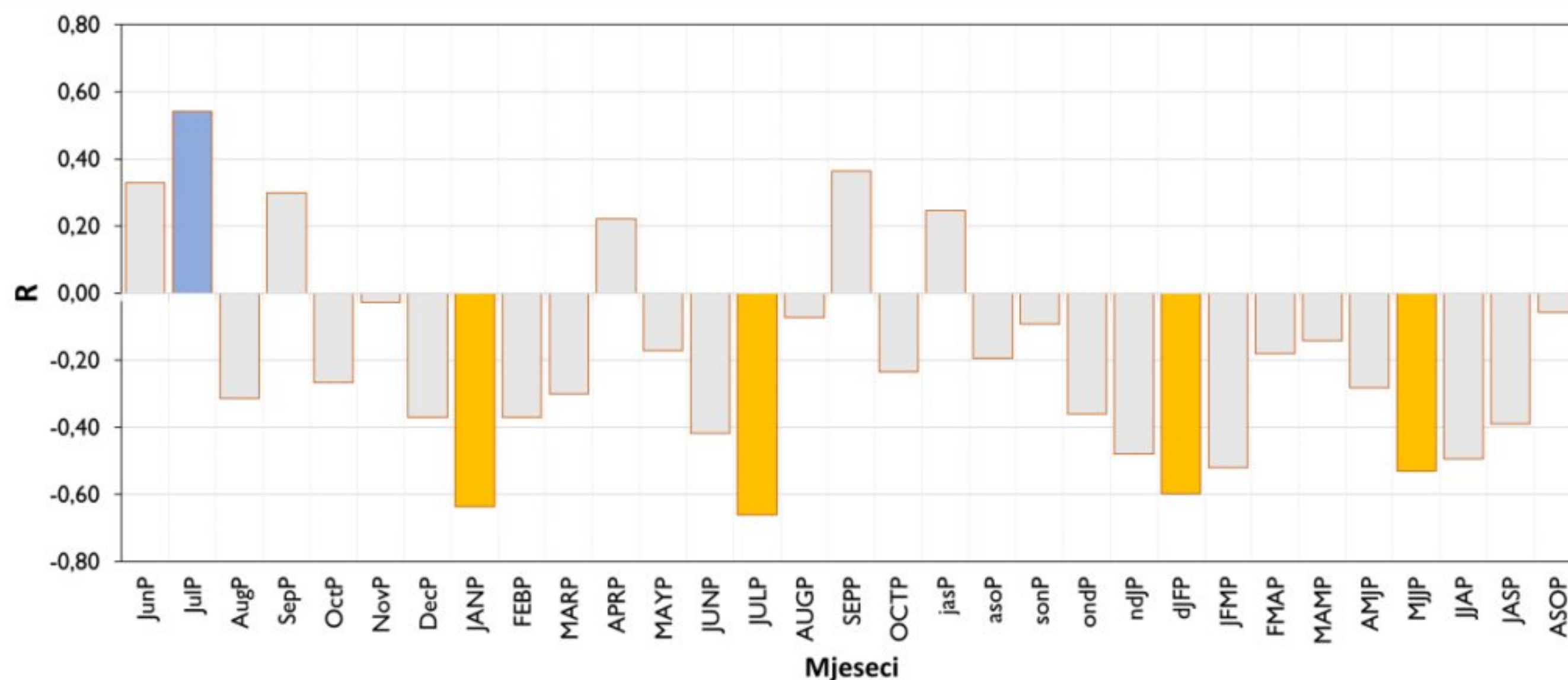
**Slika 16.** Prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata između tromjesečnih (sezonskih) vrijednosti oborina i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške i Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesec prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda.



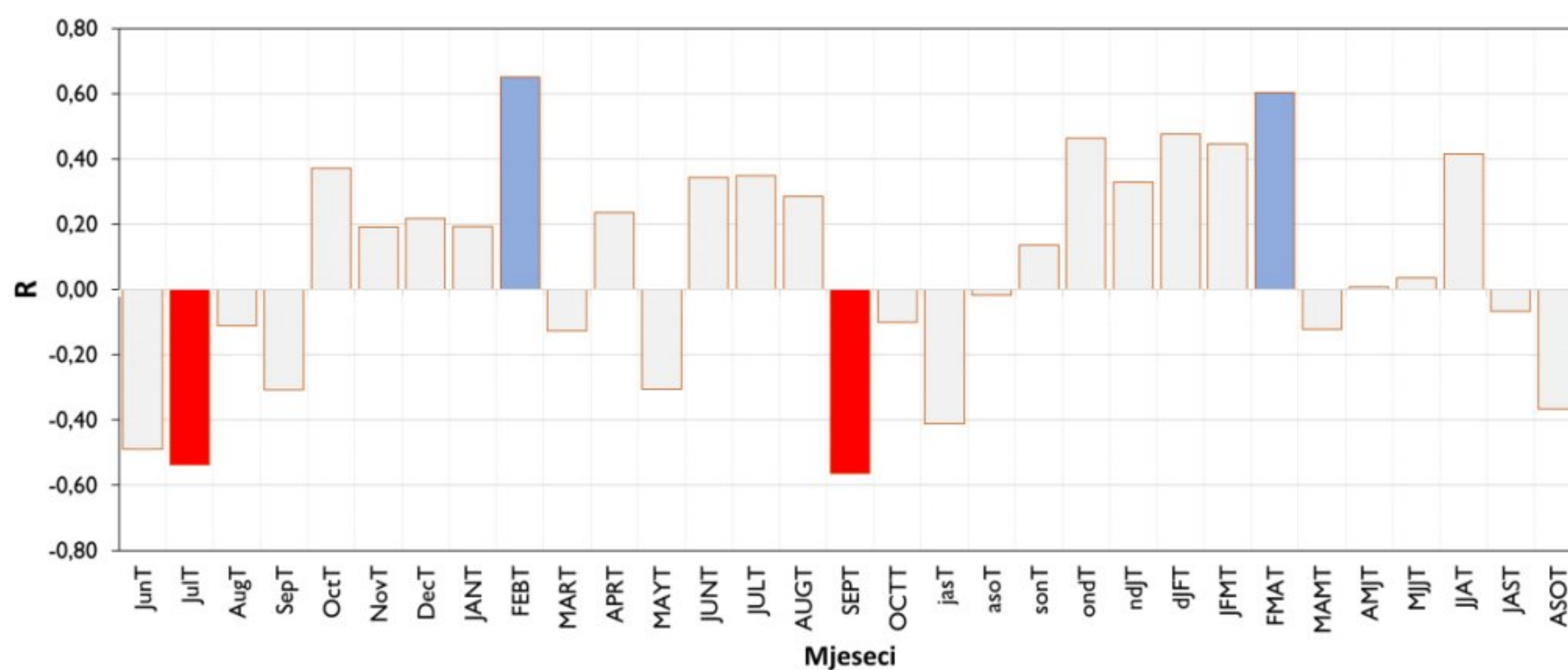
**Slika 17.** Prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata između tromjesečnih (sezonskih) vrijednosti temperature zraka i kronologije hrasta lužnjaka za područje Koške i Spačve. Malim slovima su označene korelacije za mjesece prethodne godine a velikim slovima tekuće godine nastanka goda.

#### 5.4. Utjecaj nadmorske visine (mirkoreljefa) na vrijednosti korelacijskih koeficijenata s klimom

Analizom je utvrđen značajan utjecaj nadmorske visine na vrijednosti korelacijskih koeficijenata na istraživanom području. Na slikama 18 i 19 je prikazan utjecaj nadmorske visine na jačinu signala za oborine i temperature zraka.

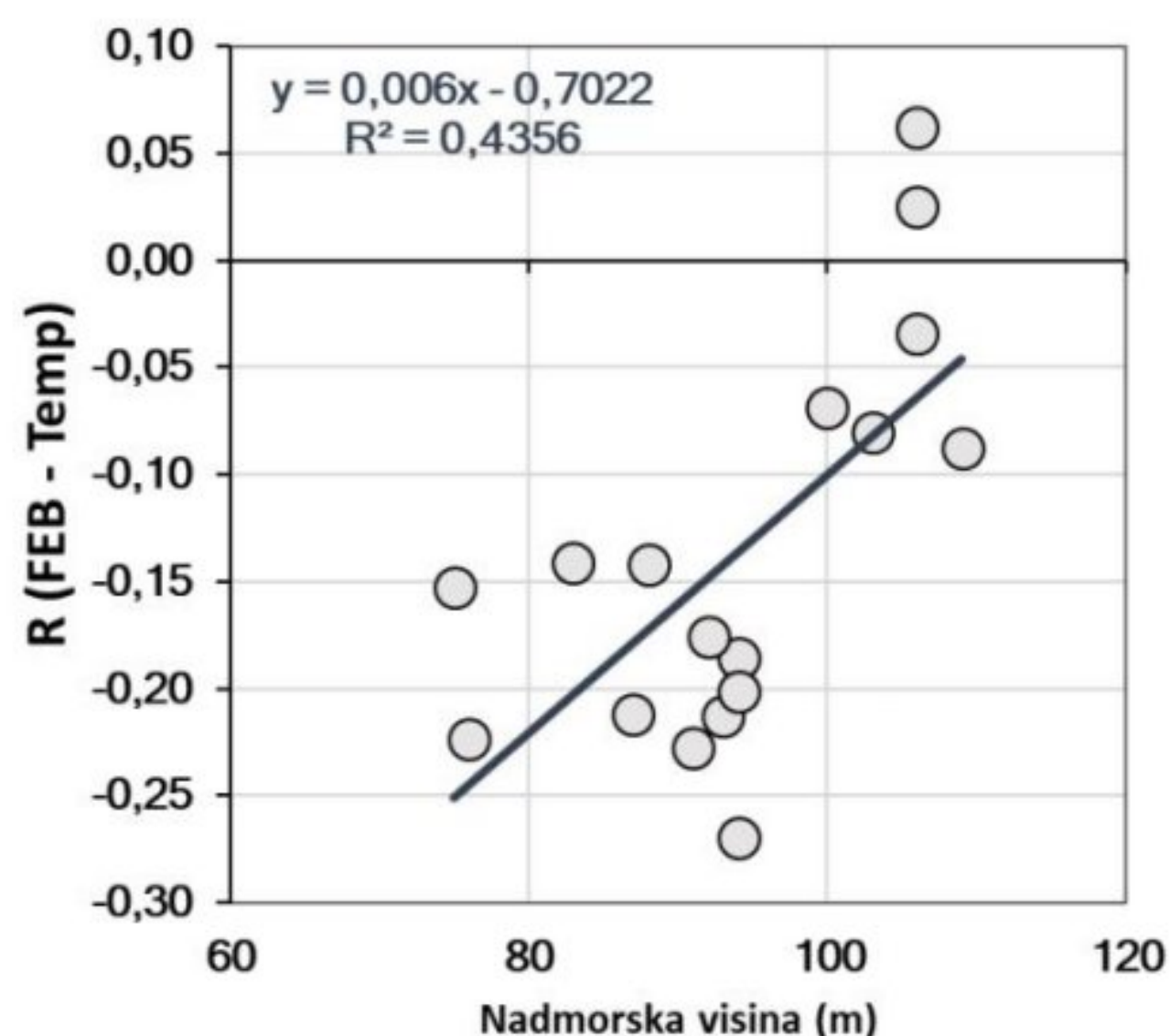


**Slika 18.** Korelacijski koeficijent između nadmorske visine i korelacije s pojedinačnim mjesecima i prosjekom sezona od 3 mjeseca za oborine. Žutom bojom označene su negativne korelacije a plavom pozitivne.



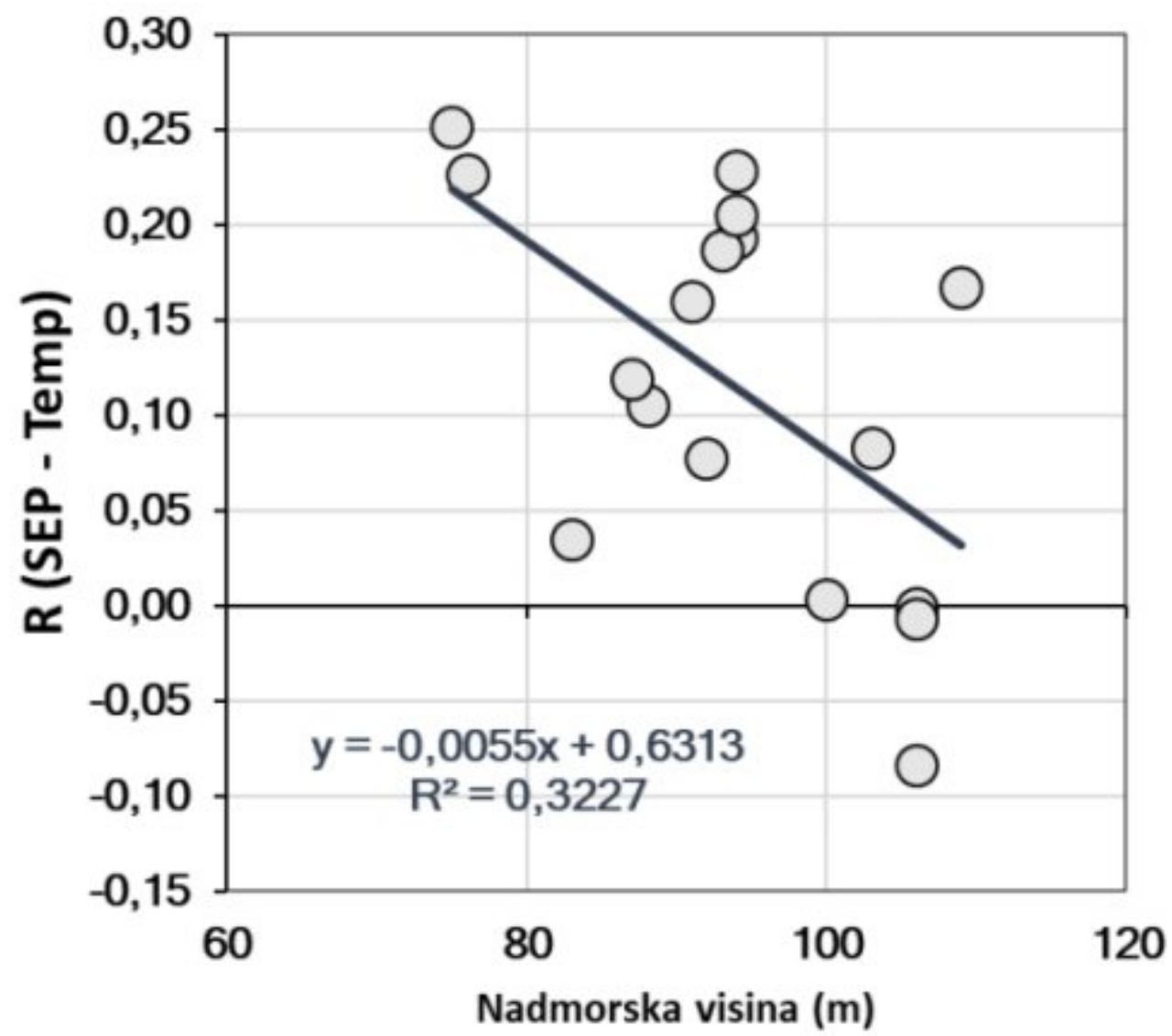
**Slika 19.** Korelacijski koeficijent između nadmorske visine i korelacije s pojedinačnim mjesecima i prosjekom sezona od 3 mjeseca za temperaturu zraka. Crvenom bojom označene su negativne korelacije a plavom pozitivne.

Provedenim analizama je utvrđeno da s porastom nadmorske visine temperature zraka u veljači nemaju značajan utjecaj na rast stabala hrasta. Drugim riječima, stabla koja rastu na nižim nadmorskim visinama značajnije (negativno) su utjecana temperaturom zraka (Slika 20).



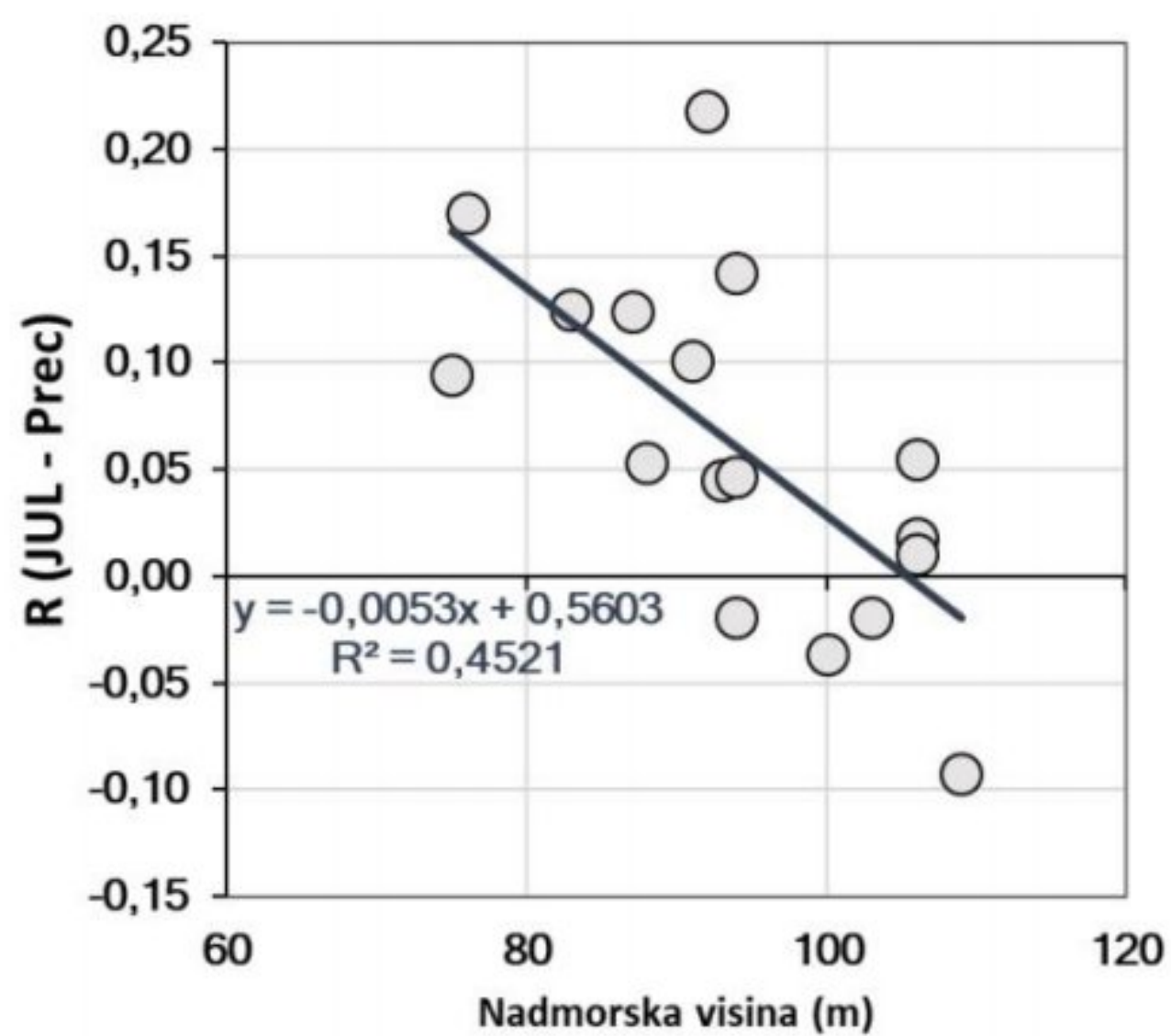
**Slika 20.** Linearna regresija između korelacija s temperaturom zraka u veljači (FEB) obzirom na nadmorsku visinu lokaliteta.

Također značajan utjecaj nadmorske visine je utvrđen i za temperaturu zraka u rujnu tekuće godine gdje je vidljivo da stabla koja rastu na nižim nadmorskim visinama imaju veće korelacije u odnosu na ona koja rastu na visim nadmorskim visinama (Slika 21).



**Slika 21.** Linearna regresija između korelacija s temperaturom zraka u rujnu (SEP) obzirom na nadmorsku visinu lokaliteta.

Slična ovisnost je utvrđena i za oborine u srpnju tekuće godine (JUL) gdje je utvrđeno da stabla hrasta na nižim nadmorskim visinama imaju jači signal na oborine, odnosno njihov rast više ovisi o oborinama od stabala na višim nadmorskim visinama (Slika 22).



**Slika 22.** Linearna regresija između korelacija s oborinama u srpnju (JUL) obzirom na nadmorsku visinu lokaliteta

## 6. RASPRAVA

Promjene u klimi imaju značajan utjecaj na rast i razvoj drveća, posebno kada je riječ o Hrastu lužnjaku, koji se smatra najvrjednijom vrstom drveta u Hrvatskoj. Klimatske promjene donose neizvjesnost u pogledu budućeg razvoja hrasta.

Ovo istraživanje je pripomoglo da bolje razumijemo utjecaj klime u prošlosti te da možemo bolje donositi zaključke u budućnosti.

Rezultati analize za područje Spačve ukazuju na prisutnost pozitivnih korelacija između oborina i to posebno u proljeće tekuće godine, što se odnosi na veljaču i ožujak, kao i tijekom ljeta, od svibnja do srpnja, dok su negativne korelacije s oborinama primijećene samo u rujnu tekuće godine.

Temperature zraka za razlike u odnosu na oborine se ponašaju drugačije. Uočene su negativne korelacije između temperatura zraka i rasta stabala u proljetnim mjesecima, to jest u veljači i ožujku, kao i tijekom ljeta tekuće godine, posebno u lipnju.

S druge strane, visoke temperature zraka zimi prethodne godine pokazuju pozitivan utjecaj na rast stabala na području spačvanskog bazena.

Analiza sezonskih vrijedosti klime, odnosno oborina i prosječne temperature u tri mjeseca ukazuju na to da veće količine oborina u proljeće (ukupna oborina od veljače do travnja) imaju pozitivan utjecaj na rast hrasta lužnjaka na području Koške, dok temperature zraka ukazuju da visoke zimske temperature zraka iz prethodne godine pozitivno utječu na rast stabala hrasta, dok ljetne temperature tekuće godine imaju negativan utjecaj na rast hrasta na području Koške.

Suprotno od koške, svi lokaliteti na području Spačve pokazuju značajan pozitivan utjecaj oborina na rast stabala hrasta, posebno u razdoblju od veljače do travnja tekuće godine, dok temperature zraka u istom razdoblju imaju negativan utjecaj na rast stabala hrasta lužnjaka.

Pored utjecaja oborina i temperature na rast hrasta lužnjaka, analizom smo također utvrdili značajan utjecaj nadmorske visine na rast stabala hrasta lužnjaka.

Dobiveni podaci nam kazuju da su stabla koja rastu na nižim nadmorskim visinama pod značajnijim negativnim djelovanjem temperature zraka.



Također sličnu ovisnost smo utvrdili i na analizi utjecaja oborina na nadmorsku visinu, gdje se ustanovilo da stabla koja rastu na nižim nadmorskim visinama imaju jači signal na oborine, od stabala na višim nadmorskim visinama.

## 7. ZAKLJUČCI

Provedenim istraživanjem je utvrđeno da lokalne klimatske prilike (temperature zraka i oborine) značajno utječu na rast stabala hrasta lužnjaka.

Zajednički obrazac pozitivnog utjecaja oborina i negativnog utjecaja visokih temperatura zraka vidljiv je na cjelokupnom području istraživanja.

Utvrđene razlike između hrastova na području Koške i Spačve mogu se pripisati ne samo direktnim razlikama u klimi nego i u mehaničkim i fizičkim svojstvima tala koje na žalost nisu u ovom istraživanju provedena. Razlog za takvu sumnju indikativno je dokazan pomoću nadmorske visine koja se u ovim analizama pokazala značajna na jačinu klimatskog signala.

Stabla koja rastu na nižim nadmorskim visinama su osjetljivija od onih na višim premda se radi o relativno malom rasponu visina (od 80 do 120m). Ovo pak ukazuje da je mikroreljef značajan čimbenik a s njime i osjetljivost stabla na klimu.

Buduća istraživanja stoga treba usmjeriti na razumijevanje interakcije biljke i tla kako bi se donijeli kvalitetne mjere prilagodbe hrastova na buduće promjene klime i time sačuvala ova vrlo vrijedna vrsta.

## 8. LITERATURA

Anderegg, W.R.L., Kane, J.M., Anderegg, L.D.L., 2012: Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature Climate Change*, (September).

Bonacci, O., 2010: Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj. *Građevinar* 62(9):781–791.

Brunke, M., Gonser, T., 1997: The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37(1):1–33.

Cindrić Kalin, K., Güttler, I., Pandžić, K., Srnec, L., Vučetić, V., Zaninović, K. (2018) Sedmo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC). Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Dostupno na: [https://klima.hr/razno/publikacije/NIK7\\_DH7MZ.pdf](https://klima.hr/razno/publikacije/NIK7_DH7MZ.pdf) [05. siječnja 2021.]

Čermák, J., 1989: Solar equivalent leaf area: an efficient biometrical parameter of individual leaves, trees and stands. *Tree Physiology* 5:269–289.

Hipel, K.W., McLeod, A.I., 1994: Time series modelling of water resources and environmental systems. Elsevier Science B. V., Amsterdam, str. 1031.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change T. F. Stocker, (ur.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, str. 1535.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J., Marchetti, M., 2010: Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4):698–709.

Pilaš, I., 2006: Odnos morfoloških svojstava tla i vode u tlu u nizinskim šumama središnje Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 243.

Pilaš, I., Lukić, N., Vrbek, B., Dubravac, T., Roth, V., 2007: The effect of groundwater decrease on short and long term variations of radial growth and dieback of mature pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stand. *Ekológia (Bratislava)*, 26(2):122–131.

Prpić, B., Anić, I., 2000: The role of climate and hydraulic operations in the stability of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Croatia. *Glasnik za šumske pokuse*, 37:229–239.

Sophocleous, M., 2002: Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10(1):52–67.

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