

# Utjecaj klimatskih promjena na dinamiku šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Hrvatskoj

---

Trlin, Domagoj

Doctoral thesis / Disertacija

2021

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:108:585501>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-06**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

Domagoj Trlin

**UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA  
DINAMIKU ŠUMA HRASTA LUŽNJAKA  
(*Quercus robur* L.) I POLJSKOG  
JASENA (*Fraxinus angustifolia* Vahl) U  
HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



University of Zagreb

FACULTY OF FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY

Domagoj Trlin

**THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE  
ON THE DYNAMICS OF PEDUNCULATE  
OAK (*Quercus robur* L.) AND NARROW-  
LEAVED ASH (*Fraxinus angustifolia*  
Vahl) FORESTS IN CROATIA**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

Domagoj Trlin

**UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA  
DINAMIKU ŠUMA HRASTA LUŽNJAKA  
(*Quercus robur* L.) I POLJSKOG  
JASENA (*Fraxinus angustifolia* Vahl) U  
HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Stjepan Mikac

Zagreb, 2021.





University of Zagreb

FACULTY OF FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY

Domagoj Trlin

**THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE  
ON THE DYNAMICS OF PEDUNCULATE  
OAK (*Quercus robur* L.) AND NARROW-  
LEAVED ASH (*Fraxinus angustifolia*  
Vahl) FORESTS IN CROATIA**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Stjepan Mikac, assistant professor, PhD.

Zagreb, 2021.

## INFORMACIJE O MENTORU

Doc. dr. sc. Stjepan Mikac rođen je 25. kolovoza 1980. godine u Vinkovcima gdje je završio osnovnu i srednju školu. Na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu diplomirao je 2003. godine. Od svibnja 2004. godine zaposlen je na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za ekologiju i uzgajanje šuma. Doktorski rad pod naslovom „Strukturna i regeneracijska dinamika bukovo-jelove prašume Čorkova uvala“ obranio je 2010. godine. U znanstveno-nastavno zvanje docenta izabran je 16. srpnja 2014. godine na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Predaje na preddiplomskom i diplomskom studiju kolegije Uzgajanje šuma 1, Uzgajanje šuma 2, Prašume i šumski rezervati.

Znanstveni i stručni interes usmjeren je na proučavanje utjecaja klimatskih promjena na rast i razvoj šuma te na održivo gospodarenje šumskim ekosustavima s ciljevima održanja stabilnosti, produktivnosti i biološke raznolikosti šuma i vrsta u Republici Hrvatskoj i Europi. Također veliki naglasak u znanstvenom djelovanju usmjeren je na rekonstrukcije klimatskih promjena i elementarnih nepogoda pomoću dendrokronoloških metoda.

Njegova bibliografija sadrži 65 objava od čega je 25 izvornih znanstvenih radova (indeksiranih u relevantnoj bazi podataka – WoSCC), 1 priručnik, 4 poglavlja u znanstvenim knjigama, 17 radova u recenziranim zbornicima skupova te 13 sažetaka u zbornicima skupova.

Aktivno sudjeluje na domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim skupovima i to na 22 međunarodne i 5 nacionalnih znanstvenih konferencija. Sudjelovao je na 20 domaćih stručnih skupova i radionica sa temom utjecaja klimatskih promjena na razvoj šumskih ekosustava.

Godine 2018. osnovao je Laboratorij za dendroekologiju u kojem se aktivno proučava utjecaj klime na rast i razvoj šuma, ali i dugoročne rekonstrukcije klimatskih čimbenika.

Vodio je 1 istraživački projekt Hrvatske zaklade za znanost u razdoblju od 2015. do 2018. godine pod naslovom *Uspostava dugoročnog znanstvenog monitoringa prirodnih šumskih ekosustava u Republici Hrvatskoj – Crofem*. Trenutno vodi EU projekt: *Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za održivo upravljanje prirodnim resursima - "MEMORIE"* financiran iz Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020. godina „*Shema za jačanje primijenjenih istraživanja za mjere prilagodbe klimatskim promjenama*“, (ref. oznaka: KK.05.1.1.02).

Glavni je autor Prve procjene stanja očuvanosti šumskih staništa u Republici Hrvatskoj za potrebe izvješćivanja RH o napretku i implementaciji Direktive o staništima (članak 17.) (MZOE RH). Nadalje, glavni je autor Analize stanja u šumarstvu za potrebe izrade strateškog plana zajedničke poljoprivredne politike Republike Hrvatske za novo programsko razdoblje 2020. – 2027. (MP RH). Također je glavni autor Akcijskog plana za sanaciju nizinskih šuma obuhvaćenih klimatskim promjenama i biotskim štetnicima u Republici Hrvatskoj.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

TI (naslov)	Utjecaj klimatskih promjena na dinamiku šuma hrasta lužnjaka ( <i>Quercus robur</i> L.) i poljskog jasena ( <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl) u Hrvatskoj
AU (autor)	Domagoj Trlin
AD (adresa)	Mladinovka 4, 35410 Nova Kapela, Hrvatska e-mail: dtrlin@sumfak.hr
SO (izvor)	Šumarska knjižnica, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Svetošimunska 23, 10000 Zagreb
PY (godina objave)	2021.
LA (izvorni jezik)	hrvatski
DE (ključne riječi)	Klimatske promjene, dinamika šume, hrast lužnjak, poljski jasen, dendrokronologija, rijeka Sava, mikroreljef
GE (zemlja objave)	Republika Hrvatska
PT (vrsta objave)	Doktorski rad
VO (obujam)	137 stranica, 11 tablica, 61 slika, 212 navoda literature
AB (sažetak)	<p>Klimatske promjene očituju se sveukupnim porastom temperature zraka i značajnom promjenom rasporeda i količine oborina (Auer i sur., 2007; IPCC 2014; Gao i Giorgi, 2008). Nadalje, klimatske promjene obilježene su povećanom frekvencijom ekstremnih događaja (suše, poplave, razorni vjetrovi) koji su glavni uzrok prirodnih nepogoda (Beniston i sur., 2007; Lenderink and Van Meijgaard, 2008). Nizinski poplavni šumski ekosustavi jedni su od najosjetljivijih na promjene klime (Horner i sur. 2009; Pittock i sur. 2008) jer direktno ovise o hidrološkom režimu nizinskih rijeka. Prirodne nizinske poplavne šume prašumskog karaktera u Europi praktički više ne postoje (Sabatini i sur., 2018). Takve šume smatraju se jednim od dva najugroženija šumska stanišna tipa (Schnitzler, 1994; Cox i Temple, 2016). Hrast lužnjak (<i>Quercus robur</i> L.) i poljski jasen (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl) vrste su koje dominiraju u nizinskim šumama jugoistočne Europe pa tako i Hrvatske. Cilj ovoga istraživanja bio je utvrditi utjecaj klimatskih čimbenika na dinamiku sastojina hrasta lužnjaka i poljskog jasena na području Posavine, s naglaskom na različite mikrostanišne uvjete (bara, niza, greda). Također, željelo se utvrditi postoji li razlika u klimatskoj osjetljivosti dobivenih kronologija hrastova sa postojećim europskim kronologijama te istražiti potencijal kronologija hrasta lužnjaka iz prašumskih sastojina. Rezultati klimatskih korelacija otkrivaju postojanje dvije potpuno odvojene grupe hrastova prema klimatskoj osjetljivosti (istočna i zapadna) i četiri grupe jasena unutar područja srednje Posavine (zapad). Poljski jasen iz reljefno najnižih dijelova (bara) najviše je osjetljiv na klimatske čimbenike i najviše ugrožen klimatskim promjenama, dok je kod hrasta situacija povoljnija. U usporedbi s europskim kronologijama hrastovi su manje osjetljivi na klimatske čimbenike i</p>

tvore zasebnu grupu zajedno s nekim kronologijama iz okruženja. Kronologije prašumskih sastojina pokazuju veliki potencijal u rekonstrukciji ekstremnih događaja kroz povijest te rekonstrukciji pojedinih klimatskih čimbenika.

---

## BASIC DOCUMENTATION CARD

TI (Title)	The influence of climate change on the dynamics of pedunculate oak ( <i>Quercus robur</i> L.) and narrow-leaved ash ( <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl) forests in Croatia
OT (Original title)	Utjecaj klimatskih promjena na dinamiku šuma hrasta lužnjaka ( <i>Quercus robur</i> L.) i poljskog jasena ( <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl) u Hrvatskoj
AU (Author)	Domagoj Trlin
AD (Address)	Mladinovka 4, 35410 Nova Kapela, Hrvatska e-mail: dtrlin@sumfak.hr
SO (Source)	Library of Forestry, Faculty of Forestry and Wood Technology Svetošimunska 23, 10000 Zagreb
PY (Publication year)	2021.
LA (Text language)	Croatian
DE (Descriptors)	Climate change, forest dynamics, pedunculate oak, narrow-leaved ash, dendrochronology, Sava river, microrelief
GE (Geo. headings)	Republic of Croatia
PT (Publication type)	Doctoral Thesis
VO (Volume)	137 pages, 11 tables, 61 figures, 212 bibliographical references
AB (Abstract)	<p>Climate change is manifested by an overall increase in air temperature and a significant change in the distribution and amount of precipitation (Auer et al., 2007; IPCC 2014; Gao and Giorgi, 2008). Furthermore, it is characterized by an increased frequency of extreme events (droughts, floods, devastating winds) that are a major cause of natural disasters (Beniston et al., 2007; Lenderink and Van Meijgaard, 2008). Lowland floodplain forest ecosystems are among the most sensitive to climate change (Horner et al., 2009; Pittock et al., 2008) because they are directly dependent on the hydrological regime of lowland rivers. Natural floodplain forests with old-growth characteristics practically no longer exist in Europe (Sabatini et al., 2018). Such forests are considered one of the two most endangered forest habitat types (Schnitzler, 1994; Cox and Temple, 2016). Pedunculate oak (<i>Quercus robur</i> L.) and narrow-leaved ash (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl) are species that dominate in the lowland forests of southeastern Europe, including Croatia. The aim of this study was to determine the influence of climatic factors on the dynamics of pedunculate oak and narrow-leaved ash stands in the Posavina area, with emphasis on different microhabitat conditions (wet, fresh, dry). Another aim was to determine whether there is a difference in climatic sensitivity of the obtained oak chronologies with the existing European chronologies and to investigate the potential of pedunculate oak chronologies from old-growth stands. The results of climatic correlations reveal the existence of 2 completely separate groups of oaks according to climatic</p>

sensitivity (eastern and western) and 4 groups of ash within the area of central Posavina (west).

Narrow-leaved ash from the lowest parts (wet) is most sensitive to climatic factors and most vulnerable to climate change, while the situation with oak is more favorable. Compared to European chronologies, oaks are less sensitive to climatic factors and form a separate group together with some other chronologies from the region. Chronologies of old-growth stands show great potential in the reconstruction of extreme events throughout history and in the reconstruction of certain climatic factors.

---

## **Zahvale**

Ovaj doktorski rad izrađen je u sklopu programa „Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti” financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ) kojoj se ovim putem zahvaljujem kao i svim zaposlenicima HRZZ-a koji su mi stajali na raspolaganju i brinuli o mome znanstvenom napretku.

Posebnu zahvalnost upućujem svome mentoru doc. dr. sc. Stjepanu Mikcu čija je ingenioznost i znanstvena izvrsnost stvorila preduvjete za znanstveno istraživanje i izradu ovog doktorskog rada. Nadalje, također mu se zahvaljujem na svesrdanoj pomoći prilikom analize podataka i izrade grafova te na savjetima koji su obogatili sadržaj ovoga rada.

Veliku zahvalnost dugujem i akademiku prof. dr. sc. Igoru Aniću koji je svojom pedantnošću i konstruktivnim kritikama ukazao na propuste i pogreške te time podigao kvalitetu izrađenog doktorskog rada.

Također, zahvaljujem se i nasl. doc. dr. sc. Sanji Perić, ravnateljici Hrvatskog šumarskog instituta, čija je susretljivost prilikom izrade i ocjene doktorskog rada bila nemjerljiva, a korisni savjeti pomogli prilikom same obrane rada.

Zahvaljujem se i svojim radnim kolegama i prijateljima, Anji, Marku, Luki i Davidu koji su djelom i savjetom pomogli u izradi ovoga doktorskog rada te zajedno sa mnom dijelili iste probleme, ali i radosti, naročito nakon dobro obavljenog terenskog posla. Također se zahvaljujem svim ostalim članovima Zavoda za ekologiju i uzgajanje šuma te svim zaposlenicima Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije koji su mi na bilo koji način pomogli u proteklom razdoblju.

Svojoj obitelji u Slavoniji, mojim roditeljima, bratu, teti, baki i pokojnom didi Dragi dugujem neizmjernu zahvalnost za sve što su učinili za mene pruživši mi bezbrižnu i prelijepu mladost te utkavši u mene ljubav prema prirodi, zemlji i šumi.

Najveću zahvalnost izražavam svojoj supruzi Tei koja je podnijela golem teret dijelivši proteklih godina moju znanstvenu sudbinu pomažući da ustrajem i nikad ne posustanem. Stoga joj posvećujem ovaj doktorski rad.

## SADRŽAJ

Popis slika .....	I
Popis tablica .....	VII
1. UVOD .....	1
2. PROBLEMATIKA.....	3
2.1. Klimatske promjene.....	3
2.1.1. Recentne promjene klime.....	3
2.1.2. Temperatura zraka.....	4
2.1.3. Oborine.....	5
2.1.4. Podzemne vode i vodostaji rijeka.....	6
2.1.5. Suše .....	7
2.1.6. Ugljikov dioksid (CO <sub>2</sub> ) .....	9
2.2. Utjecaj klime na rast stabala .....	11
2.2.1. Ograničavajući faktori razvoja šumskog drveća .....	11
2.2.2. Promjene klime – prilagodba (adaptacija) i aklimatizacija .....	13
2.2.3. Rasprostranjenost hrasta lužnjaka .....	14
2.2.4. Rasprostranjenost poljskog jasena .....	16
2.2.5. Nizinske poplavne šume u Europi.....	16
2.3. Dinamika šuma hrasta lužnjaka i poljskog jasena .....	18
2.3.1. Dinamika šuma – opći pojmovi .....	18
2.3.2. Utjecaj klime na dinamiku šuma.....	21



2.3.3.	Sušenje i odumiranje šuma.....	21
2.4.	Dendrokronološka istraživanja klimatskih čimbenika .....	24
3.	CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	26
4.	MATERIJAL I METODE RADA .....	27
4.1.	Plan pokusa.....	27
4.1.1.	Dendroklimatološke analize .....	27
4.1.2.	Istraživanje prirodne dinamike prašumskih sastojina i analiza širine godova arheološkog drveta .....	29
4.2.	Područje istraživanja.....	29
4.2.1.	Prostorni razmještaj lokaliteta na makro-razini .....	29
4.2.2.	Prostorni razmještaj lokaliteta na mezo- i mikro-razini .....	30
4.2.3.	Klimatski značajke istraživnog područja.....	34
4.2.4.	Hidrološke značajke istraživnog područja.....	35
4.2.5.	Edafske značajke istraživnog područja.....	38
4.2.6.	Fitocenološke značajke istraživnog područja .....	40
4.3.	Metode uzorkovanja .....	41
4.3.1.	Odabir ploha i odabir stabala za uzorkovanje .....	41
4.3.2.	Prikupljanje podataka za dendroklimatološke analize .....	42
4.3.3.	Prikupljanje uzoraka iz prašumskih sastojina i arheološkog drveta.....	44
4.3.4.	Uzorkovanje tla .....	47
4.4.	Obrada i analiza podataka.....	48
4.4.1.	Elementi strukture sastojina na istraživanim ploham.....	48

4.4.2.	Priprema izvrtaka za dendrokronološke analize.....	49
4.4.3.	Priprema uzoraka za pedološke analize.....	50
4.4.4.	Izrada kronologija širina godova.....	50
4.4.5.	Analiza podataka.....	52
5.	REZULTATI.....	59
5.1.	Klimatska osjetljivost hrasta lužnjaka na razini Europe.....	59
5.2.	Statistički pokazatelji istraživanih ploha na području Posavine.....	66
5.2.1.	Deskriptivna statistika serija širina godova (TRW).....	66
5.2.2.	Deskriptivna statistika standardiziranih serija (RWI).....	67
5.2.3.	Usporedba kronologija prosječnih širina godova (TRWt).....	68
5.2.4.	Sličnosti između indeksnih kronologija (RWI).....	73
5.2.5.	Rezultati pedološke analize.....	74
5.3.	Rezultati korelacijske analize kronologija s područja Posavine.....	78
5.3.1.	Razlike između istraživanih vrsta.....	78
5.3.2.	Odnos rasta poljskog jasena i mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007.....	79
5.3.3.	Odnos rasta hrasta lužnjaka i mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007.....	81
5.3.4.	Razlike u klimatskoj osjetljivosti između mikrolokality.....	82
5.3.5.	Sezonske korelacije.....	83
5.3.6.	Vremenska stabilnost klimatskog signala – pomične (moving) korelacije.....	86
5.4.	Indikatorske godine TRW kronologija s područja Posavine.....	89

5.5. Utjecaj mikroreljefnih čimbenika i značajki tala na klimatsku osjetljivost istraživanih vrsta na području Posavine.....	91
5.5.1. Korelacija između mikroreljefnih čimbenika i klimatske osjetljivosti poljskog jasena .....	91
5.5.2. Korelacija između makroklimatskih čimbenika i klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka .....	93
5.5.3. Korelacija između mikroreljefnih čimbenika i klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka .....	94
5.6. Rezultati istraživanja prašumskih sastojina .....	96
5.7. Rezultati analize arheološkog drveta .....	99
6. RASPRAVA.....	102
6.1. Analiza klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka na razini europskog kontinenta .....	102
6.2. Statistička analiza dendrokronoloških istraživanja na razini Posavine .....	102
6.3. Klimatska osjetljivost hrasta lužnjaka i poljskog jasena na području Posavine .....	104
6.4. Potencijal kronologija prašumskih sastojina i arheološkog drveta.....	110
6.5. Upotreba dobivenih rezultata u uzgajanju šuma.....	110
7. ZAKLJUČCI.....	112
8. Literatura .....	114

## Popis slika

<b>Slika 1.</b> Promjena globalne temperature zraka izražena kao odstupanje od prosjeka predindustrijskog razdoblja 1850. – 1900. (prilagođeno iz NASA 2020) .....	4
<b>Slika 2.</b> Rekonstrukcija ljetnih suša za područje kontinentalne Hrvatske (dorađeno iz Nicault i sur. 2008).....	9
<b>Slika 3.</b> Rasprostranjenost hrasta lužnjaka (zeleno) i poljskog jasena (plavo) u Europi (izvor: EUFORGEN) .....	15
<b>Slika 4.</b> Poplavne šume u Europi (izvor: Hughes i sur., 2012).....	17
<b>Slika 5.</b> Trend odumiranja poljskog jasena izražen u volumenu (m <sup>3</sup> ) posječene drvene zalihe od 1987. do 2017. godine s projekcijom trenda sušenja do 2025. godine (izvor: <i>Akcijski plan za sanaciju sastojina poljskog jasena zahvaćenih sušenjem za razdoblje 2020. – 2025.</i> ) .....	23
<b>Slika 6.</b> Plan pokusa-dendroklimatološke analize .....	28
<b>Slika 7.</b> Prostorni položaj kronologija hrastova iz Europe i područje potencijalne prirodne rasprostranjenosti hrasta lužnjaka u Europi označeno zelenom bojom (A) te udio kronologija po grupama prema ekološkoj klasifikaciji (B) .....	30
<b>Slika 8.</b> Područje istraživanja – lokaliteti za dendroklimatološke analize (A i B), prašumske sastojine Stupnički lug (1) i Prašnik (3) te približna lokacija starih posavskih kuća (2) .....	31
<b>Slika 9.</b> Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka (A) i količina oborina (B) na mjernim postajama Sisak i Gradište za razdoblje 1960. – 2008. odnosno 1981. – 2008. (izvor podataka DHMZ).....	35
<b>Slika 10.</b> Porječje rijeke Save (izvor: <i>The green way international project</i> <a href="https://ecomusketeers.wordpress.com/all-for-the-river-sava/">https://ecomusketeers.wordpress.com/all-for-the-river-sava/</a> ).....	36
<b>Slika 11.</b> Shema pokusne plohe .....	42
<b>Slika 12.</b> Presslerovo svrdlo i način uzorkovanja na pokusnoj plohi .....	43
<b>Slika 13.</b> Prikupljanje uzoraka hrasta lužnjaka u prašumskoj sastojini Stupnički lug.....	45
<b>Slika 14.</b> Uzorak pripremljen za analizu (A) i jedan od istraživanih objekata (B).....	46

<b>Slika 15.</b> Uzorkovanje tla žljebastom sondom.....	47
<b>Slika 16.</b> Snimanje izvrtaka sustavom ATRICS .....	51
<b>Slika 17.</b> Očitavanje vrijednosti širine godova u programu <i>CooRecorder</i> .....	51
<b>Slika 18.</b> Primjer standardizacije vrijednosti širina godova individualne serije (jednog izvrtka) .....	53
<b>Slika 19.</b> Primjer kronologije za plohu Jas62b. ....	54
<b>Slika 20.</b> Primjer korelacijskih vrijednosti nakon analize u <i>treeclim</i> paketu (R) .....	55
<b>Slika 21.</b> Duljina svih 257 europskih kronologija hrasta lužnjaka po godinama. Crvenim pravokutnikom je označeno preklapanje većine kronologija pogodnih za analize klimatske osjetljivosti .....	59
<b>Slika 22.</b> Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka i mjesečnih vrijednosti oborina za razdoblje od 1920. do 2000. godine prema ekološkoj klasifikaciji hrastovih sastojina u Europi .....	60
<b>Slika 23.</b> Vrijednosti korelacijskih koeficijenta između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka i prosječnih mjesečnih i sezonskih vrijednosti temperatura zraka za razdoblje od 1920. do 2000. godine prema ekološkoj klasifikaciji hrastovih sastojina u Europi.....	61
<b>Slika 24.</b> Prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka te mjesečnih i sezonskih vrijednosti oborina (plavo) te temperature zraka (crveno) grupiranih prema rezultatima klusterske analize u klaster 1, 2 i 3 .....	63
<b>Slika 25.</b> Rezultati klusterske analize prema klimatskoj osjetljivosti hrasta lužnjaka u Europi (gore). Uvećano područje Hrvatske (dolje). Područje potencijalne prirodne rasprostranjenosti hrasta lužnjaka u Europi označeno zelenom bojom .....	65
<b>Slika 26.</b> Serije širina godova poljskog jasena iz barskog staništa s područja GJ Grede-Kamare (Jasenovac) (A), izgled jedne od sastojina (B), te primjeri godina povećanog prirasta (2005, 2014) koje se pokazuju na većini kronologija (C) .....	68

<b>Slika 27.</b> Serije širina godova poljskog jasena iz barskog staništa s područja GJ Josip Kozarac (Lipovljani) (A), izgled jedne od sastojina (B), te primjer godine povećanog prirasta (1973) te perioda smanjenog prirasta (1978-1980) koji se pokazuju na većini kronologija (C).....	69
<b>Slika 28.</b> Serije širina godova poljskog jasena iz nize s područja GJ Josip Kozarac (Lipovljani) (A), izgled sastojine (B), te primjer uzorka za dendrokronološke analize (C).....	69
<b>Slika 29.</b> Izgled sastojine poljskog jasena s prijelaza iz nize na gredu (Opeke, NPŠO Lipovljani) (A), Serije širina godova (B), te primjer uzorka za dendrokronologiju (C).....	70
<b>Slika 30.</b> Serije širina godova hrasta lužnjaka u nizi s područja Lipovljana, izgled sastojina te primjer uzorka hrasta za dendrokronologiju .....	71
<b>Slika 31.</b> Serije širina godova hrasta lužnjaka na gredi s područja Lipovljana, izgled sastojina te primjer uzorka hrasta za dendrokronologiju .....	71
<b>Slika 32.</b> Serije širina godova hrasta lužnjaka u nizi s područja Spačve .....	72
<b>Slika 33.</b> Serije širina godova hrasta lužnjaka na gredi s područja Spačve .....	72
<b>Slika 34.</b> Sličnosti između istraživanih ploha na temelju indeksnih kronologija (RWI) (A), indeksne kronologije jasena raspoređene u dvije grupe (plava i crvena) (B) te indeksne kronologije hrasta raspoređene u dvije grupe prema sličnosti (zelena i crna) (C).....	74
<b>Slika 35.</b> Postotni udio gline u tlima prikazan različitim bojama u ovisnosti o istraživanom lokalitetu i dubini profila tla.....	75
<b>Slika 36.</b> Postotni udio praha u tlima prikazan različitim bojama u ovisnosti o istraživanom lokalitetu i dubini profila tla.....	75
<b>Slika 37.</b> Postotni udio pijeska u tlima prikazan različitim bojama u ovisnosti o istraživanom lokalitetu i dubini profila tla.....	76
<b>Slika 38.</b> Udio gline, praha i pijeska prikazan prema mikroreljefnim tipovima i prema dubini tla.....	77
<b>Slika 39.</b> Korelacijski koeficijenti između indeksnih kronologija (RWI) stabala jasena i hrasta i mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007. godine.	

Gdje su: Temp - temperatura zraka, Prec – oborine, PDSI – indeks jačine suše i R – vodostaj rijeke Save .....	79
<b>Slika 40.</b> Pojedinačne mjesečne korelacije za grupe kronologija poljskog jasena sa područja srednja Posavine .....	80
<b>Slika 41.</b> Pojedinačne mjesečne korelacije za grupe kronologija hrasta lužnjaka sa područja cijele Posavine.....	81
<b>Slika 42.</b> Korelacijski koeficijenti između grupa indeksnih kronologija (RWI) poljskog jasena te sezonskih (2 mjeseca) vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje od 1950. do 2007. godine. Gdje su: Temp temperatura zraka, Prec – oborine, PDSI – Palmerov indeks učestalosti suše i R – vodostaj rijeke Save .....	84
<b>Slika 43.</b> Korelacijski koeficijenti između grupa indeksnih kronologija (RWI) hrasta lužnjaka te sezonskih (2 mjeseca) vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje od 1950. do 2007. godine. Gdje su: Temp temperatura zraka, Prec – oborine, PDSI – Palmerov indeks učestalosti suše i R – vodostaj rijeke Save .....	85
<b>Slika 44.</b> Rezultati pomičnih korelacija s 30-godišnjim pomakom između kronologija jasena (RWI) i najznačajnijih mjesečnih i sezonskih klimatskih čimbenika .....	87
<b>Slika 45.</b> Rezultati pomičnih korelacija s 30-godišnjim pomakom između kronologija hrasta (RWI) i najznačajnijih mjesečnih i sezonskih klimatskih čimbenika .....	88
<b>Slika 46.</b> Pregled indikatorskih godina (B) i usporedba sa klimatskim čimbenicima (hladne zime) (A) te sušnim godinama i gradacijama gubara (C) .....	90
<b>Slika 47.</b> Odnosi između sadržaja gline i korelacijskih koeficijenata temperature za razdoblje svibanj-lipanj (A), indeksa suše za razdoblje kolovoz-rujan (B), oborina za razdoblje travanj-svibanj (C) te vodostaja za razdoblje svibanj-lipanj (D) za kronologije poljskog jasena .....	91
<b>Slika 48.</b> Odnos korelacije s indeksom suše za razdoblje kolovoz-rujan i razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (A) te udaljenosti lokaliteta od rijeke (B) .....	92
<b>Slika 49.</b> Odnos sadržaja gline u tlu i udaljenosti lokaliteta od rijeke (A) te razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (B) .....	93

<b>Slika 50.</b> Odnos količine oborina i korelacije s indeksom suše za razdoblje travanj-svibanj (A), temperaturom za razdoblje ožujak-travanj (B), oborinama za razdoblje kolovoz rujan prethodne godine (C) te vodostajem za razdoblje travanj-svibanj (D). Jasna je diferencijacija između lokaliteta sa istoka (crveno) i zapada (zeleno) .....	94
<b>Slika 51.</b> Odnos korelacija s vodostajem za razdoblje travanj-svibanj i udaljenosti lokaliteta od rijeke (A) te razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (B). Odnos korelacije s temperaturom za razdoblje ožujak-travanj i udaljenosti lokaliteta od rijeke (C) te razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (D) .....	95
<b>Slika 52.</b> Dobna struktura istraživanih prašumskih sastojina i izgled sastojine Prašnik (A i B) te Stupnički lug (C i D) .....	96
<b>Slika 53.</b> Serije širina godova i razdoblje smanjenog prirasta (crveno) (A) i treća generacija stabala razmještena prema starosti i prsnom promjeru (B). .....	97
<b>Slika 54.</b> Serije širina godova i specifičnost rasta najstarijih stabala hrasta lužnjaka iz rezervata Stupnički lug. ....	98
<b>Slika 55.</b> Duljina individualnih serija širina godova (uzoraka) s recentnih stabala hrasta lužnjaka A) te iz arheološkog drva prikupljenog sa starih posavskih kuća B). Plavom bojom je označena dobra podudarnost, zelenom zadovoljavajuća, a crvenom loša podudarnost uzoraka. ....	99
<b>Slika 56.</b> Usporedba prosječne širine godova svih arheoloških uzoraka hrasta (crnom bojom) i prosječne širine godova recentnih hrastova (crvenom bojom)-logaritamska skala. Područje označeno plavom bojom predstavlja preklapanje arheoloških sa recentnim uzorcima.....	100
<b>Slika 57.</b> Prikaz svih TRW serija uzoraka drvene građe u rasponu od 1561. do 1877. godine (crne linije) te prosjek serija (plava linija). ....	101
<b>Slika 58.</b> Prikaz svih TRW serija drvene građe i TRW serija recentnih stabala hrasta iz prašume Prašnik u rasponu od 1561. do 2018. (crne linije) prosjek vrijednosti serija (zeleno linija)..	101
<b>Slika 59.</b> Ovisnost pristupačne vode o teksturnim karakteristikama tla (dorađeno iz Minnesota Crop News 2019) .....	105



<b>Slika 60.</b> Odnosi statističkih značajki i korelacijskih koeficijenata za vrste drveća koje tvore nizinske šume Posavine.....	108
<b>Slika 61.</b> Razlike u osobitostima mezoreljefa srednje i donje Posavine.....	109

## Popis tablica

<b>Tablica 1.</b> Popis ploha na kojima su obavljena uzorkovanja .....	32
<b>Tablica 2.</b> Razdioba hidromorfni tala (Martinović, 2003) .....	38
<b>Tablica 3.</b> Osnovni podaci o pokusnim plohama za dendroklimatološka istraživanja .....	44
<b>Tablica 4.</b> Osnovni podaci o pokusnim plohama za dendroekološka istraživanja .....	45
<b>Tablica 5.</b> Popis lokaliteta, tip i stanje objekta te broj uzoraka .....	46
<b>Tablica 6.</b> Osnovni podaci o strukturi sastojina u kojima se nalaze istraživane plohe .....	48
<b>Tablica 7.</b> Statistički značajne korelacije ( $P < 0.05$ ) između sume mjesečnih količina oborina te indeksnih kronologija hrasta lužnjaka prema europskim ekološkim regijama (*mjeseci označeni prema internacionalnom nazivlju prihvaćenom u dendrokronologiji označavaju prethodnu godinu (lipanj-prosinac) i tekuću godinu (siječanj-listopad)) .....	60
<b>Tablica 8.</b> Statistički značajne korelacije ( $P < 0.05$ ) između prosječnih temperatura zraka te indeksnih kronologija hrasta lužnjak prema europskim ekološkim regijama .....	62
<b>Tablica 9.</b> Broj kronologija prema ekološkim regijama Europe i rezultatima klasterne analize .....	63
<b>Tablica 10.</b> Osnovni deskriptivni elementi serija širina godova (TRW).....	66
<b>Tablica 11.</b> Statistika standardiziranih serija širina godova za razdoblje 1950. – 2007. Prikazane su duljine serija (Period), broj uzorkovanih stabala i broj uzoraka, prosječna osjetljivost (MS), autokorelacija prvog reda (AC), prosječna međuserijska korelacija (Rbar), odnos signala i šumova (SNR) te prosječni izraženi signal populacije (EPS) .....	67

## 1. UVOD

Klimatske promjene jedan su od naj snažnijih pokretača promjena u prirodnim ekosustavima. Nagle promjene popraćene brojnim klimatskim ekstremima poput poplava, suša i razornih vjetrova značajno mijenjaju uvjete u kojima su se vrste i populacije razvijale tijekom povijesti.

Intenzitet promjena znatno je veći od onoga kojemu se šumski ekosustavi mogu brzo prilagoditi. Za dugovječne organizme kao što su stabla, brza progresija klimatskih promjena znači da će na kraju svog života doživjeti izrazito drugačiju klimu u odnosu na uvjete pod kojima su nastali.

Prema Lindner i sur. (2014) utjecaji klimatskih promjena na šumske ekosustave mogu biti pozitivni i negativni. U sjeverozapadnoj Europi očekuje se pozitivni učinak na rast stabala kao posljedica veće koncentracije CO<sub>2</sub>, većih temperatura i produljenja vegetacijske sezone (Boisvenue i Running, 2006). S druge strane, na području južne i istočne Europe povećanje suše i učestalosti vremenskih ekstrema donijet će negativne posljedice koje bi mogle nadmašiti one pozitivne.

U svakom slučaju pretpostavka je da će se utjecaj klimatskih promjena značajno reflektirati na geografski marginalnim populacijama (Linares i Camarero, 2012), u ekosustavima koji su oslabljeni i destabilizirani antropogenim utjecajem (Markham, 1996) i u ekosustavima koji imaju usku ekološku nišu. Genetski i ekološki mehanizmi tijekom povijesti olakšali su prilagodbu na promjene te su prirodnom selekcijom rezultirali razvojem optimalnih ekotipova prilagođenih lokalnim uvjetima što se najbolje može potvrditi kod vrsta iz roda *Quercus* (Kremer, 2010).

Europske nizinske poplavne šume kroz povijest su uglavnom nestale. Pretvorene su u poljoprivredne ili pak urbane površine. Preostale nizinske šume samo su djelić nekadašnje površine, ali i njihov razvoj je utjecan hidrotehničkim i hidromelioracijskim zahvatima tako da je vrlo teško naći izvorne poplavne nizinske šume. Poplavne nizinske šume i poplavni ekosustavi su prirodni ekosustavi koji su nastali djelovanjem rijeka i čiji opstanak ovisi o njima. Tijekom dugog vremenskog razdoblja izdiferencirale su se vrste drveća koje su prilagođene na limitirajuće uvjete rasta u poplavnom području. Prvenstveno su to hrast lužnjak, obični i poljski jasen te vrbe i topole.

S obzirom na navedeno u ovome doktorskom radu željelo se istražiti kako će se hrast lužnjak i poljski jasen, kao dvije dominantne vrste drveća u nizinskim šumama Hrvatske, prilagoditi uvjetima naglih promjena klime te kako će izgledati dinamika šuma koje tvore. Prije toga nužno je utvrditi dosadašnju klimatsku osjetljivost ovih vrsta kako bismo mogli pretpostaviti hoće li se dinamika šuma pod utjecajem klime ubrzati te kako će se to odraziti na gospodarenje šumama, odnosno koje će uzgojne zahvate biti potrebno obavljati ne bi li se sačuvale sve osobitosti nizinskih poplavnih šuma.

## **2. PROBLEMATIKA**

### **2.1. Klimatske promjene**

Pod pojmom *klimatske promjene* podrazumijevamo statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima i duže (Cindrić Kalin i sur., 2018). Varijabilnost klime može biti uzrokovana prirodnim čimbenicima unutar samog klimatskog sustava te vanjskim čimbenicima kao npr. velikom količinom čestica izbačenih vulkanskom erupcijom ili ljudskim aktivnostima kojima u atmosferu dolaze staklenički plinovi koji imaju ključnu ulogu u zagrijavanju atmosfere (Cindrić Kalin i sur., 2018).

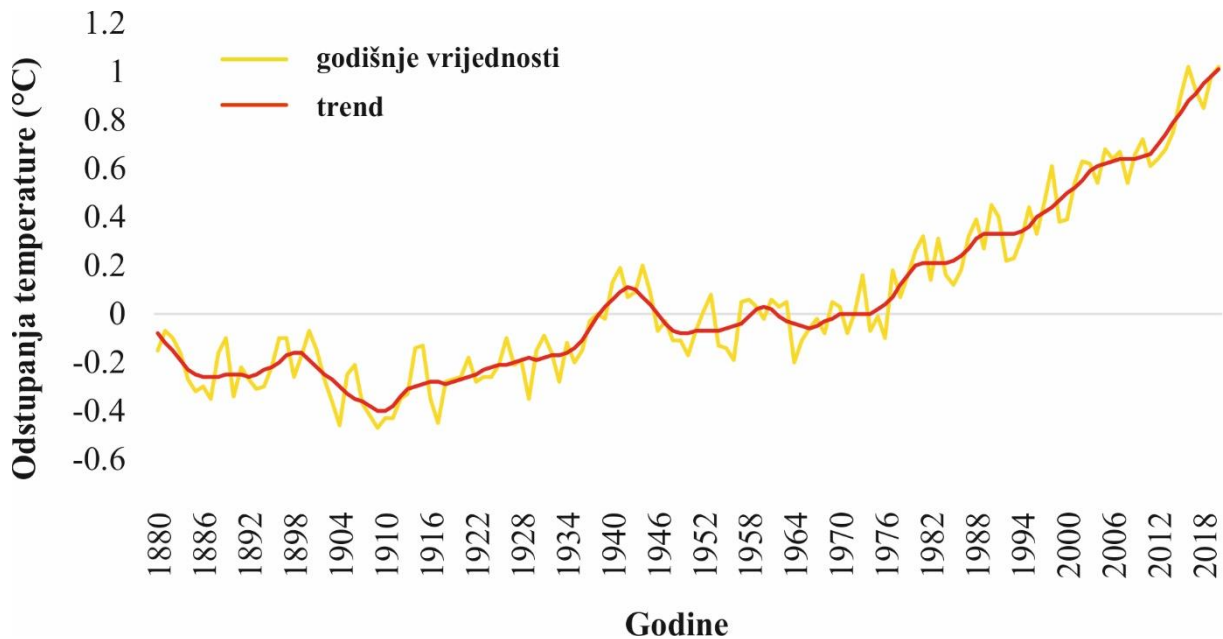
Prirodna varijabilnost klime na različitim vremenskim ljestvicama je uzrokovana ciklusima i trendovima promjena na Zemljinoj orbiti (Milanković, 2008), količinom dolaznog Sunčevom zračenja, sastavom atmosfere, oceanskom cirkulacijom, dinamikom biosfere, ledenim pokrovom i drugim uzrocima. Tijekom povijesti Zemlje već su se događale promjene klime, ali nikada ovako naglo i u ovakvom obujmu (WMO, 2014).

#### **2.1.1. Recentne promjene klime**

Klimatske promjene postale su gorući problem čovječanstva s kojim se direktno ili indirektno susreću svi stanovnici Zemlje. To su promjene koje se očituju sveukupnim porastom trenda temperature zraka i značajnom promjenom rasporeda i količine oborina (IPCC, 2014; Gao i Giorgi, 2008; Auer i sur., 2007). Uz navedeni obrazac, klimatske promjene obilježene su povećanom frekvencijom ekstremnih događaja (suše, poplave, razorni vjetrovi) koji su glavni uzrok prirodnih nepogoda (Lenderink i Van Meijgaard, 2008; Beniston i sur., 2007).

Utjecaj čovjeka na klimu glavni je razlog zabilježenog zagrijavanja od sredine 20. stoljeća. Zagrijavanje izazvano ljudskom aktivnošću doseglo je približno 1 °C (između 0,8 °C i 1,2 °C) u 2017. godini uspoređujući s preindustrijskim periodom 1850. – 1900., povećavajući se za 0,2 °C (između 0,1 °C i 0,3 °C) po desetljeću (IPCC, 2019). Globalno zagrijavanje definira se kao porast kombinirane temperature površinskog zraka i morske površine širom svijeta tijekom 30-godišnjeg razdoblja. Ovi podaci temelje se na svim objavljenim svjetskim rezultatima mjerenja koji pokazuju da je razdoblje 1986. – 2005. bilo za 0,63 °C toplije, a razdoblje 2006. – 2015. za 0,87 °C, od razdoblja 1850. – 1900. Rezultati su dobiveni kao ponderirani prosjek

temperature na površini Zemlje i temperature na površini mora (Hartmann i sur., 2013; Morice i sur., 2012).



**Slika 1.** Promjena globalne temperature zraka izražena kao odstupanje od prosjeka predindustrijskog razdoblja 1850. – 1900. (prilagođeno iz NASA 2020)

### 2.1.2. Temperatura zraka

Atmosferske koncentracije stakleničkih plinova polako dosežu razine koje nisu bile zabilježene posljednjih 20 milijuna godina (Beerling i Royer, 2011). U razdoblju od 1998. do danas bilježi se deset najtoplijih godina u povijesti od čega je nakon 2005. godine zabilježeno njih ukupno devet. Od 1950. godine ekstremi vezani uz visoke temperature (vrući dani, tropske noći, toplinski valovi) su postali učestalija pojava dok se učestalost pojave ekstrema vezanih uz niske temperature (mrazevi) smanjuje (EEA, 2012). Nastavak ovakvih trendova očekuje se i u budućnosti te se očekuju češće suše, toplinski valovi i povremene mjestimične obilne oborine (Lenderink i Van Meijgaard, 2008; Beniston i sur., 2007).

Zabilježeno je i da su se rasponi dnevnih temperatura smanjili jer minimalne temperature rastu po stopi dva puta većoj nego li maksimalne temperature. Rezultat toga je produžavanje razdoblja bez leda (zaleđivanja) u većini srednje visokih i visokih regija, a satelitske snimke otkrivaju smanjenje od 10 % u snježnom i ledenom pokrovu od 1960-ih. Vezano uz fenologiju stabala bilježi se progresivno raniji početak cvjetanja, a također postoje dokazi za kasnijim

nastupanjem jesenskih fenoloških procesa, no ove promjene su manje izražene i heterogenijeg su karaktera (Menzel i sur., 2006; Menzel i Fabian, 1999).

### **2.1.3. Oborine**

Ukupna godišnja količina oborina na Zemlji nije se značajno promijenila. No, ono što se mijenja svakako je prostorni raspored oborina koje padnu tijekom godine. Uz to je vezano i već spomenuto povećanje temperature koje pridonosi povećanoj evapotranspiraciji, a tako i češćoj pojavi oluja praćenih pljuskovima kiše (NASA, 2020). Takva izmjena sušnih i kišnih perioda negativno utječe na usvajanje vode od strane biljaka pa su one češće izložene sušnim stresovima bez obzira na nepromijenjenu ukupnu količinu oborina. Ekstremne oborine glavna su opasnost nad Europom. Dobro je utvrđeno da projekcije klimatskih modela ukazuju na tendenciju ka ekstremnijim dnevnim kišnim događajima.

Prema Claius-Claperyonovoj vezi zrak može zadržati oko 7 % više vlage za svaki stupanj više temperature (Held i Soden, 2006). Kako je danas temperatura na Zemlji u najtoplijem dijelu godine i do 3 stupnja viša nego u predindustrijsko doba u atmosferi može biti i do 21 % više vlage, no problem je što ona nije ravnomjerno raspoređena, a česte su intenzivne oborine ili pak dugotrajne suše.

Ipak, u periodu od 1950. godine količina oborina se povećala u sjevernoj Europi, a smanjila u dijelovima južne Europe (EEA, 2012, iz Haylock i sur., 2008). Predviđa se da će se takav trend nastaviti i ubuduće, ali značajnije u ljetnim mjesecima.

Prema podacima EOBS-a prosječna godišnja količina oborina u Europi ne pokazuje značajne razlike od 1960. godine (Haylock i sur., 2008). Ipak, postoje razlike na subkontinentalnoj razini te većina studija pokazuje tendenciju ka vlažnijim uvjetima na sjevernoj hemisferi tijekom 20. stoljeća. Tako je u većini Skandinavije i baltičkih država primijećen porast godišnje količine oborina veći od 17 mm po desetljeću ili čak 70 mm po desetljeću u zapadnoj Norveškoj. Suprotno tome, godišnje su se padaline smanjile i do 90 mm po desetljeću na Pirenejskom poluotoku, posebno u središnjem Portugalu. Zimske oborine (od prosinca do veljače) imaju tendenciju smanjenja na ograničenim područjima u južnoj Europi, a značajan porast (do 70 mm po desetljeću) zabilježen je u većini sjeverne Europe (Maraun, 2013). Prosječna količina ljetnih oborina (od lipnja do kolovoza) smanjila se do 20 mm po desetljeću u većini južne Europe, dok

su značajni porasti (do 18 mm po desetljeću) zabilježeni u dijelovima sjeverne Europe (Casanueva i sur., 2014; Van den Besselaar i sur., 2012).

Predviđanja za budućnost prema scenariju visokih emisija CO<sub>2</sub> (RCP8.5) projiciraju statistički značajan porast godišnjih oborina u velikim dijelovima srednje i sjeverne Europe (do 30 %) i smanjenje u južnoj Europi (do 40 %) od razdoblja 1971. – 2000. do razdoblja 2071. – 2100. Ovakvi uvjeti povećanja temperature i izmijenjenog režima oborina glavni su uzrok povećanog odumiranja šuma diljem svijeta (Greenwood i sur., 2017; Allen i sur., 2015; IPCC, 2014).

#### **2.1.4. Podzemne vode i vodostaji rijeka**

Podzemna voda, kao najveća zaliha pitke vode, ima glavnu ulogu u održavanju ekosustava i omogućava čovjekovu prilagodbu na klimatske varijabilnosti i promjene (Taylor i sur., 2012). Količine podzemne vode ovise o oborinama, ali je ta ovisnost kompleksnija s obzirom na veličinu slivnog područja te karakteristike mikoreljefa u zoni utjecaja rijeke. Nadalje, bitnu ulogu igra i globalno povećanje temperature pa bi recentne promjene klime tek mogle u budućnosti značajno utjecati na promjenu zaliha vode u podzemlju.

Vodonosnici se pune uglavnom oborinama ili međudjelovanjem s tijelima površinske vode. Da bi se kvantificirali potencijalni učinci klimatskih promjena na sustave podzemnih voda potrebne su buduće projekcije klime (Green, 2016).

Podzemna voda, vodostaji i protoci rijeka vrlo su bitni čimbenici u prirodnoj dinamici nizinskih šuma. Nizinski prostori tj. velike svjetske nizine, općenito su najveći spremnici podzemne vode, a značaj šume i šumskog tla od posebnog je značaja u filtriranju vode koja ondje pristiže. Praćenje dinamike vodostaja i protoka u Europi postalo je aktualno u drugoj polovici 20. stoljeća pa tako rezultati pokazuju kako protoci rijeka u južnoj i istočnoj Europi opadaju, dok se u sjevernoj Europi povećavaju (Stahl i sur., 2010; Wilson i sur., 2010). Općenito, malo je poznato o utjecaju klimatskih promjena na trendove poplava i vrijednosti protoka, dijelom i zbog nedostatka dovoljno dugih zapisa (Kundzewicz i sur., 2014).

Pretpostavlja se da će klimatske promjene utjecati na hidrologiju riječnih bazena te da će se pojava protoka sa 100-godišnjim povratnim razdobljem povećati u kontinentalnoj Europi, ali smanjiti u nekim dijelovima sjeverne i južne Europe do 2100. godine (Dankers i Feyen, 2008). Bolje razumijevanje godišnje varijabilnosti i dugoročnih trendova hidroloških čimbenika (vodostaja i protoka rijeka) važna je komponenta upravljanja vodnim i šumskim resursima



naročito u kontekstu prilagodbe na spomenute promjene. Ekstremne poplave i suše uzrokuju velike ekonomske i ekološke štete jer direktno uništavaju poljoprivredne usjeve te imovinu ljudi, a također otežavaju gospodarenje šumskim ekosustavima ovisno o vegetacijskom periodu u kojem se javljaju te duljini njihova trajanja.

Prema podacima Europske agencije za zaštitu okoliša (EEA) između 1980. i 2010. godine zabilježene su 3.563 poplave u 37 europskih zemalja, a neke od njih bile su katastrofalne (WHO, 2014; Kundzewicz i sur., 2013; Gaume i sur., 2009; Jaun i sur., 2008). Prema predviđanjima učestalost velikih poplava udvostručit će se, a štete povećati i do nekoliko puta (Winsemius i sur., 2016; Alfieri i sur., 2015).

### **2.1.5. Suše**

Suše mogu nastati iz niza hidrometeoroloških procesa koji smanjuju količinu oborina i/ili ograničavaju raspoloživost površinske ili podzemne vode, stvarajući uvjete koji su znatno suši od normalnih ili na drugi način ograničavajući raspoloživost vlage u potencijalno štetnoj mjeri (WMO, 2014). Suša je kompleksan proces koji uključuje i rezultat je djelovanja više različitih čimbenika. Nedostatak oborina, isušivanje tla, smanjenje protoka rijeka, isušivanje površinskih i podzemnih rezervoara uz sveprisutno povećanje temperature može rezultirati pojavom sušnih perioda na određenom području. Američko meteorološko društvo (AMS, 1997) definiralo je četiri tipa suše:

1. meteorološka suša koju uzrokuje smanjena količina oborina ili potpuni izostanak oborina u nekom vremenskom razdoblju, a može se naglo razviti i naglo prestati;
2. agronomska suša odnosno suša površinskog sloja tla (korijenske zone) koja negativno utječe na prinose, ali ne znači nužno nedostatak vlage u dubljim slojevima tla;
3. hidrološka suša nastaje kao rezultat dužeg izostanka oborina što uzrokuje smanjenje zalihe, tj. razine površinske i podzemne vode;
4. socio-ekonomska suša objedinjuje pojedine značajke meteorološke, agronomske i hidrološke suše, a veže se uz mogućnost opskrbe potraživanih količina vode.

Kako se radi o kompleksnom prirodnom fenomenu gotovo je nemoguće pronaći univerzalnu definiciju suše kao niti jedinstveni način njenog praćenja i predviđanja. Danas postoje brojne metode koje prate različite indikatore suše kao primjerice standardizirani oborinski indeks SPI (*eng. Standardized Precipitation Index*), standardizirani oborinsko-evapotranspiracijski indeks

SPEI (*eng. Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index*), Palmerov indeks učestalosti suše PDSI (*eng. Palmer Drought Severity Index*) i drugi. Budući da različiti autori u svojim istraživanjima koriste različite indekse, kako ove spomenute tako i brojne druge, prikazani rezultati mogu se donekle razlikovati. Ipak, rezultati istraživanja provedenih na području Europe kojima je cilj bio analizirati klimatske prilike u prošlosti te na temelju dobivenih podataka oblikovati projekcije budućih trendova suša u Europi uglavnom su jedinstveni te ukazuju na povećanje suše u južnim regijama Europe, a posebice na mediteranskom području (Spinoni i sur., 2018), dok u posljednjih 20 godina redovito i na području cijele Europe (Hanel i sur., 2018; Fink i sur., 2004).

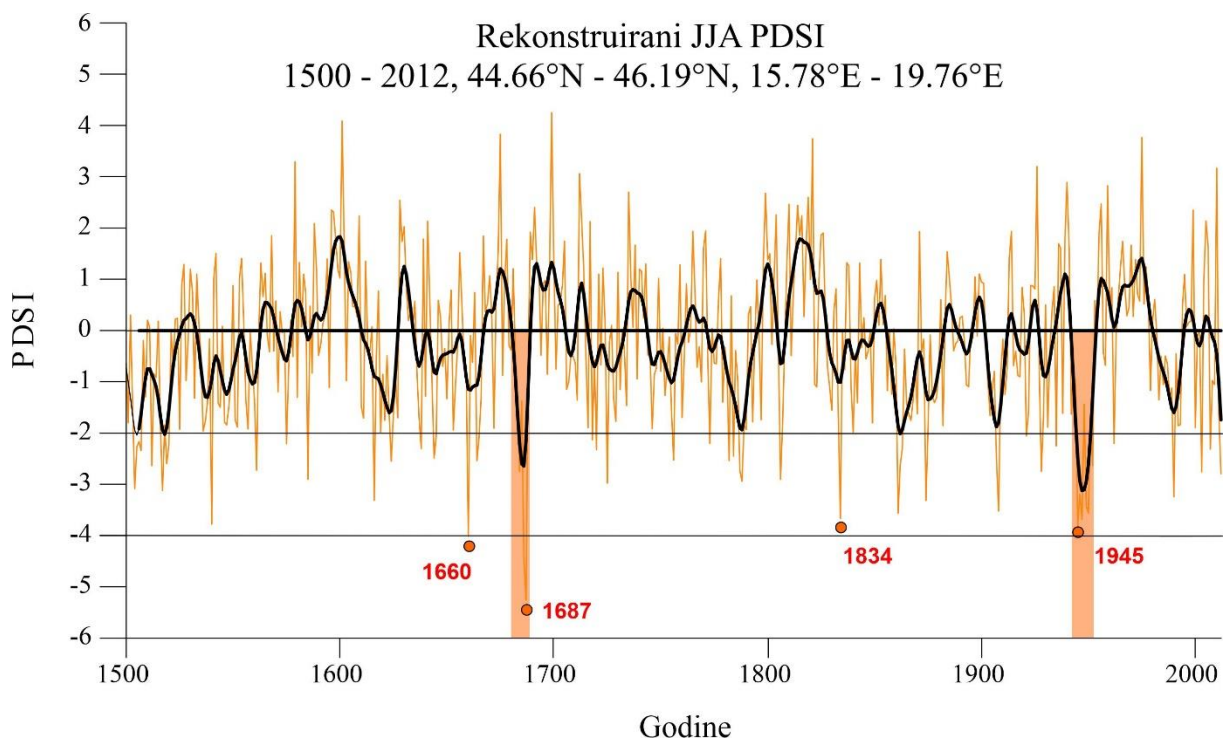
Istraživanja potvrđuju kako je Europu moguće klimatološki podijeliti na južnu regiju koja pokazuje tendenciju povećanja učestalosti pojave sušnih razdoblja i sjevernu regiju gdje se očekuje povećanje vlažnosti (Spinoni i sur., 2018). Povećana učestalost sušnih perioda u južnoj i istočnoj Europi očekuje se posebice tijekom ljeta i jeseni. Spinoni i sur. (2015a) koristeći podatke za razdoblje 1950. - 2012. došli su do zaključka da su središnja Europa i Balkan zabilježili srednje jak porast utjecaja suše što je uglavnom posljedica povećanja temperature, dok jugozapadna Europa, posebice područje Mediterana, bilježi značajno povećanje učestalosti suše uzrokovano povećanjem temperature i smanjenjem oborina. Ovo povećanje sušnih razdoblja posebno se uočava od 1981. godine pa do danas.

Iako se suša može povezati s brojnim pokretačkim čimbenicima kao najvažniji uzrok svakako se može izdvojiti nedostatak oborina u određenom razdoblju. Sousa i sur. (2011) analizirali su oborinske trendove na Mediteranskom području za cijelo 20. stoljeće (od 1901. do 2000. godine), a izračuni su pokazali trend smanjenja količine oborina na čitavom području Mediterana s izuzetkom sjeverozapada Pirinejskog poluotoka, dijelova južne Italije, Libije i Turske. Za područje jugoistočne Europe indeks suše – scPDSI (*eng. Self Calibrated Palmer Drought Severity Index*) ukazao je negativne trendove prema kraju stoljeća. Tijekom četrdesetih godina 20. stoljeća bilježi se čak pet sušnih godina, a od 1983. godine prema kraju stoljeća veći broj godina u desetljeću je sušno. Primjerice, 1990.-ih gotovo 80 % teritorija je bilo vrlo sušno te je zbroj godina koje su imale negativan scPDSI pokazatelj da je mediteranska regija u cjelini bila u uvjetima ekstremne suše.

Osim općeg smanjenja količine oborina značajno je spomenuti i zabilježenu promjenu u godišnjoj distribuciji oborina. Tako trendovi na području jugoistočne Europe pokazuju smanjenje udjela količine oborina u zimskim i povećanje udjela količine oborina u ljetnim

mjesecima u ukupnoj godišnjoj količini oborina (Lopez-Moreno i sur., 2009). Ipak, iako se bilježi promjena u godišnjem rasporedu količina oborina distribucija oborina i dalje odgovara mediteranskom režimu u kojemu se najviše oborina bilježi tijekom zimskih mjeseci. Treba napomenuti da se kao mjesec sa zabilježenim značajnim smanjenjem količine oborina ističe ožujak (Lopez-Moreno i sur., 2009; Paredes i sur., 2006; Trigo i sur., 2006).

Prema rekonstrukciji Palmerovog indeksa suše za područje kontinentalne Hrvatske u proteklih 500 godina (Slika 2) pokazuju se 2 vrlo sušna (oko 1687. i 1945. godine) te 2 sušna (oko 1660. i 1834. godine) razdoblja. Spomenuta razdoblja imala su granične minimalne vrijednosti (do -4,0) koje karakteriziraju vrlo sušne uvjete.



**Slika 2.** Rekonstrukcija ljetnih suša za područje kontinentalne Hrvatske (dorađeno iz Nicault i sur., 2008)

#### 2.1.6. Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)

Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) je kemijski spoj koji nastaje kao produkt gorenja, staničnog disanja te erupcija vulkana, gejzira itd. Riječ je o prirodnom stakleničkom plinu koji je važan za regulaciju Zemljine temperature, a nezaobilazan je i u procesu fotosinteze. Koncentracije stakleničkih

plinova, a tako i ugljikova dioksida, kroz povijest su uglavnom bile stabilne, ali se od početka industrijskog doba njihove koncentracije konstantno povećavaju što negativno utječe na klimatske prilike na Zemlji.

Plin ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) zajedno sa vodenom parom ( $\text{H}_2\text{O}$ ), metanom ( $\text{CH}_4$ ), didušikovim oksidom ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i ozonom  $\text{O}_3$  smatra se jednim od glavnih uzročnika klimatskih poremećaja budući da svojim nakupljanjem u atmosferi uzrokuje pojavu efekta staklenika. Značajno povećanje količine  $\text{CO}_2$  veže se uz antropogeni utjecaj, a uglavnom je rezultat korištenja fosilnih goriva i intenzivne poljoprivredne proizvodnje. U razdoblju od 1970. do 2010. godine emisija stakleničkih plinova se povećava, a prosječni rast jednak je ekvivalentu 1,0 gigatona  $\text{CO}_2$  ( $\text{GtCO}_2\text{eq}$ ) (2,2 %) godišnje u razdoblju od 2000. do 2010. godine u usporedbi sa ekvivalentom 0,4  $\text{GtCO}_2\text{eq}$  (1,3 %) godišnje od 1970. do 2000. godine (IPCC, 2014). Također, prema IPCC (2014) udio stakleničkih plinova u atmosferi nikada nije bio veći, a količina  $\text{CO}_2$  povećala se za 40 % sa razine od 278 ppm, koja je bila u razdoblju oko 1750. godine, na 391 ppm u 2011. godini.

Prema statističkim podacima dostupnim na stranicama EUROSTAT-a (2009) u Europskoj uniji gotovo 182 milijuna hektara, odnosno 43 % kopnene površine unije, prekriveno je šumama. Procjenjuje se da su europske šume 2015. godine apsorbirale oko 417 milijuna tona ekvivalenta  $\text{CO}_2$ , odnosno oko 9 % ukupne emisije stakleničkih plinova. Šume svojom fotosintetskom aktivnošću apsorbiraju značajne količine  $\text{CO}_2$  te su važan faktor u ublažavanju klimatskih promjena.

Rezultati nekih istraživanja ukazuju na to da povišene koncentracije  $\text{CO}_2$  pozitivno utječu na rast drvenastih vrsta budući da potiču fotosintetsku aktivnost stabala pa tako većina šuma u Europi raste brže nego početkom 20. stoljeća (Chmielewski i Rötzer, 2001; Churkina i sur., 2010b; Pachauri i sur., 2014). Razlog većeg prirasta svakako su bolji načini gospodarenja, ali i porast temperature te povećane koncentracije  $\text{CO}_2$  (Kovats i sur., 2014).

## 2.2. Utjecaj klime na rast stabala

### 2.2.1. Ograničavajući faktori razvoja šumskog drveća

Klima na Zemlji ograničava geografsku rasprostranjenost vrsta pa se tako i areali vrsta drveća izmjenjuju ovisno o izmjeni različitih tipova klime. Klima je određena geografskom širinom, nadmorskom visinom, reljefom te utjecajem mora ili oceanskih strujanja. Promjenama klime mijenja se i rasprostranjenost vrsta pomicanjem njihovih areala.

Brojna su istraživanja pokazala značajan utjecaj klimatskih promjena na rast šumskih ekosustava (Keenan, 2015; Bussotti i Pollastrini, 2014; Pretzsch i sur., 2014; Reyer i sur., 2013). Povećanje temperature zraka zajedno sa produljenjem vegetacijskog perioda (Chmielewski i Rötzer, 2001) te povećana koncentracija CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> spojeva (Pachauri i sur., 2014; Churkina i sur., 2010b) mogući su razlozi spomenutih promjena.

Klimatske promjene značajno utječu na geografsku rasprostranjenost biljnih vrsta (Kosanic i sur., 2018; Pacifici i sur., 2015). Većina tih promjena povezana je sa povećanjem temperature i smanjenjem količine oborina tijekom vegetacijske sezone (IPCC, 2014). Klimatske promjene mogu također povećati opasnost od invazivnih stranih vrsta (Brundu i Richardson, 2016; Kleinbauer i sur., 2010). Nadalje, postoji razlika u utjecaju klimatskih promjena na distribuciju vrsta na sjeveru i na jugu (Lindner i sur., 2014), pa se tako npr. za areal hrasta kitnjaka očekuje da će se smanjivati na jugu, a povećavati na sjeveru (Sáenz-Romero i sur., 2017).

Ograničavajući čimbenici za pojedinu vrstu su oni koji onemogućuju sposobnost rasta i fenoloških faza biljaka (Dyderski i sur., 2017; Scheffers i sur., 2016), a najčešće su to suša, mraz, poplava ili visoka podzemna voda. Nadalje, neprikladna klima može otežati regeneraciju vrsta zbog toga što su mlade biljke naročito osjetljive na spomenute čimbenike (Niinemets i Valladares, 2006).

Suša ne bi trebala biti limitirajući čimbenik za hrastove (Gillner i sur., 2013; Breda i sur., 1995; Abrams, 1990). Prema Allen (2015) hrastovi su vrlo plastične vrste te imaju dvije različite, ali neophodne prilagodbe na sušu: prva je stvaranje mikorize s brojnim vrstama gljiva, a druga duboko korijenje koje omogućuje korištenje vode iz dubljih slojeva tla. Mikorizne hife imaju sposobnost preživljavanja ljetnih suša te iskorištavanja kratkotrajnih ljetnih oborina (Egerton-Warburton i sur., 2008). Ove prilagodbe mogle bi biti od pomoći hrastovima u preživljavanju klimatskih promjena u budućnosti.

Nadalje, postoje dvije vrste prilagodbe hrastova na nedostatak oborina, morfološka i fiziološka. Morfološka prilagodba u lišću, deblu i korijenju ima istovremeno ulogu izbjegavanja i podnošenja suše, a fiziološka prilagodba odnosi se na kontrolu stanične provodljivosti i vodenog potencijala u lišću, osmotsku prilagodbu te fotosintetsku fiksaciju ugljika (Dickson i Tomlinson, 1996).

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) široko je rasprostranjena vrsta drveća u Europi. Unatoč velikoj geografskoj rasprostranjenosti i širokoj ekološkoj niši često se navodi da je varijabilnost rasta hrasta lužnjaka ograničena strogo definiranim lokalnim prilikama, naročito hidromorfnim uvjetima tala (Thomas i sur., 2002).

Prema dosadašnjim spoznajama hrast lužnjak je vrsta otporna na ekstremnu sušu i visoke temperature (Kuster i sur., 2014), a osjetljiv na kasne proljetne mrazove i nisku temperaturu zraka (Vitasse i sur., 2019). Tijekom suše hrast lužnjak sposoban je brzo raspodijeliti resurse u rast korijena kako bi iskoristio vlagu i hranjiva, istovremeno smanjujući gubitak vode transpiracijom (Thomas i Gausling, 2000). Međutim, niz regionalnih epizoda odumiranja hrasta tijekom 20. stoljeća se pripisuje kombinaciji predisponirajućih ekstremnih klimatskih čimbenika (suše, mraz) s gradacijama kukaca i napadom pepelnice (Urli i sur., 2015; Dekanić 2014; Denman i sur., 2014; Andersson i sur., 2011; Levanič i sur., 2011; Thomas i sur., 2002; Führer, 1998). Iako danas izostaju katastrofalna sušenja intenzitet i široka distribucija pojedinačnog sušenja postaju glavni problem diljem jugoistočne Europe (Čater, 2015; Stojanović, 2015; Dekanić, 2014; Levanič i sur., 2011) za razliku od zapadne Europe gdje su zabilježeni pozitivni trendovi rasta hrasta lužnjaka (Kint i sur., 2012; Bergès i sur., 2000; Becker i sur., 1994).

Vrste iz roda *Fraxinus* pridolaze na različitim staništima s obzirom na dostupnost vode. U vezi s tim razlikuje se i morfološki izgled stabala jasena pa tako Wardle (1961) primjećuje da jasen kojem kronično nedostaje vode ostaje grm. Anić (2001) istražuje sastojine grmolikih stabala poljskog jasena na rubovima poplavnih polja u Posavini koje naziva inicijalnim stadijem razvoja, dok ostale stadije naziva optimalnim i terminalnim.

Ludlow (1989) je opisao tri strategije reagiranja na vodeni stres: (1) biljke sa strategijom bijega (*eng. Drought escape*) imaju životni ciklus tijekom kojeg obave sve faze razvoja prije nego nastane nedostatak vode (npr. pustinjske biljke); (2) biljke sa strategijom izbjegavanja (*eng. Drought avoidance*) sprečavaju veliko smanjenje potencijala vode u lišću smanjujući gubitak

vode ili povećavajući unos vode (npr. pustinjski sukulenti); također u ovu grupu pripadaju i biljke koje imaju duboki korijen te time na raspolaganju i veću količinu tla i vlage; (3) biljke sa strategijom tolerancije (eng. *Drought tolerance*), koja najbolje opisuje odgovor jasena na vodeni stres, imaju tkiva koja mogu podnijeti dehidraciju.

Marigo i Peltier (1996) pokazali su da osmotske promjene i elastično prilagođavanje staničnih stijenki doprinose mehanizmima prilagođavanja jasena sušnim uvjetima. Vrste iz roda *Fraxinus* smatraju se anizohidričnim, tj. na sušu tolerantnim vrstama (Stohr i Losch, 2004) no u usporedbi s hrastom lošije gospodare vodom, sporije reagiraju sa zatvaranjem puči u slučaju nedostatka vode pa je tako hrast bolje prilagođen na sušni stres (Aussenac i Levy, 1983). Veličina puči kod jasena je vrlo bitna i ona je veća u poplavnim područjima, ali onda su ta stabla i osjetljivija na sušu (Carlier i sur., 1992).

S druge strane Kerr i Cahalan (2004) zaključuju da jasen ima toleranciju na vlažni stres i da raste na mjestima gdje je voda ograničavajući čimbenik za mnoge druge vrste drveća. Također navode da dubina zakorjenjivanja jasena ovisi ponajprije o dubini, odnosno blizini podzemne vode, jer korijenove dlačice odumiru prilikom podizanja njezine razine. Istraživanje jasenovih sadnica pokazalo je da one mogu podnijeti vrlo dugo poplavljanje tijekom sezone rasta (Iremonger i Kelly, 1988) i više od dva mjeseca (Drvodelić i sur., 2016).

### **2.2.2. Promjene klime – prilagodba (adaptacija) i aklimatizacija**

Reakcija šumskih vrsta drveća na klimatske promjene može se odvijati na tri načina: odumiranje stabala, migracije stabala u ekološke niše te prilagodba novim uvjetima na trenutnom području rasprostranjenja (Aitken i sur., 2008). Prema fosilnim istraživanjima tijekom sadašnjeg geološkog razdoblja (kvartar/holocen) nije bilo izumiranja vrsta drveća što sugerira da su postojeće vrste drveća u Europi pokazale učinkovitu sposobnost migracije i prilagodbe promjenama okoliša (Kremer, 2010).

Prilagodba (eng. *Adaptation*) u biologiji predstavlja proces kojim se vrsta prilagođava uvjetima u svom okolišu, a rezultat je prirodnog odabira koji djeluje na nasljedne osobine kroz nekoliko generacija. Stabla su dugoživući organizmi, a njihova prilagodba odvija se tijekom cijelog života sve do onog trenutka kada uvjeti postaju toliko nepovoljni da jedinka odumire. One jedinke koje preživljavaju šire svoj genetski materijal što znači da prilagodba vrste napreduje metodom prirodne selekcije. Što se tiče prilagodbe hrastova u prošlosti Kremer (2010)

zaključuje kako su hrastovi brzo reagirali na promjene okoliša, tj. povećanje temperature tijekom posljednjeg postglacijalnog razdoblja, unatoč niskoj razini evolucijske brzine na razini gena. Prema istraživanjima u SAD-u predviđa se kako će 63 – 74 % vrsta hrastova i u budućnosti profitirati u širenju areala, i to najmanje 10 % od sadašnje rasprostranjenosti (Matthews, 2016).

Aklimatizacija (eng. *Acclimation*) se definira kao postupno i reverzibilno prilagođavanje fiziologije i morfologije promjenama u okolišnim uvjetima (Crawford i sur., 1990). To je vrsta prilagodbe koja se događa tijekom života stabla, tijekom jedne generacije, a rezultat je lokalnih stanišnih uvjeta u kojima vrsta raste te se ne prenosi nasljednim osobinama nego stječe po potrebi. Primjer aklimatizacije hrasta lužnjaka bila bi njegova dubina zakorjenjivanja, odnosno korištenje podzemne vode u slučaju deficita oborina. Tako hrast prema potrebi postaje freatofit. Freatofiti su poblize definirani kao one biljke koje rastu u uvjetima u kojima vlaga iz oborina nije dovoljna za dugoročni rast te su one prisiljene nedostatku vlage nadoknaditi iz izvora podzemne vode (Dekanić, 2014).

### **2.2.3. Rasprostranjenost hrasta lužnjaka**

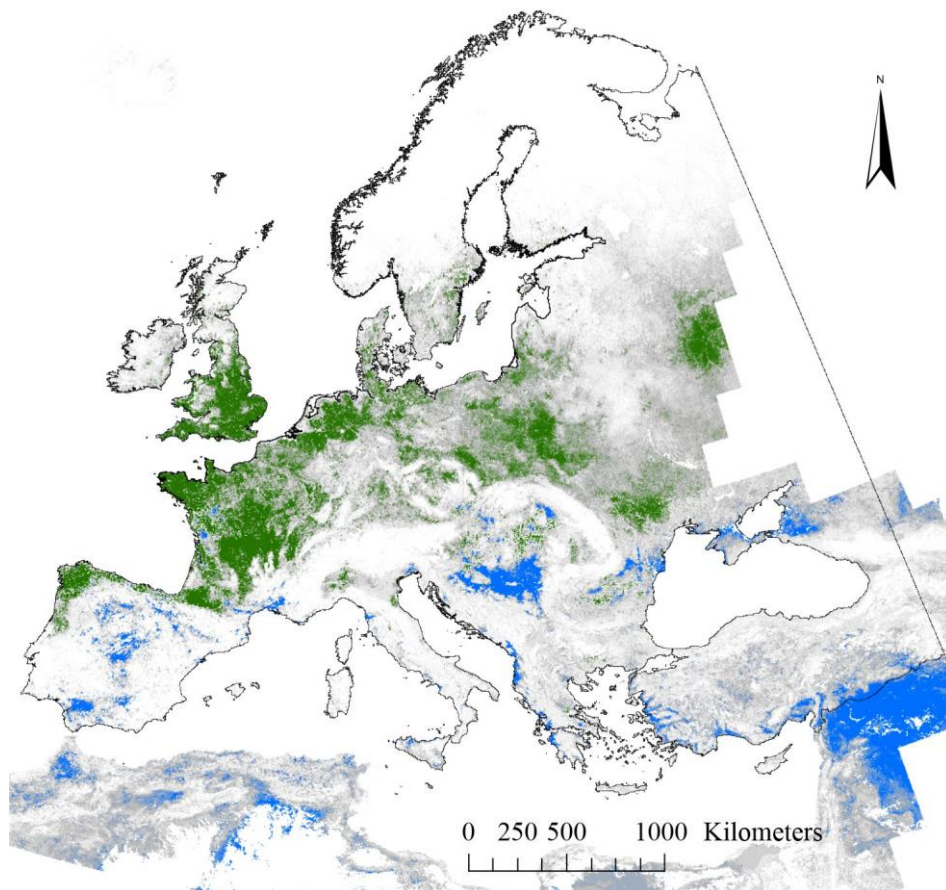
Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) je vrsta koja zauzima područje gotovo cijele Europe, od Norveške na sjeveru do Turske na jugu. Areal ove vrste isprepleten je s arealom hrasta kitnjaka (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) s tim da lužnjak ima širu distribuciju prostirući se više sjeverno na norvešku obalu i sjevernu Škotsku, zatim južno uključuje i Portugal, Grčku i dijelove južne Turske te istočno u centralnu Rusiju (Eaton i sur., 2016). Južna granica rasprostiranja nije točno definirana s obzirom da se hrastovi lužnjak i kitnjak mogu križati međusobno, ali i sa mediteranskim vrstama kao što su *Q. pubescens* i *Q. frainetto* (Curtu i sur., 2007). Hrast lužnjak najčešće dolazi na nižim nadmorskim visinama, u dubokim vlažnim tlima, no pojavljuje se i u Alpama i to čak na 1.300 m (Roloff i sur., 2010).

Rasprostranjenost vrsta hrastova u Europi više se puta mijenjala od Sredozemlja do borealnih područja tijekom glacijalnih i interglacijalnih razdoblja, a na kraju posljednjeg glacijalnog maksimuma hrastove šume bile su ograničene na Italiju, Pirenejski i Balkanski poluotok (Kremer, 2002).

Hrastovi lužnjak i kitnjak vrlo su slične vrste i često su u europskoj literaturi opisivane zajedno (Eaton i sur., 2016; Ducouso i Bordacs, 2004) naročito zbog njihovih morfoloških i genetičkih



osobina. Gledajući prema stanišnim uvjetima postoji jasna tendencija razdvajanja jer lužnjak preferira vlažnija i bogatija staništa te podnosi povremenu poplavu dok kitnjak podnosi veću sušu te siromašnije i kiselije tlo. Drugim riječima stanište lužnjaka za kitnjak je limitirano poplavama, a stanište kitnjaka za lužnjak sušom. Ova zakonitost naročito je izražena u jugoistočnoj Europi (npr. Hrvatska) gdje se lužnjak i kitnjak razdvajaju po visinskim zonama dok je u zapadnoj i srednjoj Europi prisutno intenzivnije miješanje ovih dviju vrsta drveća. Tako Antonić (2001) zaključuje da je hrast lužnjak u Hrvatskoj rasprostranjen na dopunski vlaženim područjima (podzemnom vodom i/ili poplavama) te izvan njih samo kada su hidropedološki i/ili geomorfološki uvjeti povoljni.



**Slika 3.** Rasprostranjenost hrasta lužnjaka (zeleno) i poljskog jasena (plavo) u Europi (izvor: EUFORGEN)

#### **2.2.4. Rasprostranjenost poljskog jasena**

Poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl) nastanjuje srednju, južnu i jugoistočnu Europu te sjeverozapadnu Aziju. Postoje tri podvrste: *Fraxinus angustifolia* subsp. *angustifolia* u jugozapadnoj Europi i sjeverozapadnoj Africi, *Fraxinus angustifolia* subsp. *oxycarpa* u srednjoj Europi, balkanskoj i crnomorskoj regiji, te *Fraxinus angustifolia* subsp. *syriaca* u jugoistočnoj Anatoliji, srednjem istoku do Irana (Wallander, 2008). Smatra se brzorastućom heliofilnom vrstom drveća koja pridolazi u umjerenj klimi u rasponu oborina od 400 do 800 mm, a raste dobro u poplavnim nizinama kao i na ocjeditim nagibima gdje je više izložen konkurenciji ostalih vrsta (Caudullo i Durrant, 2016). U srednjoj Europi, Panonskoj nizini i na Balkanskom poluotoku poljski jasen raste uglavnom u riječnim nizinama gdje tvori velike komplekse dok je u mediteranskoj regiji ograničen na male izolirane populacije na vlažnim staništima uz vodotoke ili pak na suhim staništima na većim nadmorskim visinama (Boshier i sur., 2005; Temunović i sur., 2012). Rijetko tvori čiste sastojine, kao što je to slučaj u nizini rijeke Save, nego pridolazi kao dominantna ili prateća vrsta u mješovitim sastojinama sa vrstama iz rodova *Quercus*, *Ulmus*, *Acer*, *Populus* i *Tilia* tvoreći tako stabilne ekosustave (Bobinac i sur., 2010; Boshier i sur., 2005).

U Hrvatskoj poljski jasen tvori čiste sastojine i to na značajno velikom području. Takve šume rasprostranjene su na približno 27.600 ha, u poplavnim područjima Posavine, pokupske i bjelovarske zavale te Podravine (Anić, 2001). Nadalje, ova vrsta je prisutna u mješovitim šumama s hrastom lužnjakom, a pojavljuje se i uz obale krških rijeka.

#### **2.2.5. Nizinske poplavne šume u Europi**

Prirodne nizinske poplavne šume prašumskog karaktera u Europi praktički više ne postoje (Sabatini i sur., 2018). Stoga se takve šume smatraju jednim od dva najugroženija šumska stanišna tipa (Schnitzler, 1994; Cox i Temple, 2016). U umjerenj zoni Europe nizinske poplavne šume sačuvane su u središnjem i istočnom dijelu kontinenta i zauzimaju ukupnu površinu od otprilike 1.750.000 ha (Klimo i sur., 2008). Prema kartografskom prikazu Hughes i sur. (2012) najviše je takvih površina u europskom dijelu Rusije, zatim Ukrajini i Hrvatskoj te Srbiji, Mađarskoj, Poljskoj, Rumunjskoj i Slovačkoj.



**Slika 4.** Poplavne šume u Europi (izvor: Hughes i sur., 2012)

Obnavljanje poplavnih šuma u Europi započelo je nakon što su se uvidjele štetne posljedice njihovog nestajanja. Jedan od prvih primjera svakako je obnova poplavnog područja uz rijeku Rajnu u Njemačkoj koje je u prošlosti smanjeno s ishodišnih 1.822 km<sup>2</sup> na 162 km<sup>2</sup> (Schnitzler, 1994). Glavni razlog nestajanja poplavnih područja bila je urbanizacija, izgradnja nasipa i intenzivna prenamjena šumskog zemljišta u poljoprivredno. Manje razvijene europske države koje su kasnile sa gospodarskim razvojem sačuvale su stoga veće površine poplavnih šuma od antropogenog utjecaja, a sada imaju veliki izazov kako prilagoditi poplavne šume prijetećim promjenama klime.

Za srednju Europu naročito su važni dijelovi poplavnih šuma uz rijeku Dunav i njene pritoke. Činjenica da je oko 80 % nekadašnjeg poplavnog područja uz Dunav nestalo u razdoblju od početka 19. stoljeća do danas (Schneider-Binder, 2008) naglašava važnost preostalih poplavnih šuma. Poplavne šume riznica su bioraznolikosti te kao takve imaju posebnu zaštitu u sklopu europske ekološke mreže Natura 2000 (Machar, 2008; Schneider-Binder, 2008). Naročito su ugrožene poplavne šume tvrdih listaća, hrasta lužnjaka i poljskog jasena, pa stoga njihova relativno velika zastupljenost na području Hrvatske predstavlja određeni raritet u Europi.

## 2.3. Dinamika šuma hrasta lužnjaka i poljskog jasena

### 2.3.1. Dinamika šuma – opći pojmovi

Dinamika šuma je pojam koji označava promjene u strukturi sastojine, sastavu vrsta te interakciji vrsta s poremećajem s obzirom na tip i učestalost poremećaja u određenom prostoru i vremenu (Frelich, 2002). Njome se opisuju osnovne fizičke i biološke sile koje oblikuju i mijenjaju šumski ekosustav. Dva su osnovna pojma vezana uz dinamiku šuma: 1. poremećaj (*eng. Disturbance*) i 2. sukcesija (*eng. Succession*); te tri osnovna procesa:

1. regeneracija (pomlađivane šuma),
2. rast i razvoj šuma,
3. odumiranje.

Proučavanje prirodne dinamike šuma je važno jer se na temelju dobivenih spoznaja mogu razviti modeli za prirodi blisko uzgajanje šuma koje je najsigurnija metoda prilagodbe klimatskim promjenama.

Poremećaj (*eng. Disturbance*) je ključni proces u dinamici šumskih ekosustava (Oliver i Larson, 1996). To je bilo koja pojava kojom se pokreće dinamika sastojine, a može biti prirodna i antropogena. Prirodni poremećaji uključuju požare, suše, vjetrolome, ledolome, bujične tokove, klizanja tla, tokove lave, zatim prenamnoženja kukaca, gljivična oboljenja ili pak nekontrolirano širenje korova i alohtonih vrsta drveća.

Požari su najčešći prirodni pokretači dinamike šuma na Zemlji (Lloret i Zedler, 2009). Svake godine prirodni požari zahvaćaju ogromne površine, naročito borealnih šuma Kanade i Rusije. Tako samo u Kanadi godišnje izgori prosječno nešto više od 2 milijuna hektara šuma (Amiro i sur., 2001). O njihovom karakteru i intenzitetu rasprostiranja ovisi i pokretanje dinamike tih šuma, odnosno njihovo propadanje i obnova. Nadalje, požari su vrlo bitni za funkcioniranje navedenih šumskih ekosustava i zbog toga što održavaju prirodnu „higijenu“ šuma smanjujući brojnost štetnih kukaca i razvoj gljivičnih bolesti.

Vjetar je vrlo čest prirodni pokretač dinamike šuma, a uzrokuje vjetrolome i vjetroizvale koji se uglavnom događaju ciklički, u određenim vremenskim periodima. Isto tako vjetar ima i kronični utjecaj na stabla jer djeluje redovito i dugotrajno (Mitchell, 2012). Takav slučaj je sa burom i vrstama drveća koje žive u području njezinog pojavljivanja (npr. submediteran).

Djelovanje vjetra na dinamiku šuma vidljivo je iz primjera spačvanskih šuma hrasta lužnjaka gdje se orkanski vjetar sa značajnim posljedicama u vidu vjetroloma i vjetroizvala pojavljivao otprilike svakih 10 godina u posljednja 3 desetljeća; 1998., 2008. i 2019. (Hrvatske šume, 2019). I dok takve nepogode pričinjavaju poteškoće u gospodarenju šumama stvarajući dodatan posao sanacije sastojina i remeteći planove gospodarenja u prirodi su one sasvim normalna pojava koja pokreće regeneraciju šume i to svim svojstvenim vrstama za to područje. Progale koje se stvaraju mogu biti različitih veličina, od pojedinačnog stabla pa do nekoliko hektara.

Suše su značajan pokretač dinamike te jednako kao i vjetar mogu izazvati sušenja na različitim površinama. Vrlo često od posljedica suše odumiru pojedinačna stabla hrasta lužnjaka što je u posljednje vrijeme i najčešći oblik propadanja ovih šuma na području Hrvatske (Dubravac i sur., 2011). Ako suše zahvaćaju veću površinu šuma uglavnom je onda za odumiranje zaslužna kombinacija više čimbenika. Tako suše nisu uvijek direktni uzročnik poremećaja jer kao primarni čimbenik u fiziološkom slabljenju stabala otvaraju put za gradacije kukaca ili razvoj bolesti, ili su pak odličan preduvjet za pojavu i širenje požara.

Gradacije kukaca najčešće se vežu uz potkornjake i šume obične smreke. Potkornjaci su najrazorniji biotski čimbenik koji djeluje na odumiranje šuma (Anderegg i sur., 2015). Gradacija se događa nakon suše ili neke druge klimatske nepogode kao što je bio slučaj 2014. godine u Gorskom kotaru kada je uslijedila nakon ledoloma. Gubar (*Lymantria dispar* L.) je najznačajniji štetnik u hrastovim šumama, a zabilježene gradacije tijekom 20. stoljeća prouzrokovale su značajne ekonomske štete.

Bolesti, tj. gljivična oboljenja šumskog drveća koja postoje od prije na nekom području ne pričinjavaju velike štete u šumama. Nove bolesti koje se u posljednje vrijeme pojavljuju, naročito od kada se intenziviralo trgovanje drvnim proizvodima i sadnim materijalom, ugrožavaju čak i opstanak pojedinih vrsta drveća. Takve su npr. holandska bolest brijesta (*Ophiostoma ulmi*) i nova bolest na poljskom i običnom jasenu *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz, i Hosoya (anamorfni oblik *Chalara fraxinea* T. Kowalski). Hrastova pepelnica (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.) u Hrvatskoj se pojavila 1908. godine i otada se udomaćila te je uz gubara najznačajniji štetnik u hrastovim šumama, no ne pričinjava značajne ekonomske štete i odumiranja stabala nego uglavnom otežava razvoj ponika i pomlatka prilikom obnove šuma, a može ga i potpuno uništiti (Liović, 2011).

Prirodni poremećaji uglavnom izazivaju odumiranje jednog ili nekoliko stabala te nastaju progale u sklopu krošanja (eng. *Gaps*) veličine do 0,1 ha koje se popunjavaju drugim stablima (Yamamoto, 2000). Takva zakonitost poznata je kao dinamika progala (eng. *Gap Dynamics*) (Brokaw i Busing, 2000; Kimmins, 1997).

Prema Frelich (2016) postoje tri jačine poremećaja i to na razini: 1) pojedinačnog stabla (oko 0,01 ha), 2) sastojine, tj. skupa stabala istog sastava i starosne strukture (0,1 do 10 ha) te 3) krajolika, tj. skupa sastojina u rasponu od 1.000 do 100.000 ha.

Sukcesija (eng. *Succession*) predstavlja postupne promjene u sastavu vrsta drveća, grmlja i prizemnog rašća koje čine neku šumsku zajednicu (fitocenozu) te podrazumijeva i njihovu izmjenu. Događa se nakon određenog poremećaja i može trajati jako dugo, sve dok se ne uspostavi stabilno stanje šume – klimatogena zajednica. Pri tome se misli na sekundarnu sukcesiju koja je povezana sa dinamikom šuma, dok primarna sukcesija označava pojavu šumske vegetacije na dotad nešumskom prostoru, npr. nakon vulkanske erupcije (Korablev i Neshataeva, 2016).

Prema teoriji dinamike progala svaka prašuma sastavljena je od prostornog mozaika različitih faza koje se mijenjaju ciklički kroz vrijeme (Yamamoto, 2000). Prema istom autoru postoje 4 tipa regeneracije stabala u progalama. Tip 1 je svojstven vrstama koje se obnavljaju jedinkama nastalima prije stvaranja progale. Često su one i klimatogene (konačne) vrste. Tip 2 je svojstven pionirskim vrstama drveća koje se ne mogu pojaviti prije stvaranja progale jer im je za razvoj potrebna veća količina svjetla. Tip 3 su one vrste koje mogu postojati prije stvaranja progale, ali nisu u stanju zatvoriti sklop krošanja nakon što se progala napravi. Tip 4 imaju one konačne vrste koje se ne mogu obnoviti jedinkama nastalima prije nastanka progale, ali često puta ni nakon stvaranja progale ovisno o uvjetima (npr. neki hrastovi).

Skup svih poremećaja u određenom prostoru i vremenu te njihovo izmjenjivanje naziva se režim poremećaja (eng. *Disturbance regime*) (Splechna i sur., 2005).

Poremećaji se razlikuju po uzročniku, veličini, jačini, učestalosti i strukturi koja nastaje nakon poremećaja (Turner, 2010). Poremećaji se često nadovezuju jedan na drugi kao npr. vjetroizvale stabala i pojava potkornjaka čime se povećava složenost dinamike šuma. Nakon poremećaja dolazi do pojave različitih vrsta što se smatra važnim čimbenikom u njihovom opstanku. Slabi poremećaj koji tvori pojedinačno stablo može biti važan na sastojinskoj razini, ali ne i za okolinu.

### **2.3.2. Utjecaj klime na dinamiku šuma**

Djelovanjem klime, odnosno sinergističkim utjecajem klimatskih elemenata i klimatskih modifikatora, formirani su današnji ekosustavi koji su bili poprilično stabilni posljednjih nekoliko stotina godina. Danas smo svjedoci ubrzanih klimatskih promjena koje narušavaju tu stabilnost uzrokujući promjene u postojećem biljnom pokrivaču određenog prostora.

Promjene u klimatskim uvjetima značajno mijenjaju dinamiku šuma povećavajući učestalost poremećaja te brojnost i odnos vrsta (Thom i sur., 2017). Tako porast temperature povećava broj generacija kukaca tijekom godine i smanjuje njihovu smrtnost tijekom zimskih mjeseci (Kauserud i sur., 2013; Wermelinger, 2004) što uzrokuje veće štete na stablima. Nadalje, povećanje temperature produljuje i vegetacijsku sezonu te isto tako povećava i vjerojatnost infekcije gljivičnim bolestima.

Dosadašnji klimatski modeli nisu uzimali u obzir promjenu dinamike šuma i smanjenu funkciju ublažavanja klime. To bi moglo značajno utjecati na dodatno povećanje učinka klimatskih promjena (Carvalhais i sur., 2014; Moss i sur., 2010).

### **2.3.3. Sušenje i odumiranje šuma**

Odumiranje stabala (eng. *Dieback* ili *Decline*) podrazumijeva preuranjeni, neuobičajeni gubitak vitaliteta te sušenje većeg broja stabala izazvano zajedničkim negativnim utjecajem biotskih i abiotskih čimbenika. Najčešće su abiotski utjecaji (suše, požari, vjetrolovi, poplave) oni koji iniciraju proces odumiranja dok ga biotski (gljive, kukci) nastavljaju. Prema Thomasu (2008) odumiranje hrasta je obično spor proces koji postupno utječe na vitalitet tijekom mnogih godina pa čak i desetljeća. Također treba razlikovati sporo ili kronično te brzo ili akutno djelovanje negativnih čimbenika (Denman i Webber, 2009).

Hrastu lužnjaku kao vrlo vrijednoj vrsti drveća u Europi uvijek se pridavala posebna pažnja. Epizode sušenja i odumiranja zabilježene su naročito tijekom 20. stoljeća. U istočnoj, srednjoj i zapadnoj Europi zabilježena su propadanja hrasta od 1909. do 1958. godine te 1980.-ih i 1990.-ih (Oszako i Woodward, 2006; Thomas i sur., 2002). U Velikoj Britaniji naročito su izražena sušenja hrasta 1920.-ih te 1980. i 1993. godine (Forest Research, 2020). U većini slučajeva odumiranje hrasta u 20. stoljeću karakteriziraju epizode značajnog mortaliteta lokalnog karaktera. Takve epizode mogu trajati i do 10 godina, a ponekad im prethodi faza smanjenog prirasta (Thomas i sur., 2002). Prema Müller-Edzards i sur. (1997) propadanje hrasta

razlikuje se od općeg propadanja šuma u Europi koje karakterizira povećana osutost krošnji čitavih šumskih sastojina na velikim površinama, ali u većini slučajeva i niska smrtnost.

U Hrvatskoj postoje također detaljni zapisi o odumiranju, a prva su zabilježena između 1909. i 1925. (Manojlović, 1926), zatim slijede 1950.-ih te naročito 1980.-ih kada su se dogodila katastrofalna sušenja srednjodobnih sastojina na pojedinim lokalitetima, kao npr. Turopoljski lug, Kalje, Žutica (Kapec, 2006; Anić i sur., 2002; Prpić i sur., 1994). Već tada spominje se negativan utjecaj klimatskih promjena pa se obnova lužnjakovih sastojina prema Matić i sur. (2009) mora prilagoditi sadašnjim uvjetima uroda koji nije tako obilan ni čest stoga pomladno razdoblje u svakom slučaju treba produžiti.

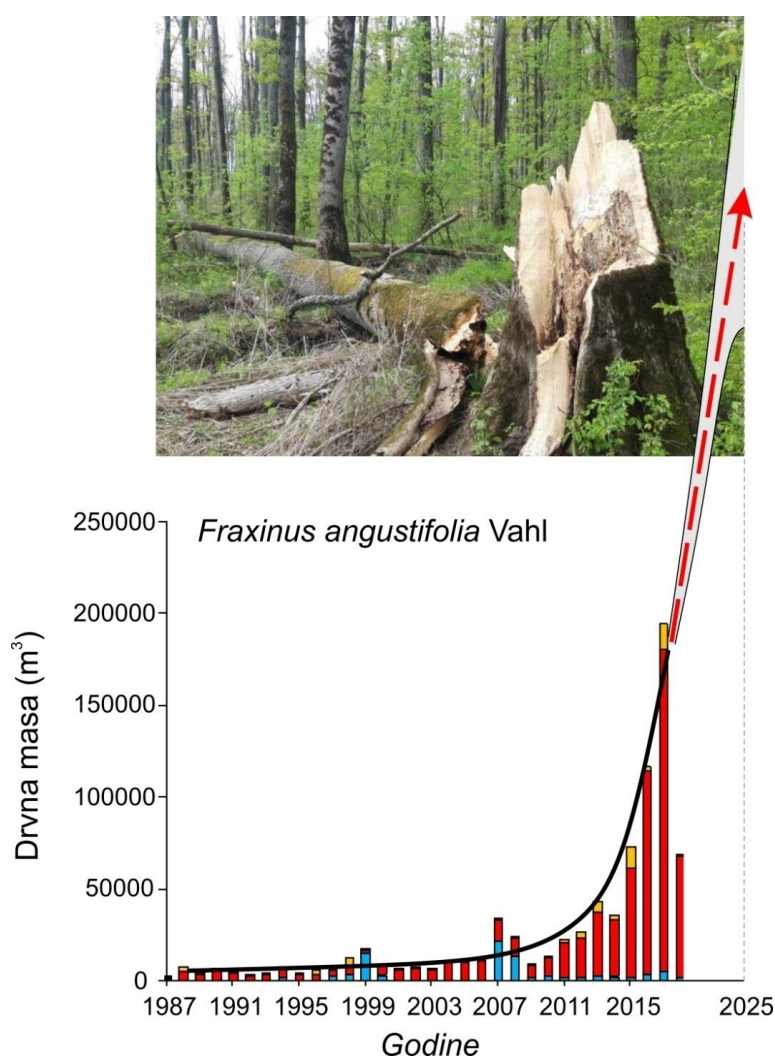
Nakon 1990. godine ne bilježe se više takva sušenja lokalnog karaktera nego se hrast počinje sušiti na čitavoj površini lužnjakovih šuma u pretežito starim sastojinama (Dubravac i Dekanić, 2009). Sušenje je uzrokovano nemogućnošću prilagodbe starih stabala na nove stanišne prilike (Perić, 1998). Dekanić (2014) navodi kako stabla hrasta lužnjaka odumiru vrlo dugo pa gotovo veći dio svoga života imaju manje priraste od vitalnih stabala. Nadalje, zaključuje da nepovoljan odnos ostvarenog i potencijalnog stajališnog prostora za ovu vrstu predstavlja prvi korak prema smanjivanju vitaliteta stabla i njegova prirasta, a ono tada postaje manje otporno na čimbenike poput suše, dugotrajne poplave ili golobrsta.

S druge strane, sušenja poljskog jasena u jugoistočnoj i srednjoj Europi, a tako i običnog jasena u ostatku Europe, nisu zabilježena kao česta sve do pojave novog patogena, gljive *Hymenoscyphus fraxineus*. U Europi se ova gljiva pojavila početkom 1990.-ih, a odumiranje je bilo najintenzivnije u periodu 2010. – 2020. Rezultati istraživanja pokazali su kako je u prosjeku samo 5 % stabala jasena rezistentno na ovu bolest (Forest Research, 2020) pa je nužno pratiti vitalitet stabala i očuvati otporne jedinice.

Najbolji pokazatelj vitaliteta jasenovih sastojina je praćenje osutosti krošanja koje se provodi svake godine, a rezultati pokazuju porast osutosti sa 17 % na 75 % u razdoblju 2011. – 2017. (Potočić i sur., 2017). U Hrvatskoj je ova gljiva prvi puta otkrivena 2009. godine na običnom jasenu te 2011. na poljskom jasenu (Barić i sur., 2012), a štete na poljskom jasenu počele su se pojavljivati nakon 2015. godine. Prema Kranjec (2017) ova gljiva još uvijek nije potvrđena kao primarni uzročnik odumiranja poljskoga jasena u nizinskim šumama već se smatra samo jednim od više različitih biotičkih i abiotičkih čimbenika koji sudjeluju u navedenom procesu.



Nedvojbeno je da odumiranje poljskog jasena postoji, i to značajno, a prema nekoliko autora ono je rezultat uzajamnog djelovanja više čimbenika, u prvom redu klimatskih i antropogenih, a zatim već spomenutih biotskih čimbenika (Oršanić i sur., 2020). Ugarković (2017) kao uzroke odumiranja jasena navodi smanjenje godišnje količine oborina i povećanje evapotranspiracije te povećanje obrasta i broja stabala u sastojinama. Prema dostupnim podacima godišnji volumen posječen sanitarnom sječom porastao je u razdoblju 1990. – 2015. sa 9.000 m<sup>3</sup> na 90.000 m<sup>3</sup> (Mikac i sur., 2018), da bi u sljedećim godinama nastavio rasti (Slika 5). U pojedinim šumskim sastojinama sušenja i propadanja stabala su katastrofalna, a često puta je sušenjem zahvaćeno i više od 90 % stabala u sastojini.



**Slika 5.** Trend odumiranja poljskog jasena izražen u volumenu (m<sup>3</sup>) posječene drvene zalihe od 1987. do 2017. godine s projekcijom trenda sušenja do 2025. godine (izvor: Akcijski plan za sanaciju sastojina poljskog jasena zahvaćenih sušenjem za razdoblje 2020. – 2025.)

## 2.4. Dendrokronološka istraživanja klimatskih čimbenika

Dendrokronologija je znanost koja proučava godišnje priraste (godove) stabala i njihovu ovisnost o okolišnim uvjetima i događajima iz prošlosti koji su u njima zabilježeni (Kaennel i Schweingruber, 1995). Najpoznatije grane dendrokronologije su dendroekologija, dendroklimatologija i dendroarheologija.

Dendroekologija proučava godove prema 4 osnovna principa: (I) prirodni poremećaji mogu se odrediti prema strukturi goda ili njegovim oštećenjima, (II) poremećaji iz prošlosti mogu se odrediti i kvantificirati prema širini godova i ostalim značajkama goda, (III) klimatski i hidrološki uvjeti mogu se kalibrirati i rekonstruirati pomoću podataka o širini godova, (IV) gradacije određenih životinjskih vrsta (najčešće kukaca) mogu se također identificirati i rekonstruirati (Fritts i Swetnam, 1989). Dendroekologija se često koristi u istraživanju dinamike šuma, tj. u otkrivanju poremećaja koji utječu na nju. Tako se proučavanjem širina godova mogu utvrditi razdoblja povećanog prirasta nakon nekog stresnog događaja koji je oslobodio prostor od konkurencije stabala.

Dendroklimatologija se bavi proučavanjem prirasta u svrhu rekonstrukcije klimatskih uvjeta na određenom prostoru, a glavni cilj je dobivanje što dužih rekonstrukcija koje bi objasnile promjene klime tijekom prošlosti. Rekonstrukcijama se mogu dobiti procjene odstupanja od dugoročnog prosjeka klime, učestalost ekstremnih klimatskih događaja, promjene unutar godišnje i dugogodišnje varijabilnosti klime (Fritts, 1971; Sheppard, 1991). Tim načinom moguće je saznati kakva je bila klima u prošlosti te jesu li već nekada zabilježene promjene klime kakvima svjedočimo danas. Uz ovu granu veže se i dendrohidrologija kojoj je cilj otkrivanje i rekonstrukcija hidroloških čimbenika koji utječu na rast stabala (protok i vodostaj rijeke).

Dendroarheologija bavi se proučavanjem prirasta arheološkog drveta (kuće, crkve, mostovi, abonosi). Iako je uzorkovanje živih stabala najčešća metoda uzorkovanja u dendrokronologiji ograničena je starošću koje stablo može doživjeti. Hrast lužnjak koji je najzastupljenija vrsta u nizinskim šumama Europe također je i najistraživanija vrsta jer je vrlo zahvalan za dendrokronološka istraživanja. No ipak, rijetko nalazimo stabla hrasta starija od 300 godina pa u istraživanjima povijesnih klimatskih događaja uvelike pomaže uzorkovanje arheološkog drveta. Stoga je glavni cilj dendroarheologije produžiti postojeće kronologije živih stabala.

Općenito, prvi i najvažniji korak u dendrokronologiji je odabir lokacije (Schweingruber i sur., 1990). Odabir ovisi o cilju istraživanja te se može razlikovati ovisno o tome radi li se istraživanje u svrhu klimatskih rekonstrukcija, za koje je potrebno tražiti stabla sa jakim klimatskim signalom, ili pak za dendroekološke analize kada se proučava dinamika prirasta i dobna struktura sastojina. Uzorkuju se najčešće dominantna stabla kako bi se izbjegao utjecaj konkurencije i kako bi se iz podataka o širini godova što bolje iščitao klimatski signal, a za potrebe izrade dobne strukture uzorkuju se sva stabla.

Dendrokronološka istraživanja hrasta lužnjaka zastupljena su u gotovo svim dijelovima njegova areala. Najmanje su istraživanja takvog tipa obavljena na području jugoistočne Europe, zatim južne i istočne Europe, dok su ona brojna u srednjoj, zapadnoj i sjevernoj Europi. Rezultati ovakvih istraživanja pokazuju razlike u klimatskoj osjetljivosti s obzirom na područje istraživanja. Klimatska osjetljivost definira se kao intenzitet utjecaja klimatskih čimbenika na rast stabala (Fritts i Swetnam, 1989). Tako npr. hrastovi s područja sjeverne Europe imaju značajne pozitivne korelacije s temperaturom u rano proljeće (Sohar i sur., 2014) što pokazuje kako im je niska temperatura limitirajući čimbenik pa se na rast stabala pozitivno odražava povećanje temperature u tom dijelu godine. S druge strane, hrastovi u jugoistočnoj Europi nemaju pozitivne korelacije s temperaturom nego su one uglavnom negativne i to u najtoplijem dijelu godine (Mikac i sur., 2018; Levanič i sur., 2011).

Rijetka dendrokronološka istraživanja poljskog jasena ukazuju na značajnu osjetljivost ove vrste na klimatsku i hidrološku komponentu klime (Mikac i sur., 2018; Muñoz i sur., 2017; Marques, 2016), no veliki problem predstavljaju kratke kronologije, ne dulje od 100 godina. Od klimatskih čimbenika kao najznačajniji su se pokazali indeks suše i količina oborina (Mikac i sur., 2018), dok je od hidroloških najznačajniji protok rijeke. Visoke pozitivne korelacije s protokom u razdoblju travanj-srpanj pokazale su se najvažnijima za rast poljskog jasena (Marques, 2016).

### 3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovoga istraživanja su:

- 1) utvrditi sličnosti i razlike u klimatskoj osjetljivosti hrasta lužnjaka na kontinentalnoj razini,
- 2) utvrditi utjecaj klimatskih čimbenika na dinamiku rasta i razvoja sastojina hrasta lužnjaka na području jugoistočne Europe (Posavina),
- 3) utvrditi utjecaj lokalnih mikroreljefnih čimbenika na vrstu i jačinu klimatskog signala u sastojinama hrasta lužnjaka i poljskog jasena,
- 4) utvrditi stupanj ugroženosti od klimatskih promjena pojedinih tipova šumskih sastojina u ovisnosti o mikroreljefu,
- 5) na osnovu rezultata dendrokronoloških istraživanja utvrditi ispravne metode uzgajanja šuma na najugroženijem području,
- 6) utvrditi potencijal dugoročnih kronologija arheološkog drveta hrasta lužnjaka u istraživanju prirodne dinamike šuma.

## 4. MATERIJAL I METODE RADA

### 4.1. Plan pokusa

Istraživanje je provedeno koristeći metode dendrokronologije, a plohe su odabirane prema dva tipa dendrokronoloških istraživanja:

- 1) istraživanje klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka na makro- i mezo-razini te hrasta lužnjaka i poljskog jasena na mikro-razini (dendroklimatološke analize)
- 2) istraživanje prirodne dinamike prašumskih sastojina i analiza širine godova arheološkog drveta (dendroekološke analize).

#### 4.1.1. Dendroklimatološke analize

Sukladno postavljenim ciljevima istraživanje za potrebe dendroklimatoloških analiza provedeno je na tri razine.

(I) Na makro-razini su analizirani utjecaj oborina i temperatura na kontinentalnu varijabilnost klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka u Europi. Podaci za analize klimatske osjetljivosti na makro-razini preuzeti iz znanstvenog rada (Babst i sur., 2017), znanstvene baze *Baltic Sea tree-ring network* (Harvey i sur., 2020) te baze ITRDB (*International Tree-Ring Data Bank*). Radi se o serijama širina godova – TRW kronologije (*Tree-ring width chronologies*) stabala hrasta lužnjaka iz svih dijelova Europe koje su slobodne za preuzimanje i s kojima je moguće raditi vlastitu analizu. Ukupno je preuzeto 210 kronologija.

(II) Na mezo-razini je osim klimatskih varijabli analiziran utjecaj hidroloških čimbenika (vodostaj rijeke Save) na rast hrasta lužnjaka. Podaci za analize klimatske osjetljivosti dobiveni su jednim dijelom uzorkovanjem na terenu, dok je drugi dio podataka (10 TRW kronologija hrasta lužnjaka iz Spačvanskog bazena) preuzet iz baze *figshare* (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14498142.v1>; Dekanić 2014). Tako je za potrebe ove analize ukupno korišteno 22 TRW kronologije.

(III) Na mikro-razini je analiziran utjecaj mikroreljefnih i edafskih čimbenika na varijabilnost klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka i poljskog jasena uzimajući u obzir fizikalne osobine tala, položaj mikroreljefa u odnosu na srednji vodostaj rijeke Save te udaljenost od riječnog korita. Kao podaci za ove analize korištene su iste 22 kronologije hrasta lužnjaka i poljskog jasena.

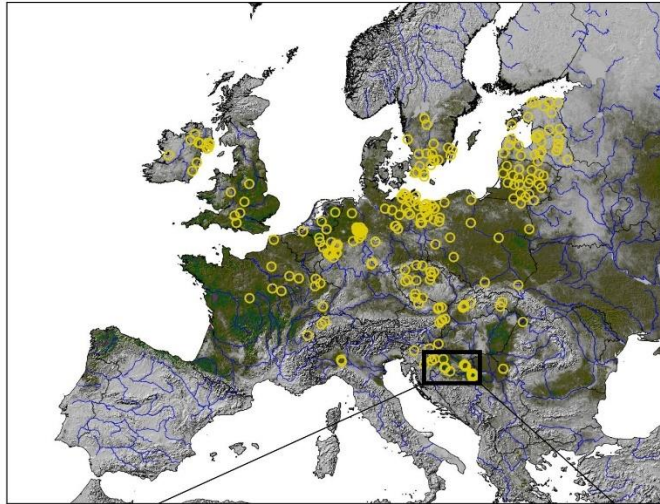
Sastojinske i strukturne značajke  
 Mikroreljef (udaljenost od rijeke)  
 Tlo (fizikalne osobine)

Oborine

Temperatura

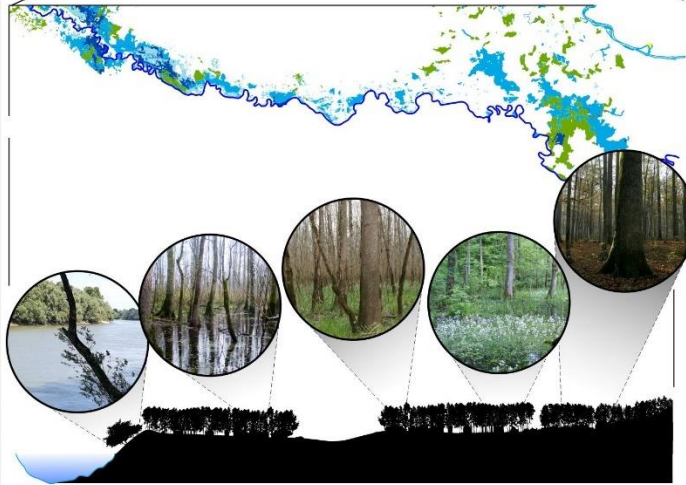
MAKRO RAZINA I

Kontinentalna varijabilnost



MEZO RAZINA II

Regionalna varijabilnost

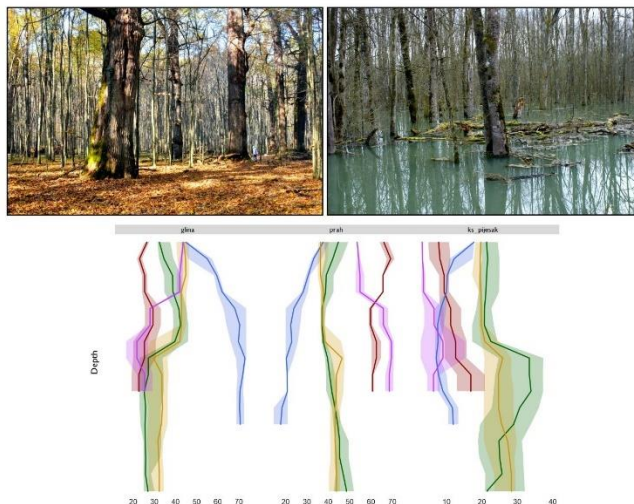


*Quercus robur* L.

*Fraxinus angustifolia* Vahl

MIKRO RAZINA III

Mikrostanišna varijabilnost



Slika 6. Plan pokusa - dendroklimatološke analize

#### **4.1.2. Istraživanje prirodne dinamike prašumskih sastojina i analiza širine godova arheološkog drveta**

Ovaj tip dendrokronoloških istraživanja obuhvaća prašumske sastojine hrasta lužnjaka, Prašnik i Stupnički lug, u kojima je bio cilj istražiti dobnu strukturu i analizirati širine godova. Nadalje, analiza širine godova arheološkog drveta hrasta trebala je poslužiti u usporedbi sa širinama godova današnjih živućih hrastova. Stoga su prikupljeni uzorci sa starih posavskih kuća na području Lonjskog polja.

### **4.2. Područje istraživanja**

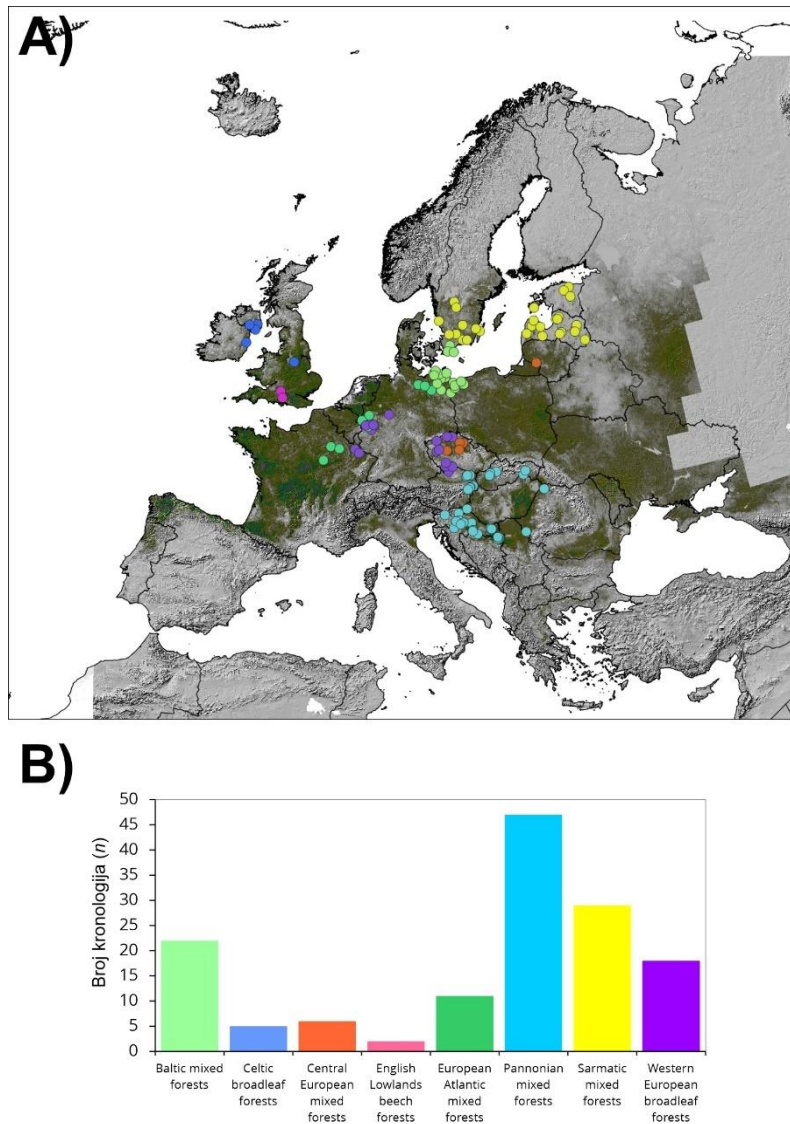
#### **4.2.1. Prostorni razmještaj lokaliteta na makro-razini**

Prostorni položaj kronologija hrastova iz Europe grupiranih prema europskoj ekološkoj klasifikaciji (*Digital Map of European Ecological Regions - DMEER, European Environment Agency (EEA)*) prikazuje Slika 7. Zelenom bojom označeno je područje potencijalne prirodne rasprostranjenosti hrasta lužnjaka u Europi.

Populacije hrasta lužnjaka na razini Europe su:

- 1) baltičke mješovite šume
- 2) britanske i irske listopadne šume
- 3) srednjoeuropske mješovite šume
- 4) euroatlantske mješovite šume
- 5) panonske mješovite šume
- 6) sarmatske mješovite šume (južna Skandinavija i dio Baltika)
- 7) zapadnoeuropske mješovite šume





**Slika 7.** Prostorni položaj kronologija hrastova iz Europe i područje potencijalne prirodne rasprostranjenosti hrasta lužnjaka u Europi označeno zelenom bojom (A) te udio kronologija po grupama prema ekološkoj klasifikaciji (B)

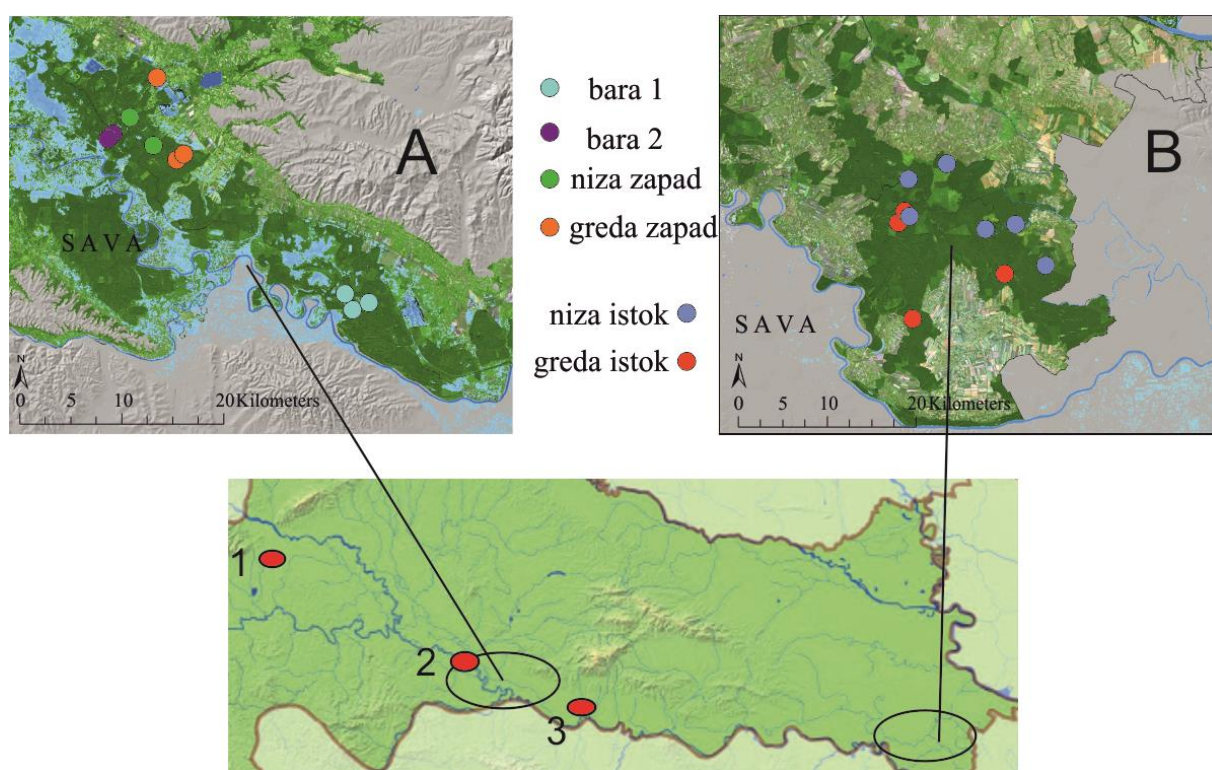
#### 4.2.2. Prostorni razmještaj lokaliteta na mezo- i mikro-razini

Prostorni položaj istraživanih lokaliteta odnosi se na mezo- i mikro-razinu istraživanja, odnosno na većinu novoosnovanih ploha za potrebe dendrokronoloških analiza te za potrebe istraživanja dinamike prašumskih sastojina. Prema tome, istraživanje je provedeno u nizinskim šumama na području Posavine uzduž areala hrasta lužnjaka određenog tokom rijeke Save. Posavina u Republici Hrvatskoj obuhvaća nizinsko poplavno područje uz rijeku Savu od granice sa Slovenijom do granice sa Srbijom. Na tome području postoji nekoliko većih šumskih predjela



kao što su Turopoljski lug, Žutica, Kutinske i Lipovljanske nizinske šume, Grede-Kamare, Radinje, Merolino te šumski kompleks Spačva (Spačvanski bazen).

Hrast lužnjak glavna je vrsta ovih šuma dok je poljski jasen drugi po zastupljenosti. Osim što su od velike općekorisne i gospodarske vrijednosti ove šume su među najočuvanijim i najprirodnijim nizinskim šumama Europe. Hrast lužnjak i poljski jasen, kao glavne vrste drveća na istraživanom području, pod neupitnim su utjecajem klimatskih promjena, kao i nizinska (poplavna) staništa općenito, pa je potrebno taj utjecaj i istražiti. Iz toga je razloga obuhvaćeno veće područje istraživanja ne bi li se pokazale razlike u odgovoru stabala na jednaki intenzitet promjene klime.



**Slika 8.** Područje istraživanja – lokaliteti za dendroklimatološke analize (A i B), prašumske sastojine Stupnički lug (1) i Prašnik (3) te približna lokacija starih posavskih kuća (2)

Kako većina nizinskih šuma Posavine pripada dvama velikim kompleksima (Lonjsko polje i Spačvanski bazen) pokusne plohe odabirane su pretežito u njima. Prostor Lonjskog polja je jedno od najvećih prirodnih močvarnih područja Europe gdje se izmjenjuju poplavne šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena, poplavni travnjaci i ruralni krajolik. Pripadaju mu već

spomenute kutinske i lipovljanske nizinske šume te šume jasenovačkog područja čiju granicu tvori rijeka Strug. To područje predstavlja srednju Posavinu.

Donja Posavina ima nešto manju zastupljenost šuma jer je više šumskih površina u prošlosti pretvoreno u poljoprivredne površine zbog manje opasnosti od poplava i kvalitetnijeg tla. To je područje uz lijevu obalu rijeke Save, od ušća rijeke Bosne (Šamac) do granice sa Srbijom. Spačva kao najveći kompleks nizinskih šuma nalazi se na istočnom rubu Posavine. Ukupno obuhvaća 61.000 ha šuma, od čega je u Hrvatskoj 43.000 ha.

Nadmorske visine istraživanog područja, prema istraživanim lokalitetima, od zapada prema istoku, kreću se od 130 m n. v. (Stupnički lug) do najnižih 79 m n. v. (Topolovac u Spačvi). Razvedenost mikoreljefa utječe na preraspodjelu prispjelih voda čime diferencira neplavljene mikro- i mezouzvisine (grede) od povremeno plavljenih ili neplavljenih niza i bara (Mayer, 1996a). Na istraživanom području izmjenjuju se sva tri mikoreljefna tipa: greda, niza i bara sa hrastom lužnjakom i poljskim jasenom kao dominantnim vrstama. Područje srednje Posavine izraženijeg je mikoreljefa, više je utjecano poplavama i ima veći udio površina barskog tipa u odnosu na donju Posavinu, tj. Spačvanski bazen u kojem su uglavnom zastupljene grede i nize. Barska vegetacija pojavljuje se tek u starim rukavcima vodotoka koji su u procesu sukcesije.

**Tablica 1.** Popis ploha na kojima su obavljena uzorkovanja

Br.	Ploha	Naziv lokaliteta	Svrha uzorkovanja	Koordinate plohe	N. V. (m)	Šumarija/Gospodarska jedinica	Odsjek
1	Stup1	Stupnički lug	Analize rasta i dinamike	45°43'48.86" N 15°48'49.15"E	130,3	Remetinec/Stupnički lug	40a
2	Stup2	Stupnički lug	Analize rasta i dinamike	45°43'45.09" N 15°48'51.56"E	130,0	Remetinec/Stupnički lug	40a
3	Stup3	Stupnički lug	Analize rasta i dinamike	45°43'41.62" N 15°48'56.60"E	128,9	Remetinec/Stupnički lug	40a
4	Stup4	Stupnički lug	Analize rasta i dinamike	45°43'36.29" N 15°49'4.34"E	129,3	Remetinec/Stupnički lug	40a
5	Pilje3	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°26'5.81"N 16°49'23.42"E	98,7	Lipovljani/Josip Kozarac	54a
6	Pilje4	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°26'10.51" N 16°49'31.50"E	99,1	Lipovljani/Josip Kozarac	54a
7	Op158b	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°21'54.49" N 16°51'21.60"E	98,5	NPŠO Lipovljani/Opeke	158b

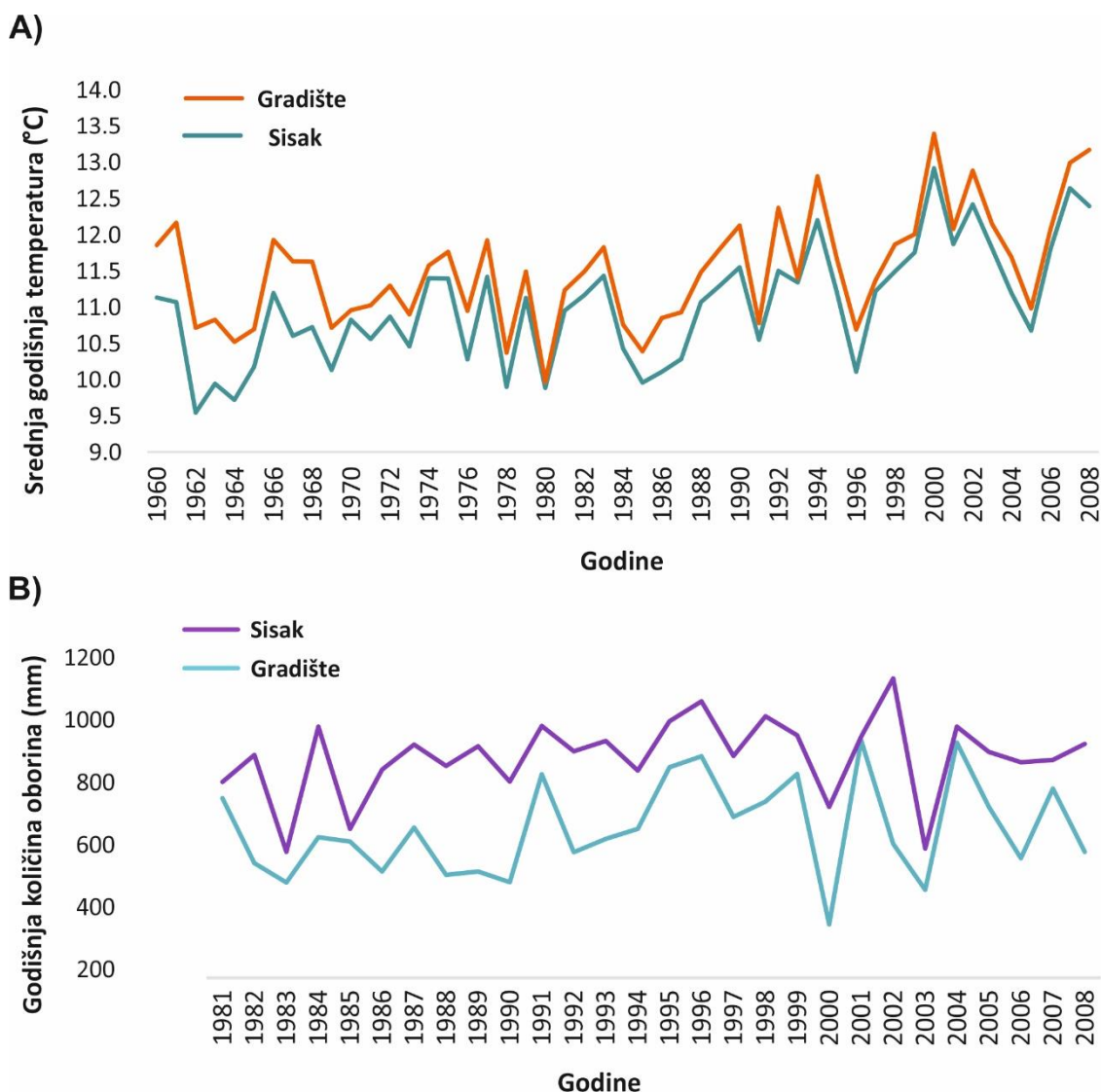
8	Sjeme	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°22'27.72"S 16°49'9.05"E	95,0	Lipovljani/Josip Kozarac	113a
9	Dipl66b	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°24'5.40"S 16°47'28.12"E	95,5	Lipovljani/Josip Kozarac	66b
10	Op157	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°21'43.73"S 16°50'57.10"E	97,6	NPŠO Lipovljani/Opeke	157b
11	JK62b	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°23'4.01"S 16°45'51.54"E	94,6	Lipovljani/Josip Kozarac	62b
12	JK69b	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°22'59.01"S 16°45'56.97"E	93,8	Lipovljani/Josip Kozarac	69b
13	JK70d	Josip Kozarac	Dendroklim. analize	45°23'4.69"S 16°46'5.26"E	93,8	Lipovljani/Josip Kozarac	70d
14	GK44c	Grede-Kamare	Dendroklim. analize	45°14'31.83"S 17° 3'32.58"E	90,6	Jasenovac/Grede-Kamare	44c
15	GK61a	Grede-Kamare	Dendroklim. analize	45°14'5.14"S 17° 5'9.98"E	91,2	Jasenovac/Grede-Kamare	61a
16	GK62b	Grede-Kamare	Dendroklim. analize	45°14'1.09"S 17° 3'57.42"E	90,5	Jasenovac/Grede-Kamare	62b
17	Pra01	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'35.00" N 17°13'32.14"E	95,8	Stara Gradiška/Prašnik	7a
18	Pra02	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'34.92" N 17°13'45.93"E	97,1	Stara Gradiška/Prašnik	7a
19	Pra03	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'30.10" N 17°13'38.95"E	96,1	Stara Gradiška/Prašnik	7a
20	Pra04	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'29.96" N 17°13'52.78"E	95,1	Stara Gradiška/Prašnik	7a
21	Pra05	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'29.92" N 17°14'6.45"E	95,3	Stara Gradiška/Prašnik	7a
22	Pra06	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'25.27" N 17°13'32.05"E	95,7	Stara Gradiška/Prašnik	7a
23	Pra07	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'25.16" N 17°13'45.80"E	93,9	Stara Gradiška/Prašnik	7a
24	Pra08	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'25.09" N 17°13'59.51"E	95,0	Stara Gradiška/Prašnik	7a
25	Pra09	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'20.34" N 17°13'52.66"E	95,0	Stara Gradiška/Prašnik	7a
26	Pra10	Prašnik	Analize rasta i dinamike	45°12'20.20" N 17°14'6.46"E	94,6	Stara Gradiška/Prašnik	7a
27	SpaO1	Spačva	Dendroklim. analize	45° 7'10.94"N 18°55'12.24"E	80,4	Otok/Otočke šume	36b
28	SpaO2	Spačva	Dendroklim. analize	45° 5'59.46"N 18°52'12.74"E	79,6	Otok/Slavir	52b
29	SpaL1	Spačva	Dendroklim. analize	45° 0'34.78"N 19° 3'37.02"E	79,0	Lipovac/Topolovac	40d
30	SpaL2	Spačva	Dendroklim. analize	45° 2'59.87"N 19° 1'8.90"E	81,0	Lipovac/Topolovac	2a
31	SpaV2	Spačva	Dendroklim. analize	45° 2'59.08"N 18°58'47.97"E	80,0	Vrbanjske šume/Vrbanja	68a

32	SpaV1	Spačva	Dendroklim. analize	44°59'58.78" N 18°59'59.73"E	80,0	Vrbanjske šume/Vrbanja	134b
33	SpaV3	Spačva	Dendroklim. analize	44°57'35.46" N 18°52'11.70"E	82,1	Vrbanjske šume/Vrbanja	17a
34	SpaZ1	Spačva	Dendroklim. analize	45° 3'35.30"N 18°51'0.51"E	81,0	Županja/Kragujna	13c
35	SpaZ2	Spačva	Dendroklim. analize	45° 4'10.78"N 18°51'33.88"E	80,8	Županja/Kragujna	19a
36	SpaZ3	Spačva	Dendroklim. analize	45° 4'11.54"N 18°52'12.74"E	80,5	Županja/Kragujna	41d

#### 4.2.3. Klimatske značajke istraživanog područja

Posavina se nalazi u području umjerene kontinentalne klime s rijetko izraženim meteorološkim ekstremima. Za ovu klimu karakteristično je da srednje mjesečne temperature prelaze 10 °C tijekom više od četiri mjeseca te da su srednje temperature najtoplijeg mjeseca ispod 22 °C. Prema Köppenovoj klasifikaciji radi se o *Cfb* tipu klime, a to je umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom koja se još naziva i klima bukve. Detaljnije gledano i srednja i donja Posavina imaju isti podtip *Cfwbx* za koji je karakteristično da nema suhog razdoblja te da je mjesec s najmanje oborina u hladnom dijelu godine (u periodu od studenog do ožujka). Bez obzira na isti podtip značajne su razlike u godišnjoj količini oborina jer se gradijent oborina smanjuje od zapada prema istoku rijekom Savom nizvodno. Tako npr. Zagreb Maksimir ima prosječnu količinu oborina 860 mm godišnje, a Sisak čak 892 mm, dok na istoku Slavonski Brod ima 770 mm, a Vinkovci samo 686 mm (DHMZ). Srednja godišnja temperatura povećava se od zapada prema istoku te u Zagrebu iznosi 10,9 °C, a u Vinkovcima 11,4 °C.

Posavsku nizinu odlikuje visoka relativna vlažnost, česte pojave magle, kao i česta pojava mraza. Na ovom području su prisutne česte i intenzivne promjene tijekom godine koje ovise o putujućim sustavima visokog i niskog tlaka. U hladnom dijelu godine dominiraju anticiklonalni tipovi vremena s maglom ili niskom naoblakom i vrlo slabim strujanjem, dok ljeti dominiraju polja s malim gradijentom tlaka te su vrlo česta turbulentna miješanja zraka, razvoj naoblake i pojava pljuskova. U proljeće su značajne brze i nagle promjene vremena s izmjenom kišnih i bezoborinskih razdoblja, dok su u jesen karakteristična razdoblja mirnog anticiklonalnog vremena sa kišovitim danima koji nastaju kao posljedica prolazećih ciklona.



**Slika 9.** Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka (A) i količina oborina (B) na mjernim postajama Sisak i Gradište za razdoblje 1960. – 2008. odnosno 1981. – 2008. (izvor podataka DHMZ)

#### 4.2.4. Hidrološke značajke istraživanog područja

Rijeka Sava je okosnica hidrološkog režima ovoga područja. Dužina Save, od njezina izvora u planinama zapadne Slovenije do njezina ušća u Dunav, iznosi 944 km. Važniji su lijevi pritoci, od izvora prema ušću, Sutla, Krapina, Lonja, Strug, Orłjava i Bosut, a desni Ljubljanica, Krka, Kupa, Una, Vrbas, Ukrina, Bosna, Tinja, Drina i Kolubara. Sava u Hrvatsku dolazi kao bujični vodotok izrazito nepostojana toka i velikog pada da bi se iza Rugvice uzdužni pad rijeke



značajno smanjio. Rijeka tada poprima nizinski karakter s brojnim meandrima i sprudovima te takav izgled ima na istraživanom području srednje i donje Posavine.

Porječje rijeke Save veličine je 97.713 km<sup>2</sup>, a obuhvaća znatne dijelove Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Srbije, Crne Gore, a manjim dijelom čak i Albanije. Rijeka Sava je vodom najbogatiji prtok Dunava, a prosječni protok na ušću iznosi 1.564 m<sup>3</sup>/s. Kao takva vrlo je važan dio Dunavskog sliva naročito što predstavlja jedinstven primjer rijeke sa poplavnim nizinama koje ublažavaju poplave i podržavaju biološku raznolikost. Rijeka Sava ima peripanonski kišno-snježni režim s pojavom velikih voda tijekom jeseni i zime, od kolovoza do veljače (Gilja i sur., 2018). U posljednje vrijeme poplave Save uglavnom su vezane uz kišne ekstreme i događaju se redovito uglavnom u rano proljeće i kasnu jesen. Područje je 2014. godine bilo zahvaćeno katastrofalnom poplavom koja se dogodila u mjesecu svibnju što nije karakteristično i nije zabilježeno u ranijoj literaturi.



**Slika 10.** Porječje rijeke Save (izvor: *The green way international project* <https://ecomusketeers.wordpress.com/all-for-the-river-sava/> )

Važnost rijeke Save za šume istraživanog područja je vrlo velika. Rijeka Sava svojom dinamikom poplava kroz povijest utječe na stvaranje mikoreljefa i pedogenezu te na raspored šumskih zajednica u nizinskom prostoru. Nadalje, ona kontrolira razinu podzemnih voda, vrlo bitnu za uspijevanje nizinskih vrsta drveća, naročito hrasta lužnjaka. Poznato je kako upravo lužnjak, ako je to potrebno, nedostatak oborina nadomješta podzemnom vodom, što mu je omogućeno prilagodbom dubokog korijenovog sustava.

Mjerenje vodostaja i protoka rijeka najčešći je način praćenja hidroloških čimbenika na nekom području. Periodi kontinuiranog mjerenja ovih čimbenika su vrlo kratki, uglavnom ne dulji od 100 godina, ali predstavljaju vrlo bitan izvor podataka o funkcioniranju riječnih sustava. Vrijednosti vodostaja i protoka, kao i njihov međusobni odnos (protočna krivulja), predstavljaju stoga temelj na osnovu kojega se provode sve aktivnosti vezane uz vodu.

Mjerenja vodostaja obavljaju se izravno, vodomjernom letvom i očitanjem. Za razliku od vodostaja, protok se još uvijek najčešće određuje posredno - na temelju mjerenja drugih veličina (brzine strujanja i geometrije proticajnog profila). Ova činjenica daje vodostaju, tom temeljnom podatku, dodatni značaj, pa stoga njegovu preciznom mjerenju treba pokloniti dužnu pažnju (DHMZ, 2020). Protok, s druge strane, pokazuje često bolje odnose s oborinama i točniji je podatak o količini vode koja teče rijekom. Protok je dakle volumen vode ( $m^3$ ) koji u jedinici vremena (sek) proteče kroz površinu poprečnog presjeka korita rijeke na nekoj mjernoj postaji.

Prosječne te maksimalne vrijednosti protoka rijeke Save kreću se od  $309 m^3/s$  (max. 1.776) u Zagrebu, preko  $781 m^3/s$  (max. 2.671) u Jasenovcu do  $1.564 m^3/s$  (max. oko 5.000) na ušću u Beogradu. Vezano uz spomenutu poplavu 2014. godine statističkom analizom je utvrđeno da izmjereni maksimalni protok vodnog vala ( $Q = 6.000 m^3/s$ , mjeren 17.5.2014.) nizvodno od ušća rijeke Bosne u Savu odgovara 1.000-godišnjem povratnom razdoblju (Abdulaj i sur., 2014) dok je uzvodno, od Jasenovca do Slavenskog Broda, protok odgovarao nižem, 100-godišnjem povratnom razdoblju. Prema tome je zaključeno da su na poplavu 2014. najveći utjecaj imali pritoci rijeke Bosne te je, iako protok rijeke Save uzvodno nije bio ekstreman, spoj dva vodna vala rezultirao najvećim protokom ikad izmjerenim na području donjeg toka rijeke Save (Gilja i sur., 2018).

#### 4.2.5. Edafske značajke istraživanog područja

Prema Kalinić (1975) posavska ravnica je formirana sredinom pleistocena, a smatra se da je tada nastao i hidrografski sistem rijeke Save što bi bilo prije otprilike 500.000 godina. Nadalje, brojni vodotoci unose u Posavinu različite vodne mase i materijale te stvaraju terase i udubine ili ih narušavaju te ponovno pretaložuju. U Posavini prevladavaju stoga aluvijalni nanosi različitog mehaničkog sastava, a nalazimo ovdje i les te lesolike materijale koji su za razliku od tipičnog lesa taloženi u vodnim tokovima ili udubinama.

Na području Posavine najčešće su rasprostranjena pseudoglejna i glejna tla koja pripadaju kategoriji hidromorfnih tala nastalih prekomjernim vlaženjem površinske i/ili podzemne vode. Prekomjerno vlaženje podrazumijeva stanje tla kada su sve pore ispunjene vodom koja stagnira ili se sporo kreće uslijed čega dolazi do redukcije spojeva željeza (Martinović, 2003).

**Tablica 2.** Razdioba hidromorfnih tala (Martinović, 2003)

Hidromorfna tla			
Klasa	Grada profila	Tip tla	Podtip
I. Pseudoglejna	(A-E/g_Bg-C)	Pseudoglej	Ravničarski
			Obronačni
II. Nerazvijena	(A)-G ili (A)-C	Aluvijalno (fluvisol)	Karbonatno
			Karbonatno oglejeno
			Karbonatno oglejeno zaslanjeno
			Nekarbonatno
			Nekarbonatno oglejeno
III. Semiglejna	A-C-G	Humofluvisol	Plitko oglejeno
			Srednje duboko oglejeno
			Duboko oglejeno
IV. Glejna	A-G	Pseudoglej-glejno	
		Ritska crnica (humoglej)	Karbonatna
			Nekarbonatna
			Karbonatno vertična
			Nekarbonatno vertična
		Močvarno glejno (euglej)	Hipoglejno
Epiglejno			
Amfiglejno			
V. Tresetna	T-G	Izdignuto tresetno	
		Prijelazno tresetno	
		Nisko tresetno	
VI. Antropogena	P-G		



Hidromorfna tla dijele se na šest klasa i to na nerazvijena hidromorfna, pseudoglejna, semiglejna, glejna, tresetna i antropogena, a njihova razdioba po tipovima prikazuje Tablica 2.

Od hidromorfni tala navedenih u Tablica 2. u šumama hrasta lužnjaka i poljskog jasena na području Posavine najčešći su pseudoglej, pseudoglej-glej, euglej (hipoglej, epiglej i amfiglej) i ritska crnica. Rijetko se mimo ove prevladavajuće kategorije pojavljuju tipovi automorfni tala, eutrično smeđe i luvisol pseudoglejni, isključivo na visokim gredama u zajednici hrasta lužnjaka i običnog graba, često uz prisustvo bukve.

Pseudoglej predstavlja drugi najrasprostranjeniji tip tla u Hrvatskoj, razvijen gotovo isključivo u njezinoj panonskoj regiji (Husnjak, 2014; Rubinić i sur., 2015). Pseudoglej je karakterističan za ravničarske terene s blagim nagibima. Njegovo glavno obilježje je da se ispod za vodu relativno propusnog sloja (praškaste ilovače s više od 40 % praha) javlja nepropusni sloj-glinasta ilovača (Martinović, 2003). Oborinska voda se prema tome ne procjeđuje slobodno kroz profil tla već dolazi do njezinog stagniranja u dužem ili kraćem trajanju tijekom kasno jesenskog te zimsko-proljetnog razdoblja. Postoje dva podtipa pseudogleja: 1) obronačni koji je nešto kiseliji i humozniji te se pojavljuje lužnjakovim, kitnjakovim i bukovim šumama, te 2) ravničarski koji je karakterističan samo za šumu lužnjaka i graba. Prosječni sadržaj gline u korijenskoj zoni kreće se između 20 i 30 % (Mayer, 1996a). Okomito povećanje njenog sadržaja posljedica je eluvijacije/iluvijacije gline (transport materijala od gornjih slojeva tla prema donjima pomoću vode/nakupljanje materijala (iluvijalni nanos) u nižim slojevima), a ne taloženja sloja grublje teksture (Rubinić i sur., 2015). Pseudoglejna tla obično su slabije bogata fosforom (P) što dokazuje i negativna korelacija između P i sadržaja gline ( $r = -0,62$ ,  $P < 0,01$ ) no ona je vjerojatno posljedica nižeg sadržaja humusa u slučaju većeg sadržaja gline (Rubinić i Husnjak, 2016).

Pseudoglej-glej predstavlja prijelaz između pseudogleja i močvarnih glejnih tala, a karakterizira ga istovremeno pseudooglejavanje i hipooglejavanje (Martinović, 2003).

Euglej se rasprostire na 8,42 % površine šumskog zemljišta u Hrvatskoj dok je za usporedbu pseudoglej zastupljen sa 11,54 % (Husnjak i sur., 2011). Visoka razina podzemne vode, velika gustoća i mali kapacitet zraka, niska infiltracija, visoka razina čestica gline, velika plastičnost tla te nizak udio fosfora i kalija najbitnije su karakteristike ovoga tla. Prosječni sadržaj gline iznosi od 35 do 57 % (Pernar i sur., 2007). Postoje 3 podtipa eugleja koji se u ovisnosti o prevladavajućem načinu vlaženja izmjenjuju na području Posavine.

Prema Martinoviću (2003) hipoglej je vezan uz reljefne udubine u kojima se nalaze deblji slojevi podzemne vode čija razina pokazuje malo kolebanje. Nalazi se na dubini manjoj od 80 cm pa je čitav profil tla utjecan anaerobnim procesima. Epiglej ima karakteristiku oglejavanja (zamočvarivanja) površinskim, pretežito poplavnim vodama koje stagniraju do 1 m dubine pa je karakteristična mala biološka aktivnost, nedostatak kisika te općenito nepovoljne fizikalne i kemijske osobine. Amfiglej ima karakteristiku oglejavanja podzemnom i poplavnom vodom pa je prisutan i hipoglejni i epiglejni karakter profila s međuslojem koji nije ili je slabije oglejen. Ovi podtipovi euglejnih tala pojavljuju se u udubinama riječnih nizina pa su tako naročito prisutni na području srednje Posavine gdje je izražen utjecaj poplava rijeke Save.

Ritska crnica je tlo karakteristično za donju Posavinu te ju nalazimo na području Spačve. Zauzima ukupno oko 1 % površina, a većim dijelom pretvorena je u tlo za poljoprivrednu proizvodnju. Uz proces oglejavanja mogući su i procesi zaslanjivanja i alkalizacije. Tlo je slično već navedenim glejnim tlima osim što ima nešto manji sadržaj gline (30 – 50 %).

#### **4.2.6. Fitocenološke značajke istraživanog područja**

Na istraživanom području najveće površine zauzimaju šume hrasta lužnjaka na gredi i u nizi te šume poljskog jasena u bari. Shodno tome, rasprostiru se i šumske zajednice.

Šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino-betuli-Quercetum roboris* (Anić 1959) Rauš 1971) je jedna od najznačajnijih šumskih zajednica u Hrvatskoj. U ovoj zajednici tlo nije izvrgnuto poplavi, ali je ono zimi zasićeno vodom, a sastojine rastu na svježim, ocjedinim povišicama ili gredama, na pseudoglejnom ili podzolastom tlu koje je slabo kiselo do neutralno (Vukelić, 2012). Nadalje, isti autor navodi kako su najbolji pokazatelj takvih uvjeta vrste drveća koje ovdje dolaze uz hrast lužnjak: obični grab, klen, malolisna lipa i divlja trešnja.

Šuma hrasta lužnjaka i velike žutilovke (*Genisto elatae-Quercetum roboris* Horvat 1938) druga je po rasprostranjenosti šumska zajednica hrasta lužnjaka. Tereni na kojima se pojavljuje tek su nekoliko metara iznad normalnog vodostaja rijeke pa je šuma periodično plavljena ovisno o učestalosti i jačini poplave. Podzemna voda je vrlo blizu površine što onemogućuje rast mezofilnih vrsta kao što je obični grab koji se javlja samo na gredama gdje je prosječni vodostaj podzemne vode od 2 do 3 m (Dekanić, 1975). U sloju drveća prevladava hrast lužnjak, no znatan udio u sastavu (do 40 %) zauzimaju poljski jasen, crna joha, nizinski brijest, vez, crna i bijela

topola te mjestimice voćkarice (Vukelić, 2012). Ova zajednica uspijeva na bogatim mineralno-močvarnim glejnim tlima s različitim udjelima gline (od 30 do 50 %).

Šuma poljskog jasena s kasnim drijemovcem (*Leucojo aestivi-Fraxinetum angustifoliae* Glavač 1959) opisana je nakon što se istraživanjima utvrdilo da je u Posavini rasprostranjen poljski jasen, a ne obični (*F. excelsior*) kako se do tada mislilo (Fukarek, 1954). Ova zajednica rasprostire se uglavnom u zoni poplavnih voda u slivovima rijeka Lonje, Kupe, Save i njezinih lijevih i desnih pritoka dok najljepše šume rastu na području Lonjskog polja (Vukelić, 2012). Od vrsta drveća u ovim šumama dominira poljski jasen, a hrast lužnjak, nizinski brijest i vez pojavljuju se rijetko jer su visoka razina podzemne vode i redovite poplave u proljeće i jesen za njih ograničavajući čimbenik. Tlo je amfiglej s visokim sadržajem gline.

### **4.3. Metode uzorkovanja**

#### **4.3.1. Odabir ploha i odabir stabala za uzorkovanje**

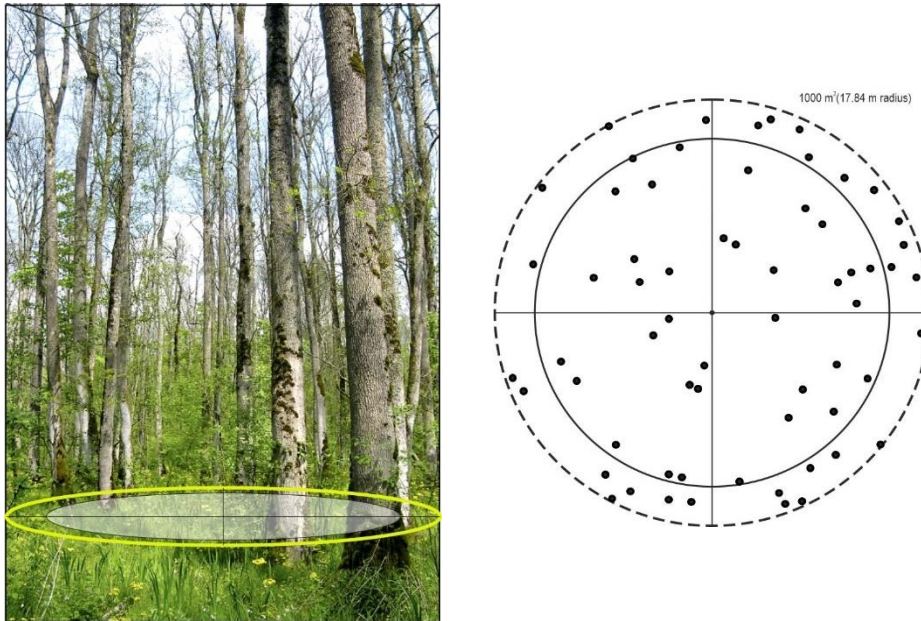
Kriterij za odabir i postavljanje pokusnih ploha za uzorkovanje bili su geografski položaj, mikroreljef, starost sastojina te utjecaj gospodarenja. Plohe su odabirane uzduž prirodnog rasprostiranja hrasta lužnjaka na području Posavine. Time je obuhvaćen i poljski jasen kao vrsta drveća koja svojim rasprostranjem prati hrast lužnjak, ali se pojavljuje u manjem udjelu ili na manjim površinama ako se radi o čistim sastojinama.

Jedan tip ploha bile su plohe ustanovljene u gospodarskim sastojinama pred kraj ophodnje (ili starije, npr. sjemenske sastojine) čija starost odgovara potrebama dendroklimatoloških istraživanja. Naime, prašumske sastojine se ne mogu istovjetnim dendrokronološkim metodama uspoređivati sa mlađim sastojinama zbog drugačije osjetljivosti na klimu uzrokovane značajnom razlikom u starosti. Stoga je ovakav tip ploha postavljen u čistim jasenovim, hrastovo-jasenovim i hrastovim sastojinama u rasponu starosti, redom, od 90 do 190 godina.

Drugi tip ploha bile su trajne plohe prašumskog karaktera i one su ustanovljene samo u starim hrastovim sastojinama prepuštenim spontanom razvoju (Prašnik, Stupnički lug). Svrha takvih ploha bila je istraživanje prirodne dinamike sastojina. Kako su takve sastojine vrlo rijetke nisu se prilikom odabira koristili drugi kriteriji. Jasenove sastojine takvog tipa nisu pronađene na istraživanom području.

### 4.3.2. Prikupljanje podataka za dendroklimatološke analize

Prikupljanje podataka sastoji se od uzimanja uzoraka za dendrokronološke analize. Veličina plohe određivana je s obzirom na stanje sastojine, tj. gustoću i vitalitet stabala. Bilo je nužno na svakoj plohi uzorkovati minimalno 15 dominantnih i zdravih stabala. Vodeći se tim kriterijem neke su plohe zadovoljavale veličinom 1.500 m<sup>2</sup> dok su neke bile i dva puta veće (do 3.000 m<sup>2</sup>).



Slika 11. Shema pokusne plohe

Shema pokusne plohe pokazuje zadani radijus tj. zadanu površinu (npr. 1.000 m<sup>2</sup> – puna linija), dok iscrtkana pokazuje dozvoljeno odstupanje u površini plohe u slučaju da ona ne zadovoljava dovoljnim brojem stabala za kvalitetno uzorkovanje.

Za potrebe dendroklimatološke analize prikupljeni su uzorci sa dominantnih stabala koja nisu značajno utjecana konkurencijom. Uzorkovanje je obavljeno pomoću Presslerovog svrdla (*Haglof Sweden*), promjera 5,1 mm, različitih duljina prema potrebi i veličini stabala (od 30 do 80 cm).

Presslerovo svrdlo sastoji se od 3 dijela: svrdlo, izvlačač (igla) i ručka. Namijenjeno je uzimanju uzorka na kojem se prepoznaju godovi stabala jer se bušenjem prekidaju okomiti provodni

elementi te njihovi otvori postaju vidljivi na uzorku. Uzorkovanje se obavljalo na prsnoj visini (1,30 m) uzimanjem dva nasuprotna izvrtka po stablu.



**Slika 12.** Presslerovo svrdlo i način uzorkovanja na pokusnoj plohi

Za potrebe dendroklimatoloških istraživanja ukupno je postavljeno 22 pokusne plohe. Od toga je 8 ploha u sastojinama poljskog jasena, a 14 pokusnih ploha u sastojinama s hrasta lužnjaka. U mikroreljefnom tipu bare ukupno je postavljeno tri pokusne plohe u optimalnom stadiju silvidinamičkog razvoja sastojina (Jasenovac) dok su dvije plohe postavljene u barama u terminalnom stadiju razvoja jasenika (Lipovljani). U mikroreljefnom tipu nize postavljeno je 10 pokusnih ploha, a u mikroreljefnom tipu grede postavljeno je 7 pokusnih ploha.

Barske sastojine podijeljene su na dva tipa, prema učestalosti i zadržavanju poplavne vode te s obzirom na silvidinamske procese, na sastojine optimalnog stadija (bara 1) te terminalnog stadija (bara 2). Sve plohe opisane su geografskom širinom i dužinom ( $^{\circ}$ ), nadmorskom visinom (m), visinom iznad razine prosječnog vodostaja (m) i horizontalnom udaljenošću od rijeke Save (km).

**Tablica 3.** Osnovni podaci o pokusnim plohama za dendroklimatološka istraživanja

Ploha-naziv	Vrsta izvrtaka	Broj izvrtaka	Broj stabala	Nadmor. visina (m)	Udaljenost od rijeke (km)	Mikroreljef-stanište
Jas_41d	<i>Fran</i>	27	16	90,3	2,3	Bara1
Jas_61a	<i>Fran</i>	29	16	91,0	3,8	Bara1
Jas_62b	<i>Fran</i>	29	15	90,4	2,1	Bara1
Lip_62b	<i>Fran</i>	26	15	94,2	2,3	Bara2
Lip_70d	<i>Fran</i>	26	13	94,0	2,5	Bara2
Lip_dipl	<i>Fran</i>	28	14	95,2	4,8	Niza
Lip_sjeme	<i>Fran</i>	28	15	94,9	4,5	Niza
Lip_157	<i>Fran</i>	41	23	96,7	5,9	Greda
Piljenice	<i>Quro</i>	48	25	98,3	9,6	Greda
Lip_158b	<i>Quro</i>	78	47	98,2	5,9	Greda
Lip_sjeme	<i>Quro</i>	32	16	94,9	4,5	Niza
Lip_dipl	<i>Quro</i>	28	15	95,2	4,8	Niza
Spa O1	<i>Quro</i>	31	16	80,4	17,0	Niza
Spa L1	<i>Quro</i>	35	18	79,0	13,0	Niza
Spa O2	<i>Quro</i>	42	21	79,6	13,3	Niza
Spa Z3	<i>Quro</i>	38	20	80,5	9,8	Niza
Spa L2	<i>Quro</i>	37	19	81,0	18,8	Niza
Spa V2	<i>Quro</i>	38	19	80,0	15,5	Niza
Spa V1	<i>Quro</i>	24	12	80,0	15,3	Greda
Spa V3	<i>Quro</i>	40	20	82,1	5,2	Greda
Spa Z2	<i>Quro</i>	25	15	80,8	9,9	Greda
Spa Z1	<i>Quro</i>	19	10	81,0	8,3	Greda

Kriterij geografskog položaja odnosi se na prostorni raspored istraživanih ploha u ukupnom području Posavine. Kako bi se istražila varijabilnost klimatskog utjecaja vezano uz gradijent temperature i oborina od zapada prema istoku nastojalo se postaviti pokusne plohe na čitavom prostoru posavske nizine te su za tu svrhu poslužila dva velika šumska kompleksa, šume na području Lonjskog polja i šume spačvanskog bazena.

Gledajući prema mikroreljefu bilo je potrebno postaviti plohe u svim mikroreljefnim tipovima (bara, niza i greda) kako bi se istražila razlika u ovisnosti o klimatskim čimbenicima hrasta lužnjaka u nizi i na gredi te poljskog jasena u bari, nizi i na gredi.

#### 4.3.3. Prikupljanje uzoraka iz prašumskih sastojina i arheološkog drveta

Na trajnim plohama prašumskog karaktera uzimani su uzorci svih stabala hrasta lužnjaka u svrhu otkrivanja dinamike sastojine. Pod time se podrazumijeva što točnije određivanje starosti stabala kako bi se utvrdilo postoji li u sastojini više od jedne generacije stabala te kada su te generacije nastale. Vezano uz to, iz mrtvog drveta uzimani su isječci motornom pilom, na



ležećim stablima različitih klasa raspada. Uzorci su poslužili u rekonstrukciji tijekom odumiranja te u produljenju kronologije hrasta lužnjaka iz prašume Prašnik.

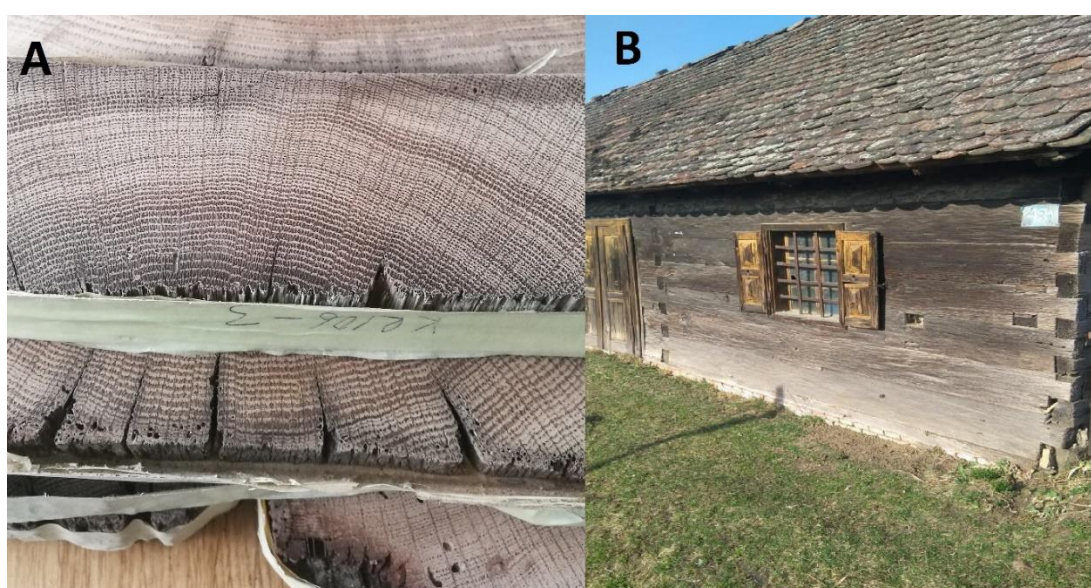


**Slika 13.** Prikupljanje uzoraka hrasta lužnjaka u prašumskoj sastojini Stupnički lug

**Tablica 4.** Osnovni podaci o pokusnim ploham za dendroekološka istraživanja

Ploha	Naziv lokaliteta	Nadmorska visina	Vrsta izvrtaka	Broj izvrtaka	Broj stabala	Broj izvrtaka (kvalitetno datirani)
Stup1	Stupnički lug	130,3	<i>Quro</i>	24	12	22
Stup2	Stupnički lug	130,0	<i>Quro</i>	28	14	25
Stup3	Stupnički lug	128,9	<i>Quro</i>	25	12	25
Stup4	Stupnički lug	129,3	<i>Quro</i>	24	12	19
Pra01	Prašnik	95,8	<i>Quro</i>	10	5	6
Pra02	Prašnik	97,1	<i>Quro</i>	8	4	4
Pra03	Prašnik	96,1	<i>Quro</i>	8	4	5
Pra04	Prašnik	95,1	<i>Quro</i>	6	3	2
Pra05	Prašnik	95,3	<i>Quro</i>	18	9	11
Pra06	Prašnik	95,7	<i>Quro</i>	6	3	2
Pra07	Prašnik	93,9	<i>Quro</i>	12	6	7
Pra08	Prašnik	95,0	<i>Quro</i>	12	6	7
Pra09	Prašnik	95,0	<i>Quro</i>	12	6	6
Pra10	Prašnik	94,6	<i>Quro</i>	18	9	9

Nadalje, uzorkovana je i stara drvena građa na posavskim kućama (arheološko drvo) na području Lonjskog polja. Cilj je bio produljiti postojeće kronologije hrasta lužnjaka dobivene uzorkovanjem živih stabala. Za uzorkovanje su najpogodnije ruševine kuća gdje je drvena građa oštećena i ne može se ponovno upotrijebiti u originalnim dimenzijama pa je prilikom uzorkovanja moguće koristiti motornu pilu. Kuće koje su još uvijek u dobrom stanju poslužile su za uzorkovanje samo ako sadrže jako kvalitetan uzorak, a uzorkovanje je tada zahtjevno i obavlja se isključivo Presslerovim svrdlom uz obavezno zatvaranje rupa na drvnoj građi. Ukupno je prikupljeno 82 uzorka hrasta sa starih posavskih kuća.



**Slika 14.** Uzorak pripremljen za analizu (A) i jedan od istraživanih objekata (B)

**Tablica 5.** Popis lokaliteta, tip i stanje objekta te broj uzoraka

R.br.	Lokalitet	Tip objekta	Stanje objekta	Broj uzoraka
1.	Drenov Bok	ambar	dobro	11
2.	Krapje-106	kuća	ruševina	23
3.	Krapje-135	kuća	ruševina	9
4.	Kraljeva Velika	kuća	materijal za preslagivanje	11
5.	Plesmo	kuća	materijal za preslagivanje	18
6.	Stara Subocka	kuća	dobro	10



#### 4.3.4. Uzorkovanje tla

Uzorkovanje tla obavljeno je u svim mikroreljefnim tipovima s ciljem utvrđivanja fizikalnih svojstava (granulometrijskog sastava) tala na istraživanim plohama. Uzorkovanjem su bili obuhvaćeni lokaliteti iz Lipovljana i Jasenovca kako bi se rezultatima što bolje objasnila povezanost mikroreljefa, osobina tla i klimatskih čimbenika. Uzorkovanje je obavljeno na plohama Piljenice, Lip158, Lip157, LipDipl, LipSjeme, Lip62b te Jas61a i Jas62b. Lokalitet LipSjeme te lokaliteti iz Spačve nisu uzorkovani jer su već postojali podaci o granulometrijskom sastavu te su uvršteni u analizu.

Uzorkovanje tla obavljeno je žljebastom sondom na dubinama 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, 60 – 80 cm i 80 – 100 cm. Način i pravila sondiranja opisana su u priručniku za uzorkovanje i analizu (Pernar i sur., 2013). Uzorkovanje se obavlja zavrtnjem sonde koja zahvaća uzorak tla. Sonda se zatim vadi uz izdvajanje uzorka tla na predviđeno mjesto, čisti od ostataka te se postupak ponavlja do postizanja potrebne dubine zahvata. Šest poduzoraka tla uzetih u razmaku od 1 m u križnom rasporedu, za svaku dubinu, činilo je jedan uzorak.



**Slika 15.** Uzorkovanje tla žljebastom sondom

Sonda za uzorkovanje sastoji se od glave s rezačem koji služi za uzimanje uzorka tla, produžetaka i ručke za zavrtnje sonde. Glava za uzimanje uzoraka obično je dužine 20 - 30 cm. Svaka razdvojena količina tla (prema zonama) spremljena je u plastične vrećice.

#### 4.4. Obrada i analiza podataka

##### 4.4.1. Elementi strukture sastojina na istraživanim plohama

Osnovni podaci o sastojinama u kojima se nalaze istraživane plohe za dendroklimatološke analize prikazani su u Tablici 6. Prikazana je gospodarska podjela sastojina u kojima se nalaze pokusne plohe, drvena zaliha, broj stabala, fitocenološki opis, starost prema osnovi te tip tla.

**Tablica 6.** Osnovni podaci o strukturi sastojina u kojima se nalaze istraživane plohe

Ploha-naziv	Šumarija/GJ	Odjel	Drvena zaliha (m <sup>3</sup> /ha)	Broj stabala (ha <sup>-1</sup> )	Opis	Dob	Tlo
Jas_41d	Jasenovac/Grede-Kamare	44c	363	115	jasen s drijemovcem	105	amfiglej
Jas_61a	Jasenovac/Grede-Kamare	61a	526	217	jasen s drijemovcem	95	amfiglej
Jas_62b	Jasenovac/Grede-Kamare	62b	483	209	jasen s drijemovcem	90	amfiglej
Lip_62b	Lipovljani/Josip Kozarac	62b	462	260	jasen s drijemovcem	116	epiglej
Lip_70d	Lipovljani/Josip Kozarac	70d	451	245	jasen s drijemovcem	110	epiglej
Lip_dipl	Lipovljani/J.Kozarac	66/b	512	251	lužnjak s žutilovkom	140	epiglej
Lip_sjeme	Lipovljani/J.Kozarac	113/a	638	341	lužnjak s žutilovkom	168	epiglej
Lip_157	Lipovljani/Josip Kozarac	157a	607	343	lužnjak s žutilovkom	137	pseudoglej-glej
Piljenice	Lipovljani/J.Kozarac	54/a	714	281	lužnjak i grab	178	pseudoglej
Lip_158b	Opeke NPŠO Lipovljani	158/b	861	291	lužnjak i grab	195	pseudoglej
Lip_sjeme	Lipovljani/J.Kozarac	113/a	638	341	lužnjak s žutilovkom	168	epiglej
Lip_dipl	Lipovljani/J.Kozarac	66/b	512	251	lužnjak s žutilovkom	140	epiglej
Spa O1	Otok/Otočke šume	36b	340	211	lužnjak s žutilovkom	125	semiglej
Spa L1	Lipovac/Topolovac	40d	419	208	lužnjak s žutilovkom	127	humoglej
Spa O2	Otok/Slavir	52b	415	235	lužnjak s žutilovkom	133	humoglej
Spa Z3	Županja/Kragujna	41d	457	242	lužnjak s žutilovkom	132	hipoglej

Spa L2	Lipovac/Topolovac	2a	585	372	lužnjak s žutilovkom	126	luvisol
Spa V2	Vrbanjske šume/Vrbanja	68a	403	245	lužnjak s žutilovkom	130	hipoglej
Spa V1	Vrbanjske šume/Vrbanja	134b	452	316	lužnjak i grab	117	hipoglej
Spa V3	Vrbanjske šume/Vrbanja	17a	519	511	lužnjak i grab	115	hipoglej
Spa Z2	Županja/Kragujna	19a	530	323	lužnjak i grab	130	hipoglej
Spa Z1	Županja/Kragujna	13c	496	312	lužnjak i grab	132	hipoglej
StupLug	Remetinec/Stupnički lug	40a	537	442	lužnjak i grab	300	pseudoglej
Prašnik	Stara Gradiška/Prašnik	7a	550	521	lužnjak i grab	285	pseudoglej

Starosti sastojina poljskog jasena prema podacima iz osnove gospodarenja kreću se od 90 do 116 godina, dok su sastojine u kojima je hrast lužnjak glavna vrsta starosti od 115 do 195 godina. Također prema podacima iz osnova gospodarenja broj stabala po hektaru kreće se u rasponu 115 do 245 za sastojine poljskog jasena, 208 do 372 za sastojine hrasta lužnjaka u nizi te 281 do 511 za sastojine hrasta lužnjaka na gredi. Drvna zaliha u istraživanim sastojinama kreće od 363 do 526 m<sup>3</sup> za čiste jasenove sastojine, od 340 do 638 m<sup>3</sup> za hrastovo-jasenove sastojine u nizi te od 452 do 861 m<sup>3</sup> za sastojine na gredi.

Sekundarna prašuma Prašnik prostire se na 56 hektara i predstavlja jedan od posljednjih primjera prašume hrasta lužnjaka u Europi. Godine 1965. proglašen je specijalnim rezervatom šumske vegetacije. Prema Mikac i sur. (2018) najveća starost orijaških hrastova iznosi 285 godina, dok je njihov prosječan broj 24 stabla po hektaru. Znatno je veća brojnost običnog graba, a volumen svih stabala iznosi 550 m<sup>3</sup>/ha. Najveće stablo hrasta lužnjaka ima prsni promjer 260 cm te visinu 45 m.

Stupnički lug također je sekundarna prašuma hrasta lužnjaka površine 16,2 hektara. Od 1964. službeno je zaštićen kao specijalni rezervat šumske vegetacije. Nalazi se na mikrouzvisini s prapornom matičnom podlogom, a tlo je pseudoglej. U sklopu rezervata nalazi se i trajna ploha osnovana 1979. u sklopu projekta Sto trajnih ploha Republike Hrvatske (Rauš, 1995). Starost ove sastojine procjenjuje se na 300 godina, broj stabala 442 po hektaru, a drvna zaliha 537 m<sup>3</sup>/ha.

#### 4.4.2. Priprema izvrtaka za dendrokronološke analize

Priprema izvrtaka za dendrokronološke analize obavljena je u Laboratoriju za dendroekologiju Zavoda za ekologiju i uzgajanje šuma Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Izvrtci se prvo

vade iz transportnih spremnika (plastične slamke u kojima ne dolazi do isušivanja drvenog izvrtka) te se stavljaju na sušenje 24 sata na sobnoj temperaturi. Nakon toga slijedi lijepljenje izvrtaka na drvene podloške pomoću običnog ljepila za drvo. Time je omogućena priprema izvrtaka na tračnoj brusilici različitim granulacijama brusnog papira od 100 do 600. Posljednja faza pripreme izvrtaka je nanošenje krede na brušenu površinu kako bi se naglasila razlika u veličini provodnih elemenata i time omogućilo lakše prepoznavanje godova.

Priprema uzoraka arheološkog drveta obavlja se na isti način s tim da najčešće nije potrebno prvotno lijepljenje uzoraka na podloške ako se radi o uzorcima koji nisu izvrtci, tj. nisu uzimani Presslerovim svrdlom.

#### **4.4.3. Priprema uzoraka za pedološke analize**

Priprema uzoraka za pedološke analize obavljena je u Ekološko-pedološkom laboratoriju Zavoda za ekologiju i uzgajanje šuma Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Priprema kompozitnih uzoraka tla za fizičke analize obavljena je u skladu s ISO 11464, 1994. Priprema uključuje sušenje, drobljenje, prosijavanje, razdvajanje i mljevenje tla.

#### **4.4.4. Izrada kronologija širina godova**

##### **4.4.4.1. Snimanje izvrtaka**

Nakon mehaničke pripreme izvrtci su snimljeni pomoću 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) povezanih s računalom. Fotografije nastale prilikom pomicanja automatskog mjernog stola spajaju se u jedinstveni kompozit koji predstavlja digitalni snimak jednog izvrtka. Na svakom izvrtku je prilikom snimanja postavljano kalibracijsko stakalce kako bi se nakon očitavanja širina godova dobivene vrijednosti iz pixela mogle pretvoriti u stotinke milimetra.

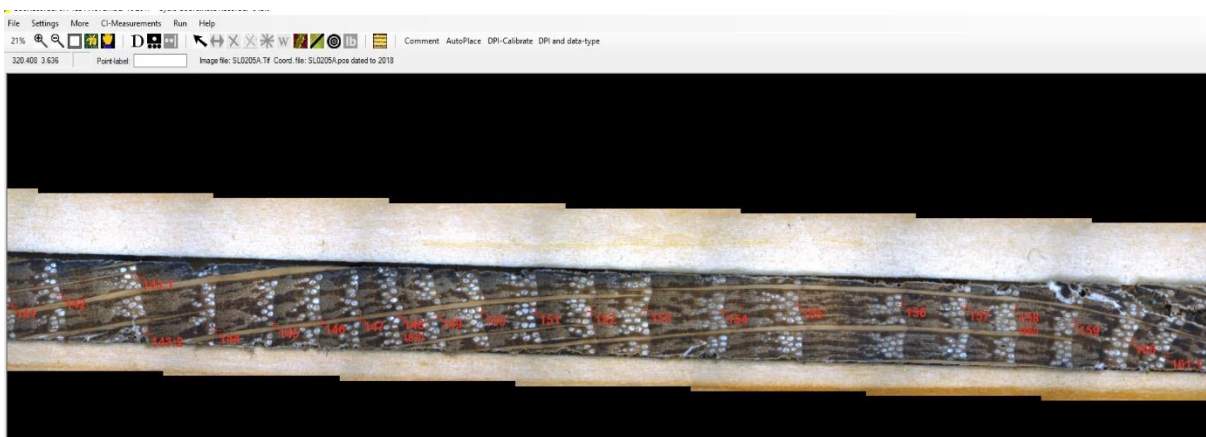




**Slika 16.** Snimanje izvrtaka sustavom *ATRICS*

#### 4.4.4.2. Očitavanje vrijednosti širina godova stabala

Očitavanje vrijednosti širina godova stabala (*eng. Tree-ring width*) napravljeno je pomoću programa *CooRecorder* i *CDendro* ([www.cybis.se](http://www.cybis.se)) koji su specijalizirani za potrebe dendrokronologije. Preciznost očitavanja širine godova iznosi 1/100 mm i ovisi o uvježbanosti operatera. Program ima mogućnost automatskog očitavanja godova prema kontrastu između ranog i kasnog drveta što se pokazalo praktično samo za drvo četinjača, dok je očitavanje prstenasto-poroznih listača, kao što su hrast i jasen, najbolje raditi pojedinačnim određivanjem granica svakog pojedinog goda.



**Slika 17.** Očitavanje vrijednosti širine godova u programu *CooRecorder*

#### **4.4.4.3. Uklapanje serija širina godova u vremenski okvir**

Uklapanje dobivenih serija širina godova (očitanja pojedinih izvrtaka) u vremenski okvir (*eng. Cross-date*) započinje datiranjem svake pojedine serije (izvrtka), odnosno određivanjem posljednje godine rasta uzorkovanog stabla. Živim stablima najčešće je jednostavno utvrditi godinu posljednjeg goda naročito ako su uzorci uzimani u vrijeme mirovanja vegetacije što je i općenito preporuka za uzorkovanje. U slučaju da su uzorci uzimani tijekom vegetacijskog razdoblja moguće su nedoumice u određivanju godine posljednjeg goda s obzirom da različite vrste drveća imaju različiti početak i trajanje formiranja novog goda.

Drugi korak je kontrola kvalitete očitavanja koja se obavlja uparivanjem kronologija dvaju uzoraka istog stabla. Time se smanjuje mogućnost pogreške prilikom očitavanja uzrokovane oštećenjem jednog uzorka, nedovoljno dobrom pripremom ili pak previdom. Nakon toga slijedi usporedba svih provjerenih parova s iste plohe ili lokaliteta. Ovaj postupak obavlja se pomoću programa *TsapWin* i *Cofecha* uz pomoć grafičkog prikaza i statistike.

Zahtjevniji zadatak je uklapanje dobivenih kronologija arheološkog drveta za koje nije poznata zadnja godina na uzorku. Iako je često puta poznata okvirna godina gradnje starih drvenih kuća godina zadnjeg goda na uzorcima drvne građe može varirati više od 100 godina. Stoga se u ovom postupku uklapanja kronologija više oslanjamo na statističke te dijelom na grafičke metode, također u programima *TsapWin* i *Cofecha*.

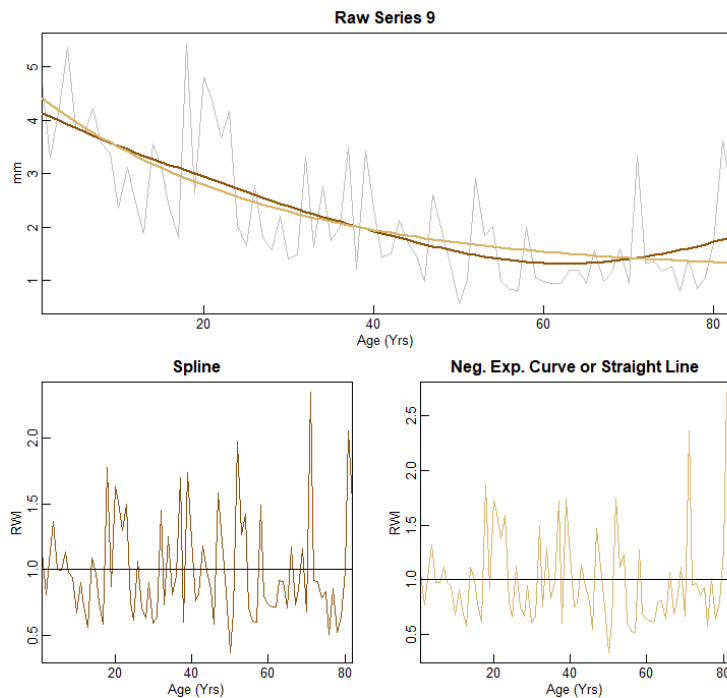
#### **4.4.5. Analiza podataka**

##### **4.4.5.1. Standardizacija**

Standardizacija ili uklanjanje varijabilnosti niske frekvencije prvi je korak u analizi podataka o širini godova (TRW). Kako bi se u podacima maksimalno zadržao klimatski signal potrebno je ukloniti varijabilnosti koje su posljedica biološkog trenda rasta stabla ili gospodarskih zahvata i prirodnih nepogoda. Biološki trend rasta najočitiji je u mlađim stadijima razvoja kada stablo prirodno raste brže i ostvaruje veći radijalni prirast (juvenilno drvo). Takav podatak o prirastu najčešće nije pouzdan za usporedbu s vrijednostima klimatskih čimbenika kao ni godine s neobično velikim prirastima uzrokovanim promjenom u strukturi sastojine (npr. eliminacijom konkurentnog stabla uslijed vjetrolova ili uzgojnih zahvata). Stoga se standardizacijom uklanjaju sva odstupanja koja nisu utjecana klimatskim čimbenicima.

Standardizacija se provodi statističkim metodama, a za potrebe ovog istraživanja korištena je *Spline* funkcija (frekvencija 0,50 za period 32 godine) u programu *Arstan* (Cook i Krusic, 2005). Prije standardizacije svaka pojedina serija (izvrtak) je stabilizirana pomoću *power* funkcije (Cook i Peters, 1997), a zatim standardizirana.

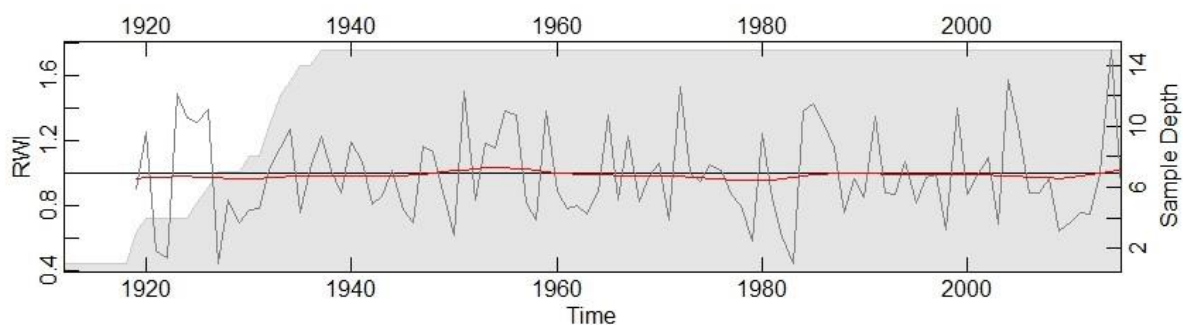
Ovim načinom standardizirane su sve serije širina godova, kako one koje su preuzete iz europskih istraživanja i znanstvenih baza tako i novoizrađene s područja Posavine.



**Slika 18.** Primjer standardizacije vrijednosti širina godova individualne serije (jednog izvrtka)

#### 4.4.5.2. Izrada indeksne kronologije (RWI) i osnovni statistički pokazatelji

Standardizirane serije (indeksne vrijednosti) su uprosječene u jednu jedinstvenu kronologiju (RWI) izračunatu pomoću *Tukey's biweight robust mean* (Mosteller i Tukey, 1977) u programskom jeziku R. Na ovaj način su uklonjene ekstremne vrijednosti koje mogu imati značajan utjecaj na prosječnu vrijednost.



**Slika 19.** Primjer kronologije za plohu Jas62b.

Osnovne statističke vrijednosti kronologija su prosječna osjetljivost (MS), standardna devijacija (SD), prosječna korelacija između serija (Rbar), prosječna korelacija između stabala (Rbt) te autokorelacija prvog reda (AR1). Također vrlo bitan pokazatelj je i vrijednost EPS.

Prosječna razina osjetljivosti (MS) (*eng. Mean sensitivity*) je pokazatelj koji je uveden posebno za potrebe dendrokronologije. Koristi se za mjerenje relativnih razlika između širine uspoređivanog i prethodnog goda te pokazuje zapravo varijabilnost godova utjecanu stanišnim čimbenicima. A. E. Douglass, utemeljitelj dendrokronologije kao znanosti, je srednju razinu osjetljivosti definirao kao prosječni postotak promjene između promatranog i prethodnog goda (sažeto iz Fritts 1976).

Standardna devijacija (SD) (*eng. standard deviation*) je prosječno kvadratno odstupanje brojčanih vrijednosti neke veličine od njihove aritmetičke sredine. Koristi se kao standard za mjerenje varijabilnosti niza. Ako je standardna devijacija mala, aritmetička sredina dobro predstavlja rezultate.

Prosječna korelacija između serija (Rbar) (*eng. Mean correlation between cores within trees*) je odnos vrijednosti širine godova između dviju ili više serija podataka (izvrtaka) s istog stabla.

Prosječna korelacija između stabala (Rbt) (*Mean correlation among cores between trees*) je odnos vrijednosti širine godova između serija podataka (TRW) svih stabala na istraživanom lokalitetu. Dodatno, kao što je slučaj u ovome istraživanju, to je odnos između uprosječenih serija podataka (TRWt) između stabala.

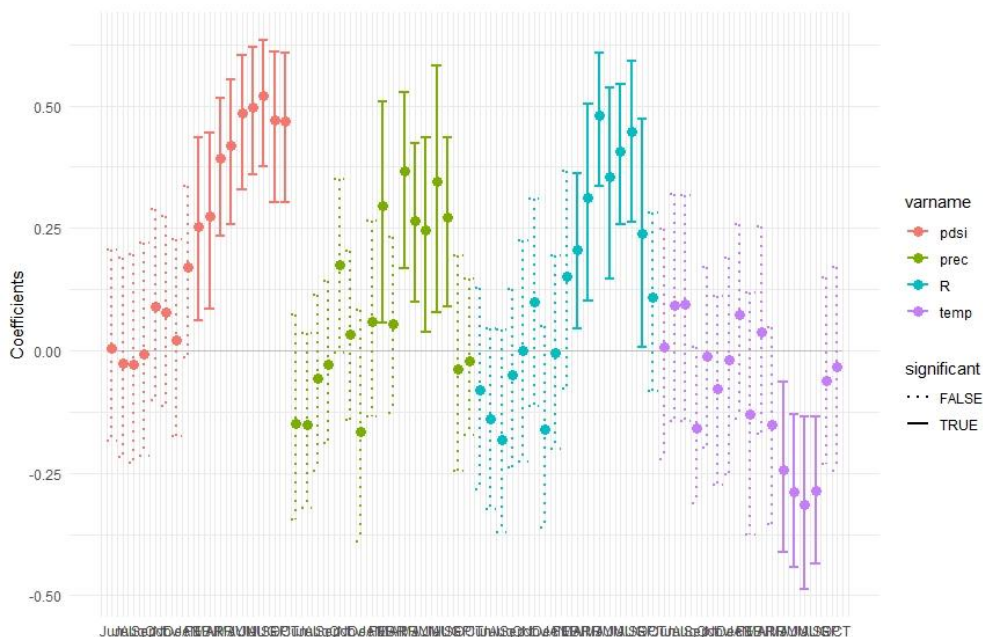


Autokorelacija prvog reda (AR1) (*the first-order autocorrelation*) još je poznata i kao serijska korelacija. Općenito, predstavlja utjecaj prethodnog niza podataka na promatrane podatke. U dendrokronologiji predstavlja ovisnost širine goda o širini iz prethodne godine, širine ranog drveta o širini kasnog drveta prethodne godine ili širine kasnog drveta o širini ranog drveta iz iste godine (Fritts, 1976).

EPS (*eng. Expressed population signal*) je mjera za kvalitetu kronologije koja pokazuje razdoblje pogodno za korelacije s klimom. Teoretski, EPS je količina varijance populacijske kronologije objašnjena konačnim poduzorkom, a drugim riječima, EPS je približna snaga objašnjenja pri predviđanju takozvanog populacijskog signala (Buras, 2017).

#### 4.4.5.3. Odnos kronologije stabala i klimatskih podataka – pojedinačne, sezonske i pomične korelacije

Korelacijske analize između mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika te rezidualnih kronologija (RWI) napravljene su za razdoblje od 1950. do 2007. godine (na mezo- i mikro-razini, odnosno za područje Posavine). Za svaku godinu u navedenom razdoblju korelacija je napravljena za sve mjeseci od lipnja prethodne godine do listopada tekuće godine (ukupno 17 mjeseci za svaku godinu).



**Slika 20.** Primjer korelacijskih vrijednosti nakon analize u *treeclim* paketu (R)

Od klimatskih podataka korištene su srednje mjesečne vrijednosti temperature zraka, oborina i Palmerovog indeksa suše, a od hidroloških srednje mjesečne vrijednosti vodostaja rijeke Save. Za analizu je korištena *dcc* funkcija (*response and correlation function analysis*) u *treeclim* paketu (Zang i Biondi, 2015) u programskom jeziku R.

Pojedinačne korelacije pokazuju odnos indeksnih vrijednosti širina godina (nakon standardizacije i izrade kronologije) sa vrijednostima klimatskih podataka pojedinih mjeseca u tekućoj (godini nastanka goda) i prethodnoj godini. Pomoću tih korelacija može se kvantificirati utjecaj određenih klimatskih i hidroloških čimbenika na rast stabala te pobliže odrediti razdoblje u godini kada je taj utjecaj najveći.

Sezonske korelacije na isti način pokazuju ovisnost rasta stabla o periodu duljem od jednog mjeseca (2 – 6 mjeseci). Sezonske korelacije dobivaju se pomoću funkcije *seascorr* (*seasonal (partial) correlation analysis*) također u *treeclim* paketu.

Pomične (*moving*) korelacije korištene su kako bi se utvrdila stabilnost klimatskog signala. Ova analiza napravljena je za duljinu perioda od 30 godina s pomakom od jedne godine. Pomične korelacije su napravljene s istim parametrima kao pojedinačne i sezonske, pomoću *dcc* funkcije u istom paketu (R).

Korelacije indeksnih kronologija s područja Europe (makro-razina) i vrijednosti klimatskih čimbenika (oborina i temperatura) napravljene su za razdoblje od 1920. do 2000. Na ovoj razini izrađene su samo pojedinačne i sezonske korelacije. Za svaku godinu u navedenom razdoblju korelacija je napravljena za sve mjesece od lipnja prethodne godine do listopada tekuće godine (ukupno 17 mjeseci za svaku godinu).

#### **4.4.5.4. Analiza indikatorskih godina**

Indikatorske godine određivane su pomoću funkcije *pointer.norm* u paketu *pointRes* (Van der Maaten-Theunissen, 2015). Cilj je bio odrediti zajedničke godine kada su sva stabla na razini sastojine pokazala značajne promjene u rastu. Metoda se zasniva na relativnoj promjeni širine goda koja se izračunava kao odnos vrijednosti promatranog goda i prosječne vrijednosti određenog broja godina prije i poslije. Analiza indikatorskih godina stoga daje kvantitativne informacije o odgovoru stabala na ekstremne događaje što je u današnje vrijeme klimatskih promjena, s predviđenim povećanjem intenziteta i učestalosti tih događaja, od vrlo velike važnosti. Moguće su pozitivne i negativne indikatorske godine, a detaljnijom analizom dobivaju

se negativne slabe, negativne jake i ekstremno negativne godine te pozitivne slabe, pozitivne jake i ekstremno pozitivne.

#### 4.4.5.5. Analiza sličnosti europskih kronologija

Kako bismo analizirali sličnosti između klimatske osjetljivosti europskih kronologija hrasta lužnjaka te determinirali populacije sa sličnim obrascima korištena je metoda *Hierarchical agglomerative clustering* HCPC (*Ward's method*) na prethodno izračunatim glavnim komponentama (PCs). Na ovaj način su izvorni podaci (korelacijski koeficijenti s klimatskim čimbenicima) zamijenjeni manjim brojem ( $q$ ) izvedenih varijabli (glavnih komponenti – PCs) koje su linearne kombinacije istih.

Mjera sličnosti izračunata je pomoću matrice euklidske udaljenosti između kronologija i klimatskog odziva za razdoblje 1920.–2000. godine. *Ward's method* razlaže ukupnu inerciju klastera na varijancu između i unutar grupe, a ova metoda nalaže spajanje klastera tako da je rast inercije unutar grupe minimalan (Husson i sur., 2009). HCPC analiza je provedena samo sa komponentama čija pojedinačna vrijednost objašnjava varijancu veću od 5 %.

Prednost prethodno provedene PCA analize je stabilnije grupiranje što je naročito korisno kod velikog skupa podataka s više međusobno zavisnih varijabli. Također optimalni broj klastera je provjeren pomoću *NbClust* funkcije u paketu *NbClust* (R) (Charrad i sur., 2014) koji pruža uvid u 30 indeksa za određivanje relevantnog broja klastera i predlaže najbolju shemu grupiranja iz različitih rezultata dobivenih variranjem svih kombinacija broja klastera, mjera udaljenosti i metoda klasteriranja.

Varijable koje pridonose karakteristikama klastera utvrđene su pomoću  $v$ -testa (Husson i sur., 2009), koji su procijenili je li srednja vrijednost klastera za danu varijablu značajno ( $p < 0,05$ ) veća ili manja od ukupne srednje vrijednosti. Procjena robusnosti rezultata klusterske analize izračunata je pomoću  $p$ -vrijednosti za svaki klaster pomoću višestrukog ponovnog uzorkovanja bootstrapa (1.000 ponavljanja).  $P$ -vrijednosti, povezane sa standardnom pogreškom, jesu izražene u postotku u dendrogramu. Analiza su provedene pomoću paketa *R pvclust* (R Core Team, 2007).

#### **4.4.5.6. Analiza dinamike rasta stabala u prašumskim sastojinama**

Proučavanje poremećaja u prirodnim negospodarenim šumama može otkriti kada su se dogodili ekstremni događaji koji su prouzrokovali odumiranje većeg broja stabala ili značajan porast u prirastu ostalih stabala. Za analizu je korištena metoda graničnih linija kojom se uspoređuju širine godova s desetogodišnjim pomičnim prosjekom. Time se odjednom mogu neutralizirati kratkoročni (npr. suša) i dugoročni trendovi rasta povezani s klimom, dok se istovremeno povećava mogućnost otkrivanja naglih i trajnih povećanja radijalnog rasta povezanog sa poremećajem krošanja (Nowacki i Abrams, 1997).

Izračun za ciljanu godinu radi se prema formuli:  $GC = [(M2-M1) / M1] * 100$ , gdje je GC-postotak promjene, M1 – prosječni radijalni prirast tijekom prethodnog 10-godišnjeg razdoblja (uključujući ciljanu godinu), M2 – prosječni radijalni prirast u sljedećem 10-godišnjem razdoblju (isključujući ciljanu godinu).

Ova metoda razvijena je posebno za hrastove, a na temelju empirijskih dokaza uspostavljen je minimalni prag reakcije stabala koji iznosi 25 % promjene rasta za umjereno i >50 % za jako povećanje prirasta. Prednost ove metode je široka primjenjivost čak i za mali broj uzoraka, a podaci o autoekologiji vrsta nisu potrebni. Poremećaji krošnji otkriveni ovom dendroekološkom metodom dodatno se potkrijepljuju korištenjem podataka starosnoj (dobnoj) strukturi stabala.

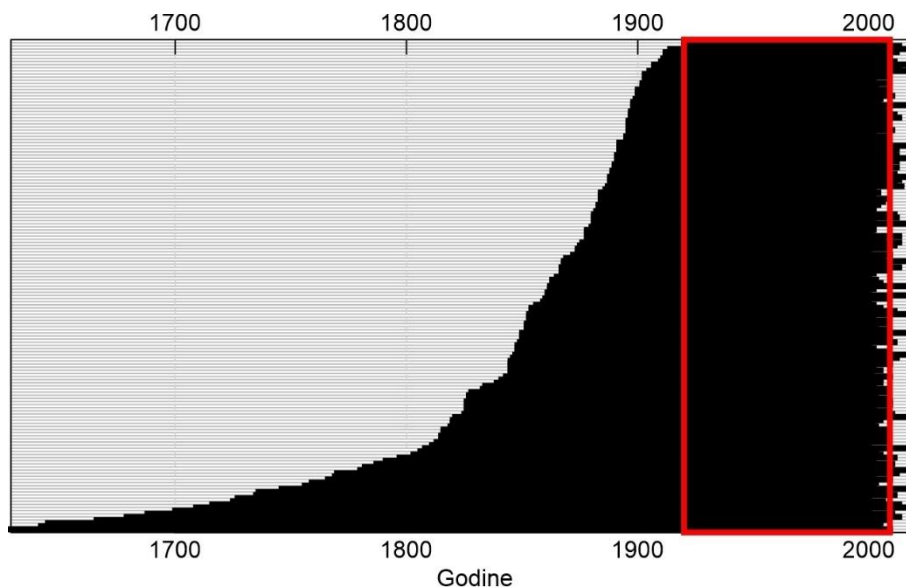
#### **4.4.5.7. Analiza tla**

Granulometrijski sastav tla za sve kompozitne uzorke po dubinama određen je u skladu s ISO 11277, 1998. Njime je propisana osnovna metoda određivanja raspodjele veličine čestica primjenjiva na širok raspon mineralnih materijala, uključujući mineralni dio organskog tla. Glavni cilj je određivanje granulacija tla kako bi se omogućila izgradnja pouzdane krivulje raspodjele veličine čestica.

## 5. REZULTATI

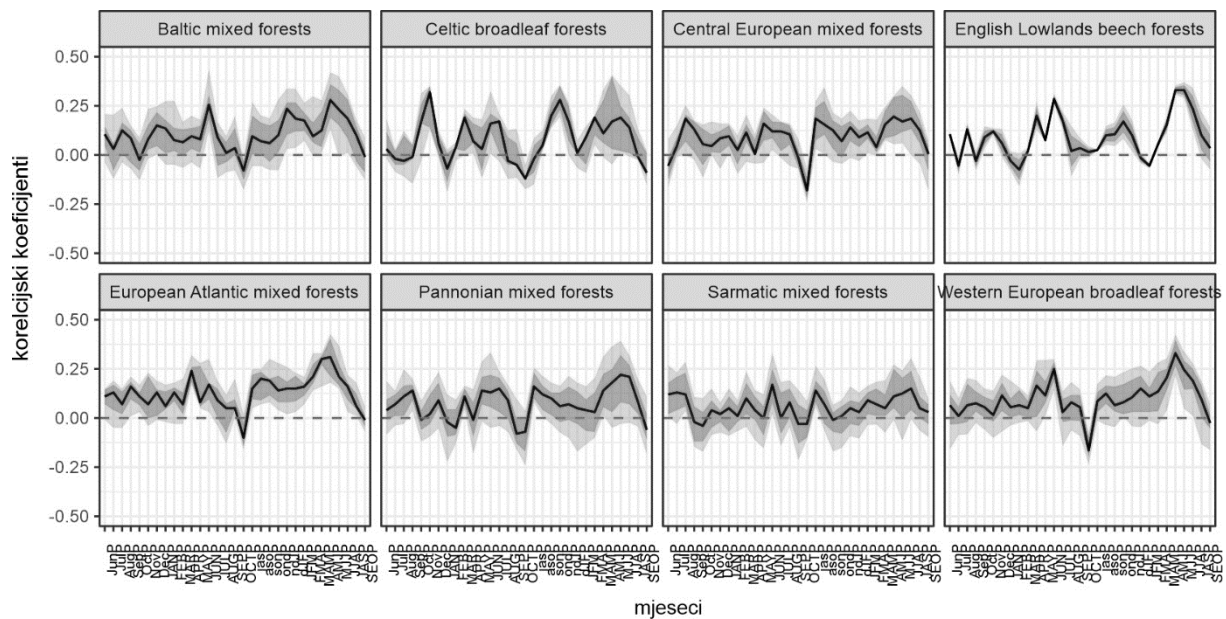
### 5.1. Klimatska osjetljivost hrasta lužnjaka na razini Europe

Ukupan broj preuzetih europskih kronologija iznosi 210, dok je u izradi korelacija s klimatskim čimbenicima korišteno 140 kronologija. Korištene su one kronologije kojima je EPS vrijednost veća od 85 % ( $EPS > 0,85$ ), a pokrivaju period od 1920. do 2000. godine s minimalnom veličinom uzorka (*eng. Sample depth*) od 5 stabala.



**Slika 21.** Duljina svih 257 europskih kronologija hrasta lužnjaka po godinama. Crvenim pravokutnikom je označeno preklapanje većine kronologija pogodnih za analize klimatske osjetljivosti

Korelacije indeksnih kronologija i podataka o količini oborina za razdoblje od 1920. do 2000. pokazuju većinom pozitivne vrijednosti kod svih kronologija. Najveće pozitivne korelacije pokazale su zapadnoeuropske, euroatlantske i engleske populacije hrastova, naročito ako se gledaju sezonske vrijednosti ( $\max. R = 0,38$ ). Nešto manje korelacije pokazuju baltičke i panonske populacije hrastova, dok su one najmanje kod srednjoeuropskih i sarmatskih (južna Skandinavija i sjeverni dio baltičkih zemalja) populacija. Britanske i irske populacije hrastova pokazuju drugačiju ovisnost o oborinama, također značajnu, ali u zimskom periodu godine ( $\max R = 0,31$ ).



**Slika 22.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka i mjesečnih vrijednosti oborina za razdoblje od 1920. do 2000. godine prema ekološkoj klasifikaciji hrastovih sastojina u Europi

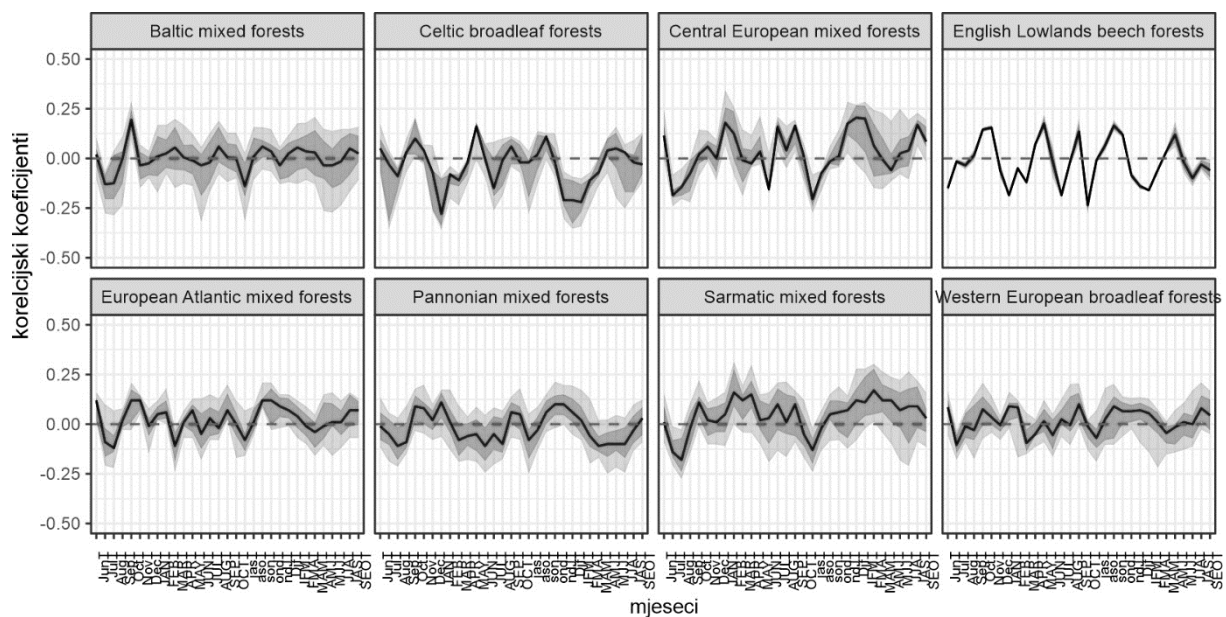
**Tablica 7.** Statistički značajne korelacije ( $P < 0.05$ ) između sume mjesečnih količina oborina te indeksnih kronologija hrasta lužnjaka prema europskim ekološkim regijama (\*mjeseci označeni prema internacionalnom nazivlju prihvaćenom u dendrokronologiji označavaju prethodnu godinu (lipanj-prosinac) i tekuću godinu (siječanj-listopad))

Ekol. regija/ mjeseci*	Baltičke mješovite šume	Britanske i irske listopadne šume	Srednjo-europske mješovite šume	Engleske nizinske bukove šume	Euro-atlantske mješovite šume	Panonske mješovite šume	Sarmatske mješovite šume	Zapadno-europske listopadne šume	Ukupni zbroj
Jun	2					3	4	1	10
Jul	2					3	5		10
Aug	3		2		1	7	8	1	22
Sep	1				2	3		2	8
Oct		1					1		2
Nov	3	3	1		3	3	1	3	17
Dec	6					9	2	3	20
JAN	3					3			6
FEB	4					1		1	6
MAR	3	2			2	3	3		13
APR	2			1	7	4		6	20
MAY	2	1	2		5	12	1	4	27
JUN	13	1	1	2	2	10	10	12	51
JUL	1	1		1	1	8	3		15
AUG						2			2
SEP	1				2	2	4		9
OCT	1		2			8	1	5	17

Slika 22. i Tablica 7. pokazuju koliko je kronologija pokazalo statistički značajne korelacije sa sumom mjesečnih količina oborina. Prema rezultatima najviše statistički značajnih korelacija pokazuje se u mjesecu lipnju tekuće godine. Što se tiče prethodne godine najveći broj značajnih korelacija pokazao se u kolovozu.

Slika 23. i Tablica 8. pokazuju koliko je kronologija pokazalo statistički značajne korelacije sa prosječnim mjesečnim vrijednostima temperature. Prema rezultatima najviše statistički značajnih korelacija pokazuje se u veljači tekuće godine iako s nižim iznosima. Što se tiče prethodne godine najveći broj značajnih korelacija pokazao se u kolovozu.

Korelacijske vrijednosti indeksnih kronologija i podataka o temperaturi za razdoblje od 1920. do 2000. pokazuju pretežito pozitivne vrijednosti u vegetacijskom razdoblju kod britanskih, baltičkih i sarmatskih populacija dok su na ostalim kronologijama iz srednje i zapadne Europe ove vrijednosti niže. Panonske kronologije, naprotiv, jedine pokazuju značajne negativne vrijednosti korelacija s temperaturom u vegetacijskom razdoblju. Najveće negativne vrijednosti korelacija pokazuju britanske i irske populacije hrastova s maksimalnim vrijednostima  $R = -0,37$  u zimskim mjesecima.



**Slika 23.** Vrijednosti korelacijskih koeficijenta između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka i prosječnih mjesečnih i sezonskih vrijednosti temperatura zraka za razdoblje od 1920. do 2000. godine prema ekološkoj klasifikaciji hrastovih sastojina u Europi

**Tablica 8.** Statistički značajne korelacije ( $P < 0.05$ ) između prosječnih temperatura zraka te indeksnih kronologija hrasta lužnjak prema europskim ekološkim regijama

Ekol. regija/ mjeseci	Baltičke mješovite šume	Britanske i irske listopadne šume	Srednjo-europske mješovite šume	Engleske nizinske bukove šume	Euro-atlantske mješovite šume	Panonske mješovite šume	Sarmatske mješovite šume	Zapadno-europske listopadne šume	Ukupni zbroj
Jun	2		1			1			4
Jul	5	2	1		2	4	3		17
Aug	5	1	1		1	5	9		22
Sep	3		1			1		1	6
Oct	8	1	1			3	4		17
Nov	1				1	3	1		6
Dec	2	2					1		5
JAN		3	2			3	1		9
FEB	1	1	2		1	4	10	2	21
MAR	1	1	1		2	1	3	1	10
APR	1					2	9		12
MAY	1		1	1		2		1	6
JUN	5		1			8	3	1	18
JUL	2	1		1	1	4	4		13
AUG						2	3	2	7
SEP					1	1	3	2	7
OCT				1		4			5

Generalno govoreći klimatska osjetljivost hrastova na području Europe odlikuje se značajnom heterogenosti. HCPC analizom prema koeficijentima korelacije za razdoblje od 1920. do 2000. godine utvrđene su 3 grupe (subpopulacije) hrasta lužnjaka.

Prva grupa (klaster C1) obuhvaća 48,5 % kronologija ( $n=68$ ) geografske grupiranosti dijelom panonskih, a dijelom baltičkih mješovitih šuma (Tablica 9). C1 obuhvaća 28 panonskih, 11 baltičkih, 10 zapadno europskih bjelogoričnih šuma i 7 sarmatskih kronologija hrasta.

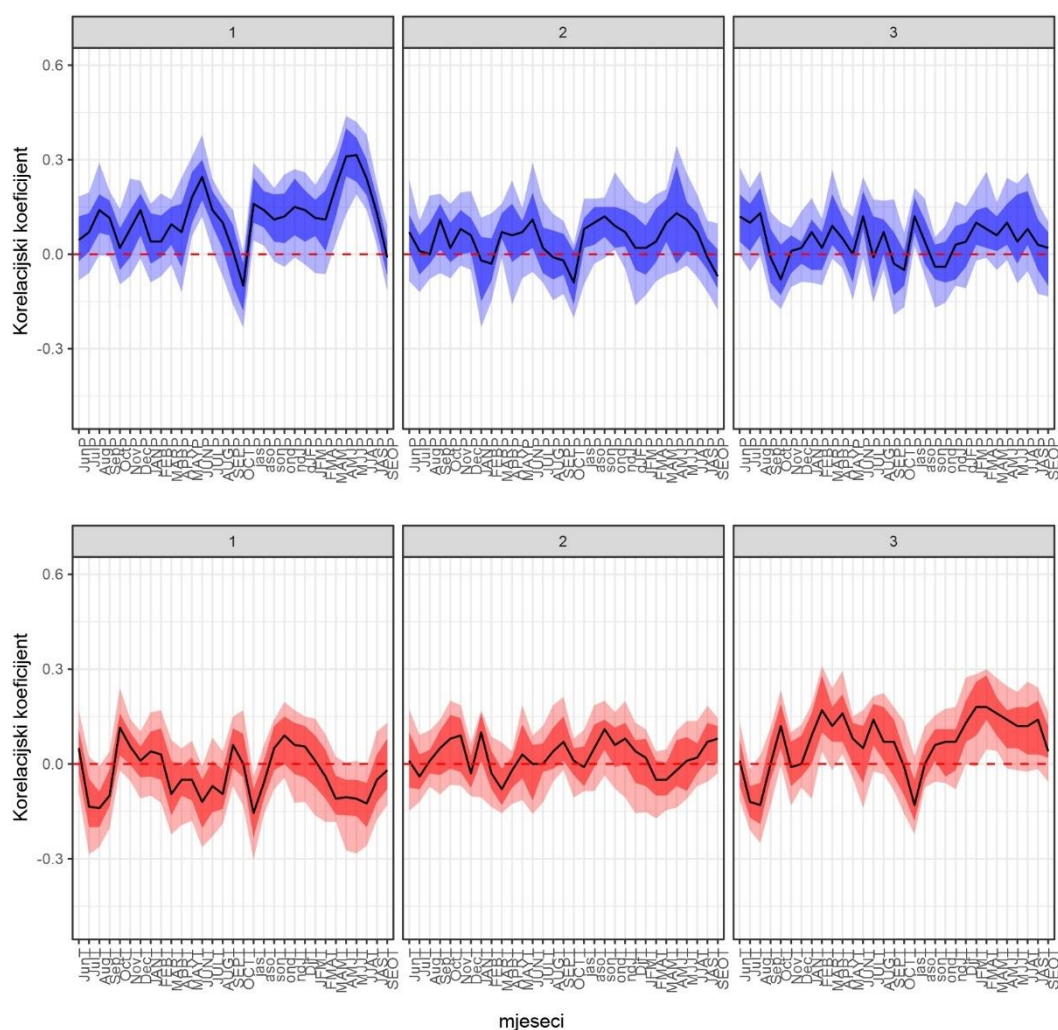
Druga grupa (klaster C2) obuhvaća 25 % kronologija ( $n=35$ ) bez jasne geografske diferenciranosti.

Treća grupa (klaster C3) obuhvaća 26 % kronologija ( $n=37$ ) geografske pripadnosti sarmatskim mješovitim ( $n=22$ ) i baltičkim šumama ( $n=8$ ).



**Tablica 9.** Broj kronologija prema ekološkim regijama Europe i rezultatima klusterske analize

Ekološka regija	Klaster			Ukupno
	1	2	3	
Baltičke mješovite šume	11	3	8	22
Britanske i irske listopadne šume	2	3		5
Srednjo-europske mješovite šume	3	1	2	6
Engleske nizinske bukove šume	1	1		2
Euro-atlantske mješovite šume	7	3	1	11
Panonske mješovite šume	28	16	3	47
Sarmatske mješovite šume	6	1	22	29
Zapadno-europske listopadne šume	10	7	1	18
<b>Ukupni zbroj</b>	<b>68</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>140</b>

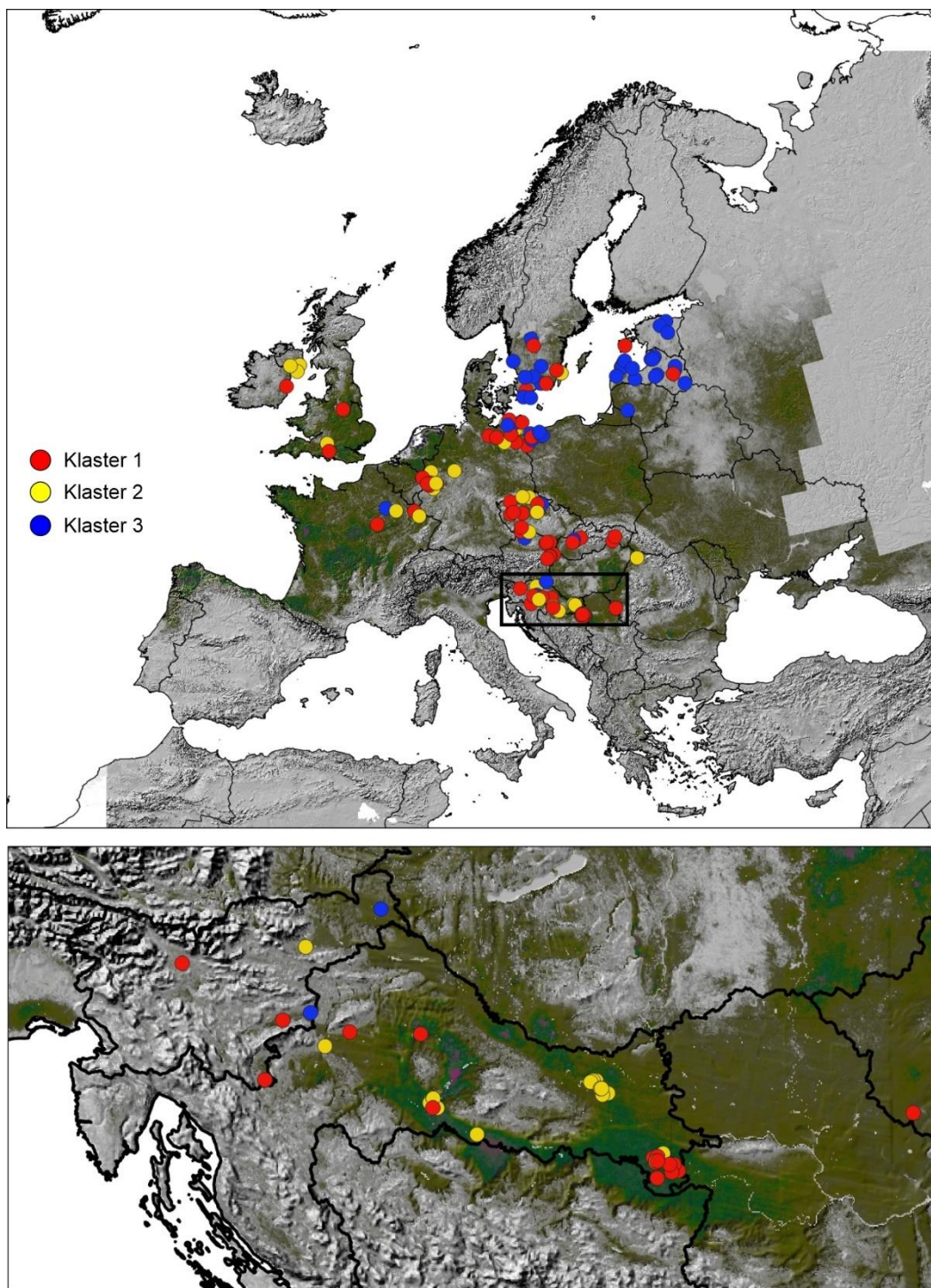


**Slika 24.** Prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka te mjesečnih i sezonskih vrijednosti oborina (plavo) te temperature zraka (crveno) grupiranih prema rezultatima klusterske analize u klaster 1, 2 i 3

Prema rezultatima klusterske analize kojom su u obzir uzete prosječne vrijednosti korelacijskih koeficijenata na području Europe dobivene su 3 klastera (grupe populacija) hrasta lužnjaka. Kao što je već spomenuto klaster 1 obuhvaća panonske te dijelom baltičke mješovite šume. Ovaj klaster karakterizira negativna korelacija sa temperaturom zraka u ljeto (JASp) prethodne i ljeto (MJJ) tekuće godine te pozitivne korelacije s oborinama u istom razdoblju godine (MJJ) u 65 % slučajeva odnosu na druge klasterne (Slika 23).

Klaster 2 je bez jasne geografske diferenciranosti, a karakterizira ga najslabiji klimatski signal u odnosu na sve ostale kronologije. Tako svega 24 % kronologija unutar toga klastera pokazuje značajan pozitivan signal na oborine u ljeto (MJJ) tekuće godine.

Klaster 3 koji obuhvaća sarmatske i baltičke mješovite šume uglavnom je karakteriziran pozitivnim korelacijama s temperaturom zraka u ljeto tekuće godine nastanka goda.



**Slika 25.** Rezultati klusterske analize prema klimatskoj osjetljivosti hrasta lužnjaka u Europi (gore). Uvećano područje Hrvatske (dolje). Područje potencijalne prirodne rasprostranjenosti hrasta lužnjaka u Europi označeno zelenom bojom

## 5.2. Statistički pokazatelji istraživanih ploha na području Posavine

### 5.2.1. Deskriptivna statistika serija širina godova (TRW)

Ukupni broj uzoraka (serija) koji su kvalitetno datirani iznosi 749 dok je ukupan broj uzorkovanih stabala 400. Najdulji period obuhvaćen uzorkovanjem iznosi 1821. – 2017., dok je najkraći 1912. – 2015. Prosječna korelacija vrijednosti širina godova između izmjerenih serija unutar pojedine plohe iznosi od najmanjih 0,52 do maksimalnih 0,73 gdje jasenove kronologije imaju podjednako visoke vrijednosti, dok hrastove imaju veće razlike u vrijednostima.

**Tablica 10.** Osnovni deskriptivni elementi serija širina godova (TRW)

Ploha-naziv	Vrsta uzoraka	Period	Izvirtaka	Stabala	Prosječna korelacija	Prosječna širina goda (mm)	Medijan	Std. devijacija
Jas_41d	<i>Fran</i>	1885-2015	27	16	0,71	2,40	2,13	1,27
Jas_61a	<i>Fran</i>	1912-2015	29	16	0,73	2,81	2,54	1,42
Jas_62b	<i>Fran</i>	1911-2015	29	15	0,68	2,55	2,34	1,13
Lip_62b	<i>Fran</i>	1894-2015	26	15	0,72	2,46	2,30	1,15
Lip_70d	<i>Fran</i>	1890-2014	26	13	0,70	2,01	1,75	1,25
Lip_dipl	<i>Fran</i>	1869-2014	28	14	0,61	2,11	1,91	1,05
Lip_sjeme	<i>Fran</i>	1848-2015	28	15	0,69	1,97	1,81	0,96
Lip_157	<i>Fran</i>	1866-2015	41	23	0,70	2,21	1,99	1,03
Piljenice	<i>Quro</i>	1845-2018	48	25	0,52	2,56	2,44	0,98
Lip_158b	<i>Quro</i>	1821-2017	78	47	0,59	1,90	1,78	0,80
Lip_sjeme	<i>Quro</i>	1850-2016	32	16	0,67	2,32	2,26	0,82
Lip_dipl	<i>Quro</i>	1887-2014	28	15	0,74	2,66	2,53	1,07
Spa O1	<i>Quro</i>	1903-2007	31	16	0,53	2,08	1,98	0,82
Spa L1	<i>Quro</i>	1896-2007	35	18	0,63	1,92	1,81	0,82
Spa O2	<i>Quro</i>	1900-2007	42	21	0,69	2,17	2,11	0,89
Spa Z3	<i>Quro</i>	1895-2007	38	20	0,67	2,16	2,10	0,84
Spa L2	<i>Quro</i>	1889-2007	37	19	0,59	1,88	1,80	0,76
Spa V2	<i>Quro</i>	1896-2007	38	19	0,60	1,98	1,94	0,76
Spa V1	<i>Quro</i>	1903-2007	24	12	0,72	2,19	2,12	0,93
Spa V3	<i>Quro</i>	1902-2007	40	20	0,63	2,24	2,18	0,82
Spa Z2	<i>Quro</i>	1896-2007	25	15	0,70	2,06	2,00	0,84
Spa Z1	<i>Quro</i>	1897-2007	19	10	0,61	2,36	2,30	0,97

Prosječna širina goda kreće se kod jasenovih serija od 1,97 do 2,81 mm, a kod hrastovih od 1,90 do 2,66 mm. Medijan vrijednosti kreću se od 1,80 do 2,54, a standardna devijacija od 0,76 do 1,42.

## 5.2.2. Deskriptivna statistika standardiziranih serija (RWI)

Standardizirane serije širina godova (RWI) imaju statističke pokazatelje prikazuje Tablica 11. Prosječna osjetljivost (MS) kreće se od 0,27 do 0,40 kod jasena dok je kod hrasta manja u rasponu vrijednosti od 0,21 do 0,27. Vrijednost autokorelacije (AR) vrlo je velikog raspona kod jasena (0,14 – 0,50) dok je kod hrasta ujednačenija (0,35 – 0,48).

**Tablica 11.** Statistika standardiziranih serija širina godova za razdoblje 1950. – 2007. Prikazane su duljine serija (Period), broj uzorkovanih stabala i broj uzoraka, prosječna osjetljivost (MS), autokorelacija prvog reda (AC), prosječna međuserijska korelacija (Rbar), odnos signala i šumova (SNR) te prosječni izraženi signal populacije (EPS)

Ploha-naziv	Vrsta uzorka	Period	Stabala Izvrtak a	MS	AR	Rbar	SNR	EPS	Gini	EPS > 0.85
Jas_41d	Fran	131	16(27)	0,4	0,35	0,61	24,27	0,96	0,26	1897-2015
Jas_61a	Fran	105	16(29)	0,32	0,22	0,6	23,91	0,96	0,18	1912-2015
Jas_62b	Fran	104	15(29)	0,39	0,14	0,66	29,19	0,97	0,21	1923-2015
Lip_62b	Fran	122	15(26)	0,36	0,29	0,68	28,61	0,97	0,22	1909-2015
Lip_70d	Fran	125	13(26)	0,36	0,42	0,52	14,03	0,93	0,25	1897-2014
Lip_dipl	Fran	146	14(28)	0,29	0,45	0,48	11,64	0,92	0,21	1883-2014
Lip_sjem e	Fran	168	15(28)	0,28	0,41	0,58	20	0,95	0,19	1858-2015
Lip_157	Fran	150	23(41)	0,27	0,5	0,44	16,94	0,94	0,2	1868-2015
Piljenice	Quro	167	25(48)	0,21	0,46	0,39	15,62	0,94	0,15	1859-2018
Lip_158	Quro	197	47(78)	0,23	0,42	0,39	27,56	0,97	0,15	1827-2017
Lip_sjem e	Quro	167	16(32)	0,22	0,43	0,48	14,56	0,94	0,15	1861-2016
Lip_dipl	Quro	128	15(28)	0,21	0,48	0,53	16,27	0,94	0,15	1894-2014
Spa O1	Quro	105	16(31)	0,24	0,42	0,41	19,7	0,95	0,17	1914-2007
Spa L1	Quro	112	18(35)	0,27	0,42	0,5	33,96	0,97	0,19	1904-2007
Spa O2	Quro	108	21(42)	0,25	0,41	0,35	20,88	0,95	0,18	1908-2007
Spa Z3	Quro	113	20(38)	0,24	0,39	0,49	34,42	0,97	0,16	1903-2007
Spa L2	Quro	119	19(37)	0,26	0,36	0,4	23,41	0,96	0,16	1895-2007
Spa V2	Quro	112	19(38)	0,25	0,44	0,38	21,25	0,96	0,17	1906-2007
Spa V1	Quro	105	12(24)	0,25	0,39	0,4	14,72	0,94	0,16	1942-2007
Spa V3	Quro	106	20(40)	0,23	0,35	0,42	25,03	0,96	0,15	1920-2007
Spa Z2	Quro	112	15(25)	0,24	0,4	0,49	21,3	0,96	0,16	1909-2007
Spa Z1	Quro	111	10(19)	0,26	0,37	0,37	9,858	0,91	0,17	1941-2007

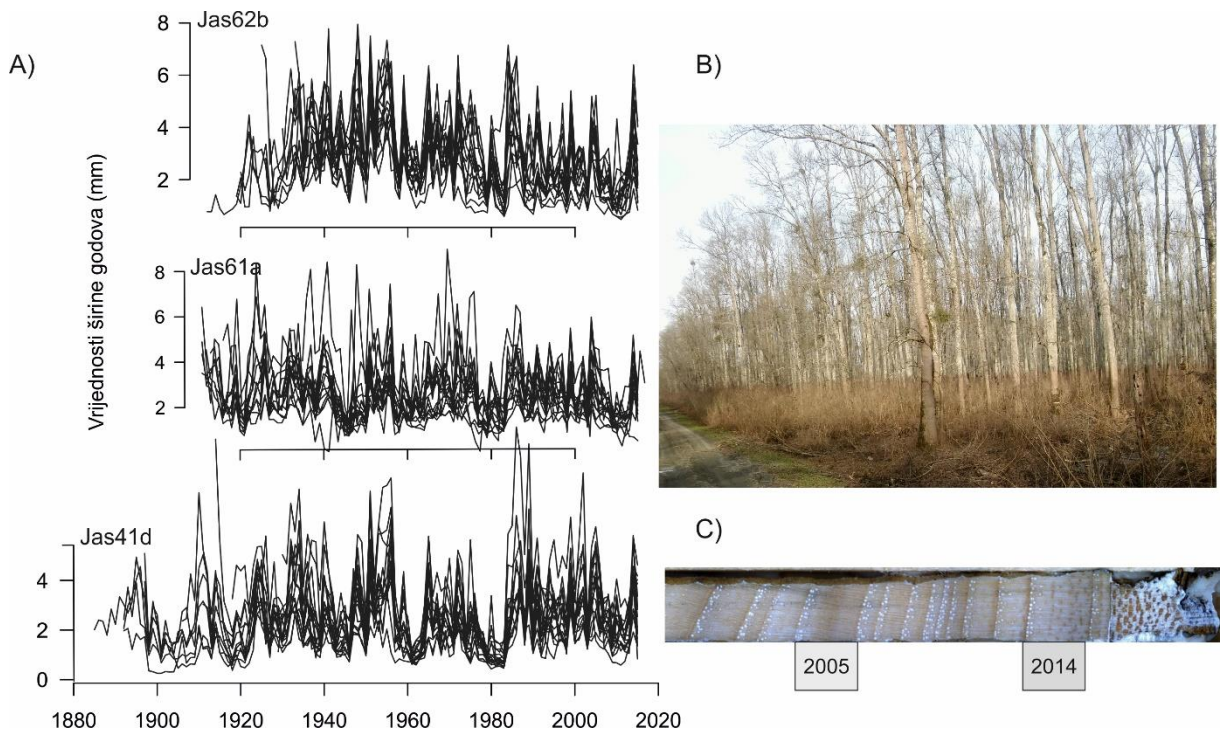
Prosječna međuserijska korelacija (Rbar) pokazala se najveća za kronologije poljskog jasena s najvećim vrijednostima iz barskih lokaliteta (0,52 do 0,68) dok je kod hrastovih kronologija ova vrijednost niža (0,35 do 0,53). Razdoblja pogodna za klimatske analize (EPS) za koje 85% serija pokazuje potencijal za korelacije prikazuje također Tablica 11. s najvećim iznosom 1827. – 2017. kod hrastove kronologije na gredi.



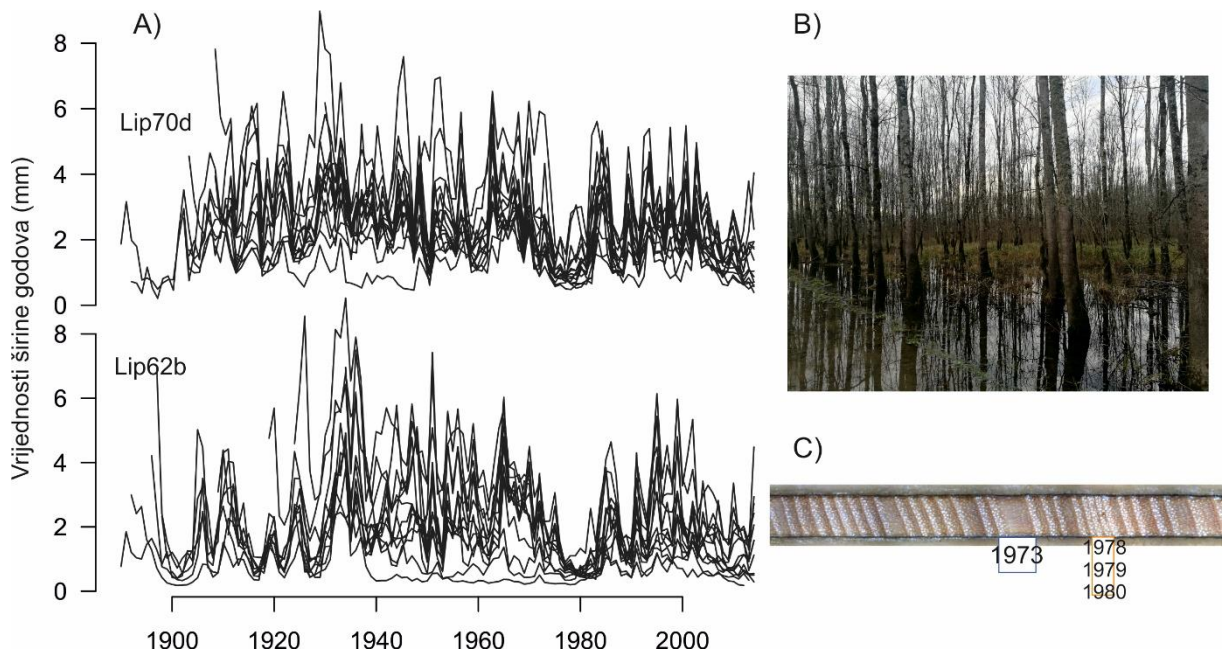
### 5.2.3. Usporedba kronologija prosječnih širina godova (TRWt)

Kronologije poljskog jasena iz bare s područja Jasenovca pokazuju vrlo ujednačen i dinamičan rast tijekom vremena. Naročito su izraženi periodi smanjenog rasta oko 1960. i 1980. te povećanog rasta kao npr. u godinama 1951., 1965., 2005. i 2014.

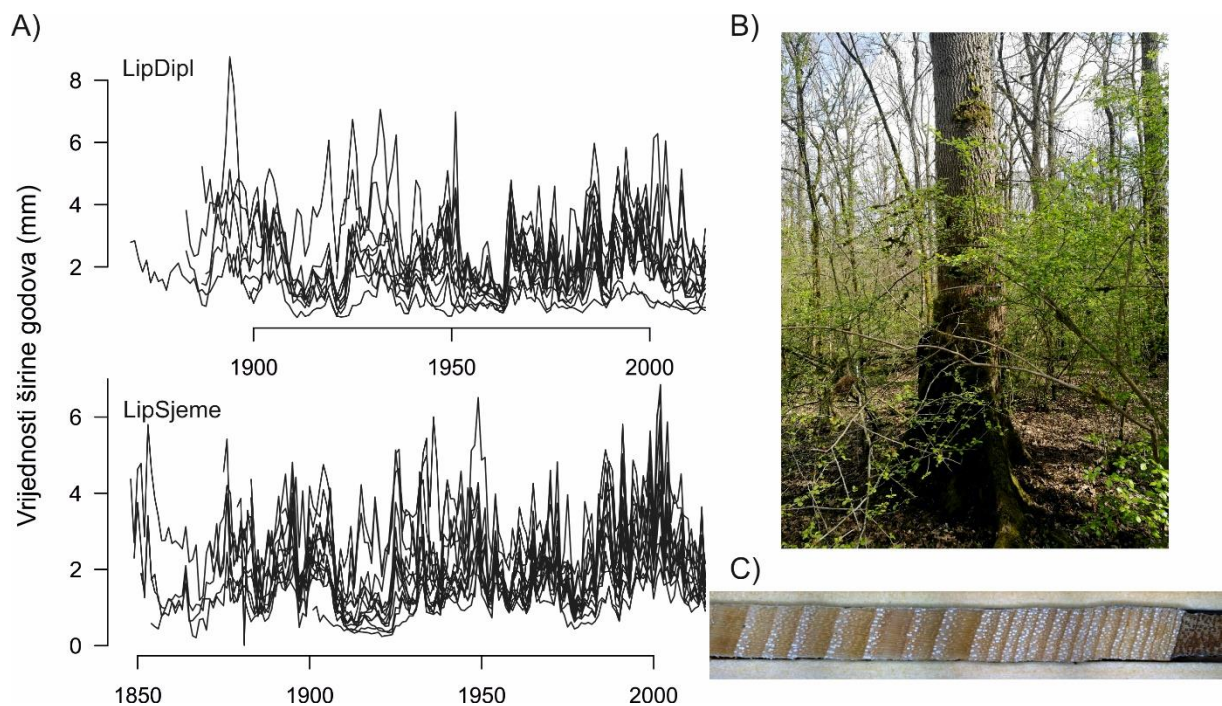
Kronologije poljskog jasena iz bare s područja Lipovljana imaju još jače izražen period smanjenog rasta u periodu oko 1980. što se pokazalo kao glavna zajednička osobina svim kronologijama iz barskog staništa.



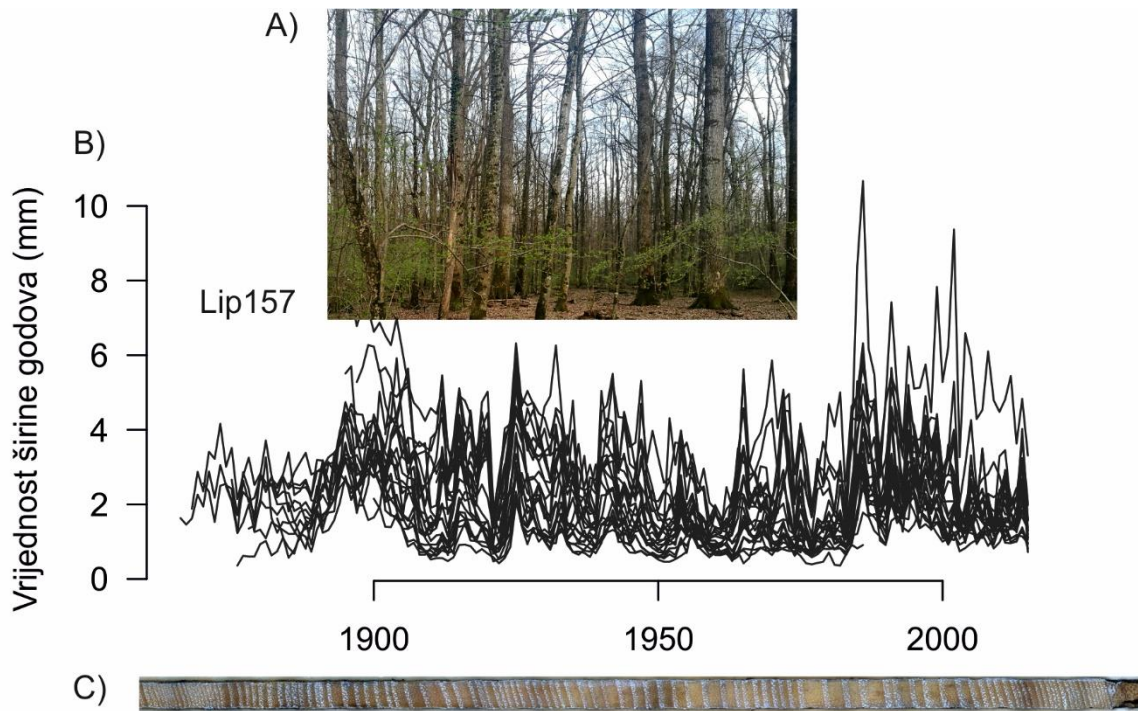
**Slika 26.** Serije širina godova poljskog jasena iz barskog staništa s područja GJ Grede-Kamare (Jasenovac) (A), izgled jedne od sastojina (B), te primjeri godina povećanog prirasta (2005, 2014) koje se pokazuju na većini kronologija (C)



**Slika 27.** Serije širina godova poljskog jasena iz barskog staništa s područja GJ Josip Kozarac (Lipovljani) (A), izgled jedne od sastojina (B), te primjer godine povećanog prirasta (1973) te perioda smanjenog prirasta (1978-1980) koji se pokazuju na većini kronologija (C)



**Slika 28.** Serije širina godova poljskog jasena iz nize s područja GJ Josip Kozarac (Lipovljani) (A), izgled sastojine (B), te primjer uzorka za dendrokronološke analize (C)

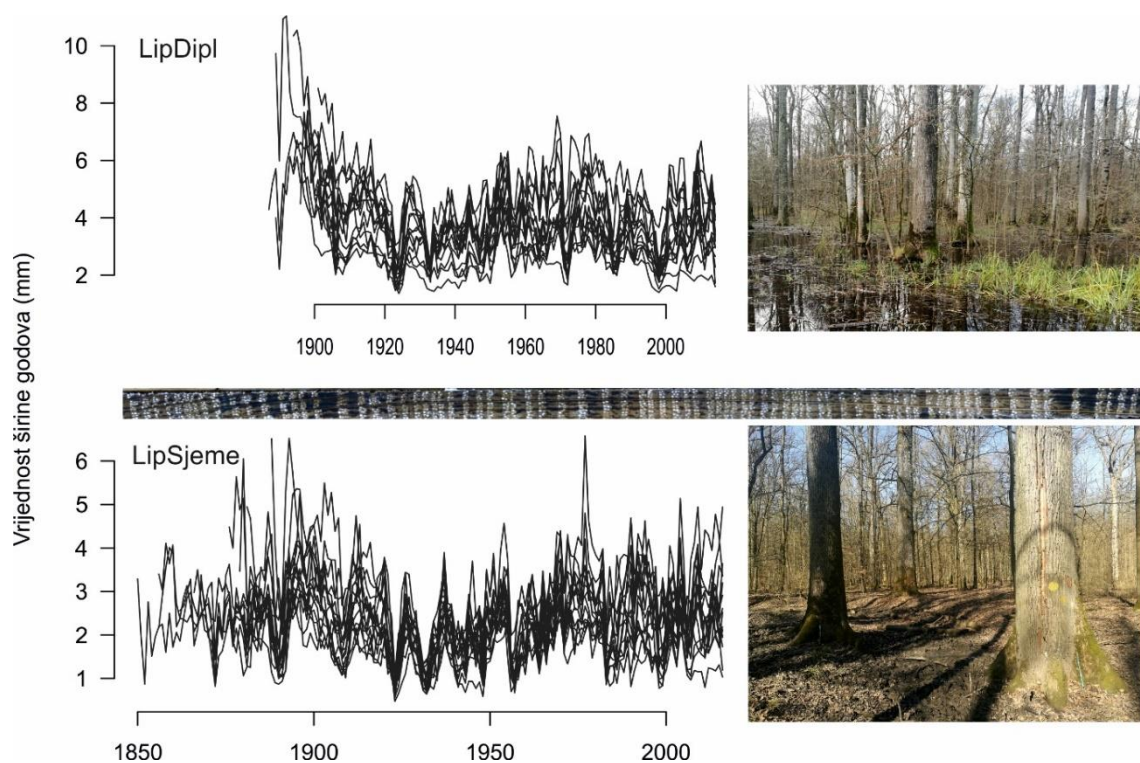


**Slika 29.** Izgled sastojine poljskog jasena s prijelaza iz nize na gredu (Opeke, NPŠO Lipovljani) (A), Serije širina godova (B), te primjer uzorka za dendrokronologiju (C)

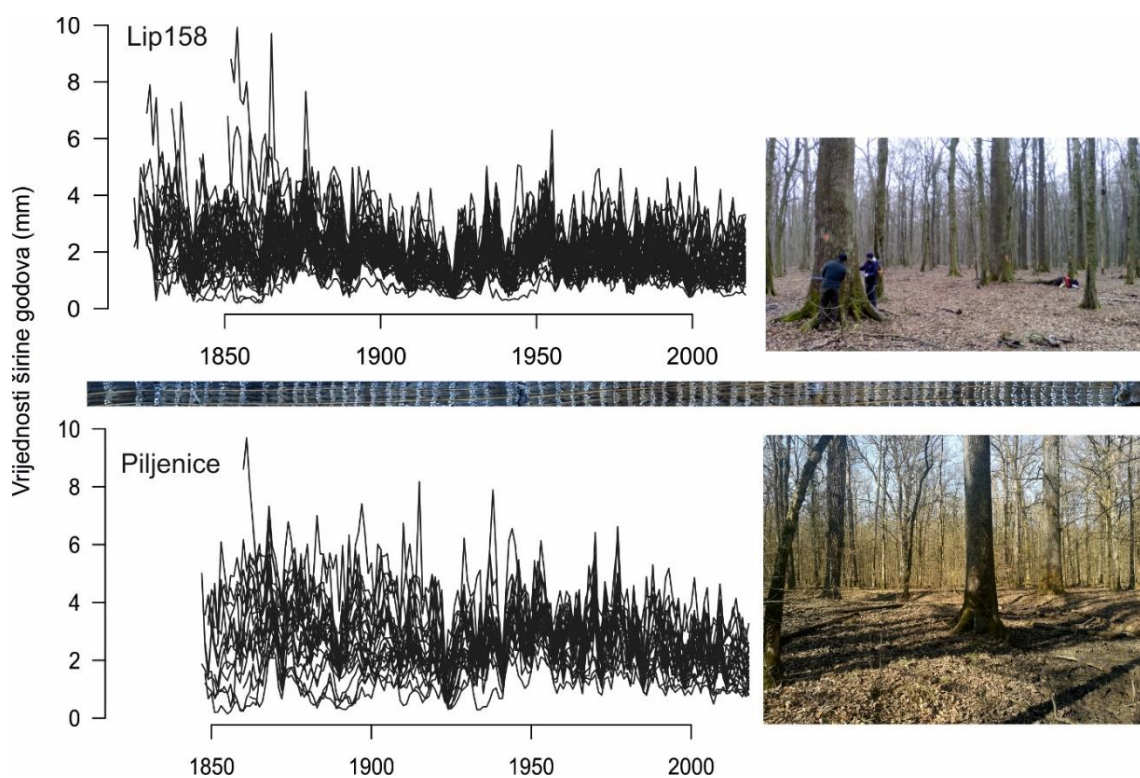
Kronologije poljskog jasena iz nize pokazuju nešto manje sinkroniziran rast, dok kronologije s najsušeg jasenovog lokaliteta imaju najmanje izraženu dinamiku prirasta što se vidi u velikom rasponu vrijednosti širina godova u pojedinim godinama. To znači da stresni klimatski uvjeti ne utječu jednako na sva stabla kao što je slučaj kod barskog tipa jasena.

Kod hrasta lužnjaka situacija je heterogenija i ne može se na osnovu grafičkog prikaza kronologija prosječnih širina godova izvući nekakva zakonitost. Tako kronologije s lokaliteta LipSjeme (hrast lužnjak u nizi s područja Lipovljana) pokazuju najveću sinhroniziranost u rastu te imaju naglašene padove i skokove u prirastu, naročito u periodu 1920. – 1950. (Slika 30). Ostale kronologije s područja Lipovljana imaju zajedničku depresiju u rastu u razdoblju 1920. – 1925.

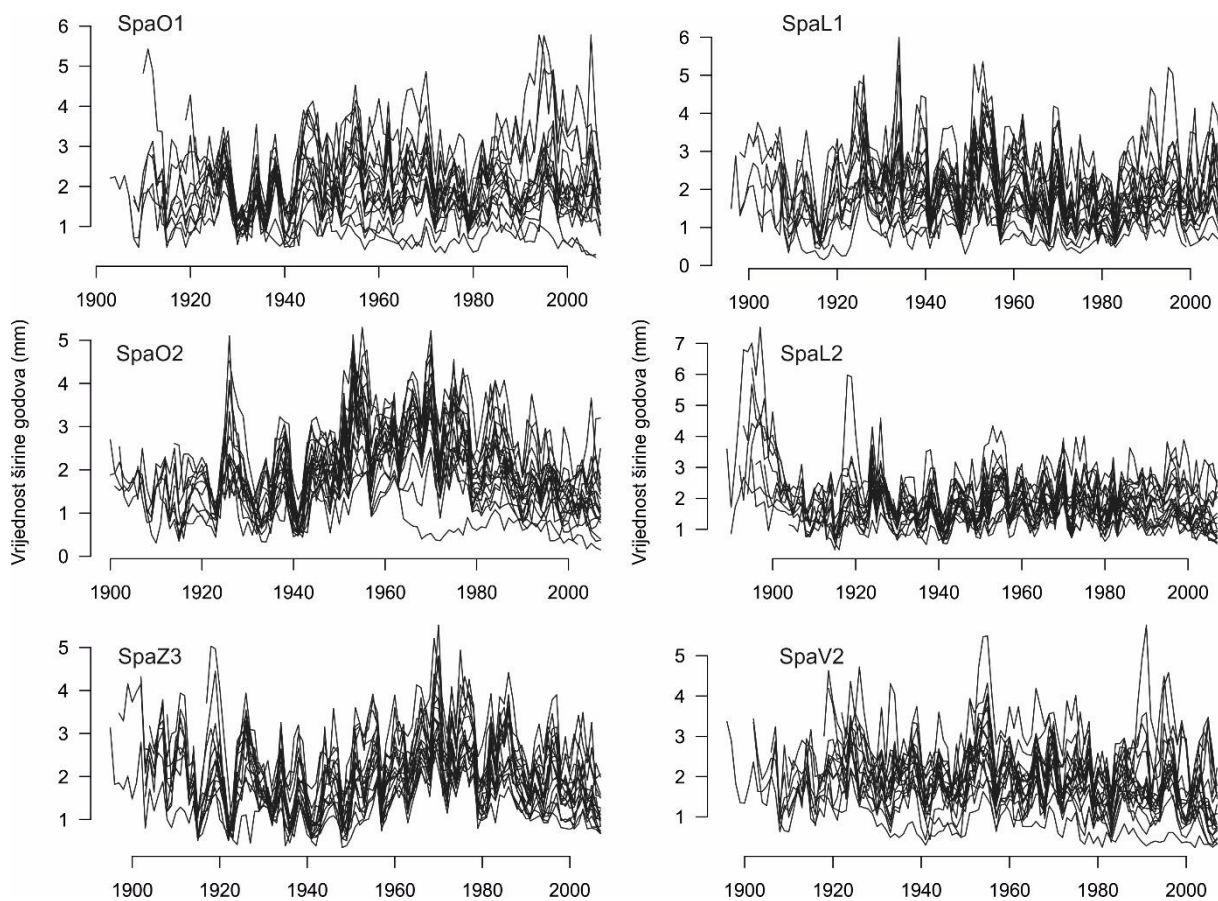




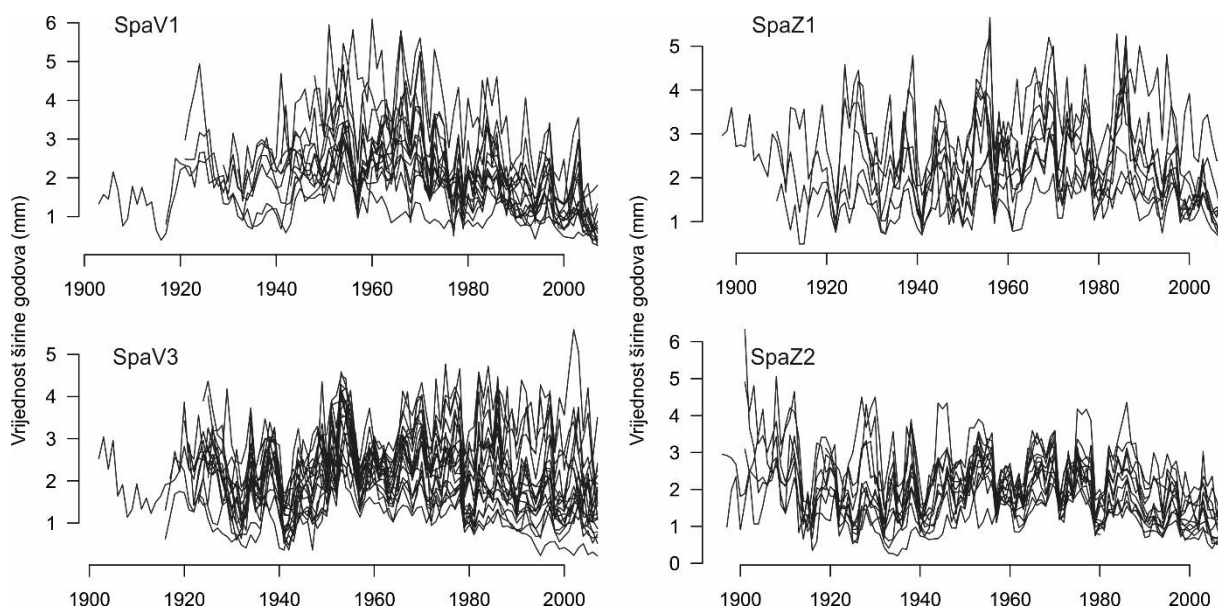
**Slika 30.** Serije širina godova hrasta lužnjaka u nizi s područja Lipovljana, izgled sastojina te primjer uzorka hrasta za dendrokronologiju



**Slika 31.** Serije širina godova hrasta lužnjaka na gredi s područja Lipovljana, izgled sastojina te primjer uzorka hrasta za dendrokronologiju



**Slika 32.** Serije širina godova hrasta lužnjaka u nizi s područja Spačve



**Slika 33.** Serije širina godova hrasta lužnjaka na gredi s područja Spačve

Kronologije hrasta lužnjaka s područja Spačve prikazane su podijeljene na dva mikroreljefna tipa. Kronologije hrastova iz nize pokazale su veću sinhroniziranost u rastu, naročito lokaliteti SpaO2, SpaL2 i SpaZ3. Svim kronologijama zajednički su padovi prirasta 1941. i 1979. Nadalje, treba podsjetiti na funkciju sastojina na istraživanim lokalitetima hrasta te je u vrijednostima širina godova svakako vidljiv i utjecaj gospodarenja, konkretno prorjeda koje su redovito obavljane. Taj utjecaj uklanja se postupkom standardizacije, no za ovaj prikaz dinamike prirasta to nije bilo potrebno.

Kronologije hrastova sa grede također pokazuju spomenute padove prirasta, no oni su manje izraženi. Za ove kronologije specifična je veća prosječna vrijednost širine goda što na neki način dokazuje bolje uvjete rasta stabala u odnosu na mikroreljefni tip nize.

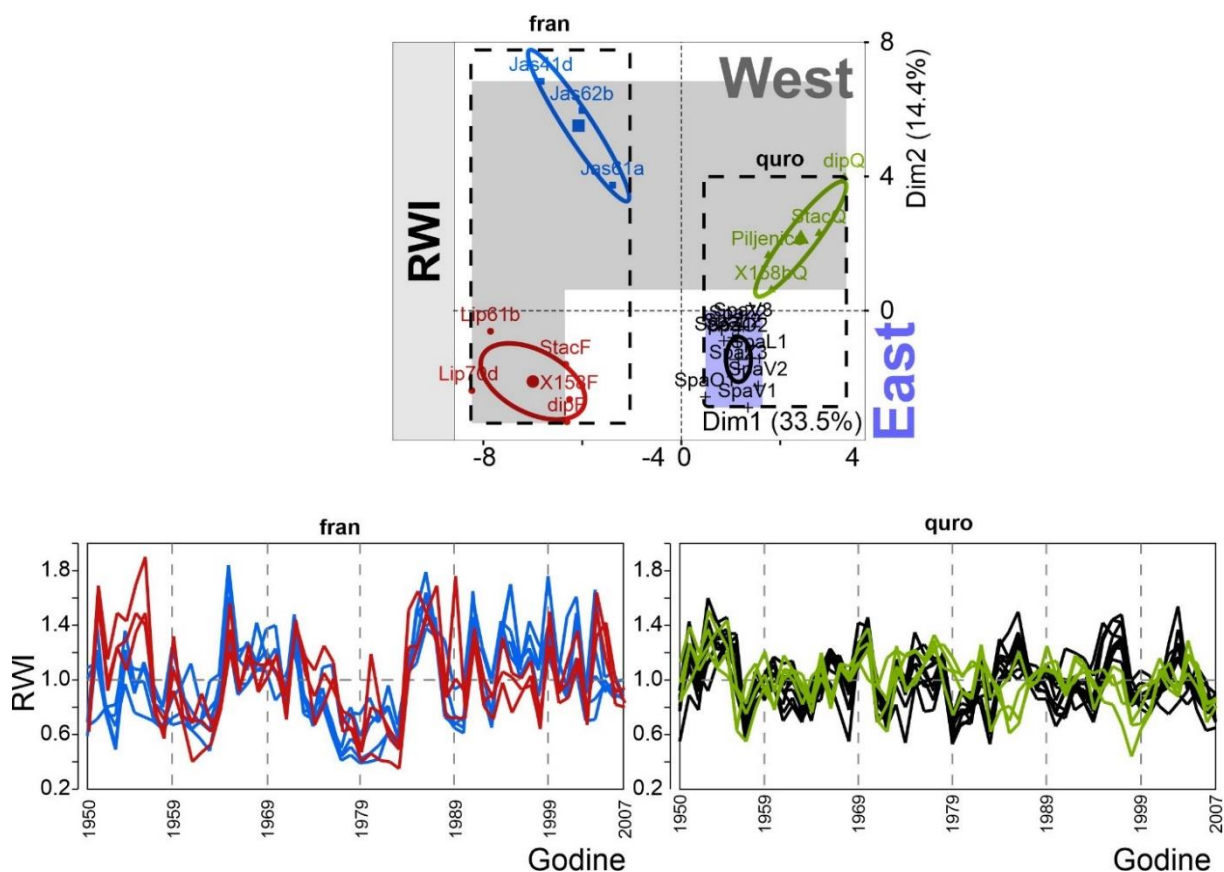
#### **5.2.4. Sličnosti između indeksnih kronologija (RWI)**

Sličnosti između istraživanih ploha su analizirane pomoću hijerarhijske klusterske analize koristeći indeksne kronologije (RWI) za razdoblje od 1950. do 2007. godine.

Rezultati analize ukazuju na postojanje 4 odvojene grupe, ali i jasno ukazuju na odvajanje lokaliteta prema vrstama drveća, dakle na one u kojima je dominantna vrsta poljski jasen (*Fran*) i na one u kojima je dominantna vrsta hrast lužnjak (*Quro*), neovisno o geografskom položaju pojedinog lokaliteta (Slika 34).

Od 4 odvojene grupe prvoj grupi pripadaju lokaliteti jasena u barama s područja Jasenovca (plava boja) dok drugoj grupi pripadaju svi ostali lokaliteti jasena sa područja Posavine bez obzira na mikroreljef (crveno). Kod hrastova koji se jasno diferenciraju od jasena uočavamo također dvije skupine i to hrastove s područja srednje Posavine (zeleno) i hrastove s područja donje Posavine (Spačva (crno)) (Slika 34).



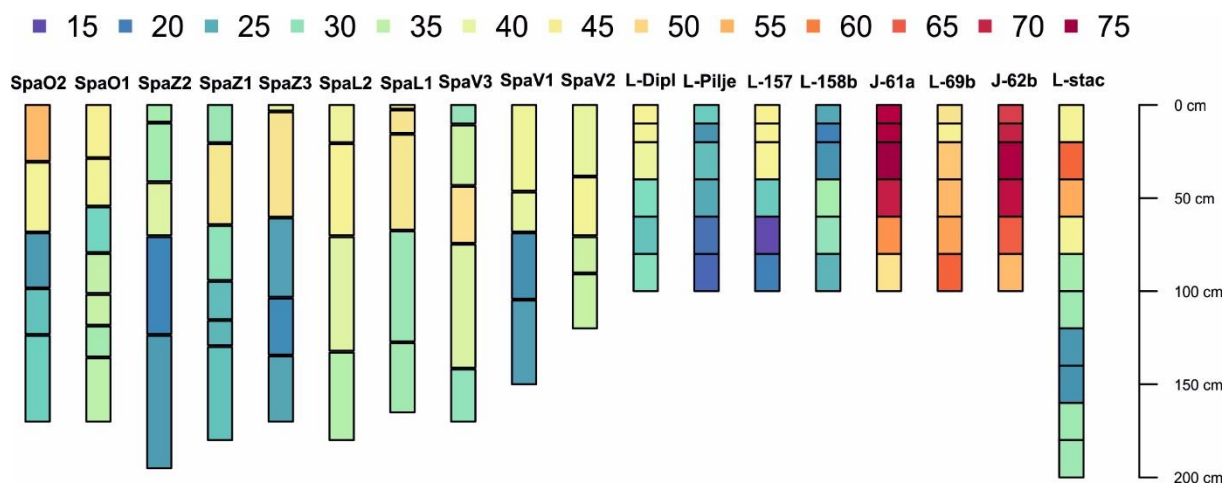


**Slika 34.** Sličnosti između istraživanih ploha na temelju indeksnih kronologija (RWI) (A), indeksne kronologije jasena raspoređene u dvije grupe (plava i crvena) (B) te indeksne kronologije hrasta raspoređene u dvije grupe prema sličnosti (zeleno i crno) (C)

### 5.2.5. Rezultati pedološke analize

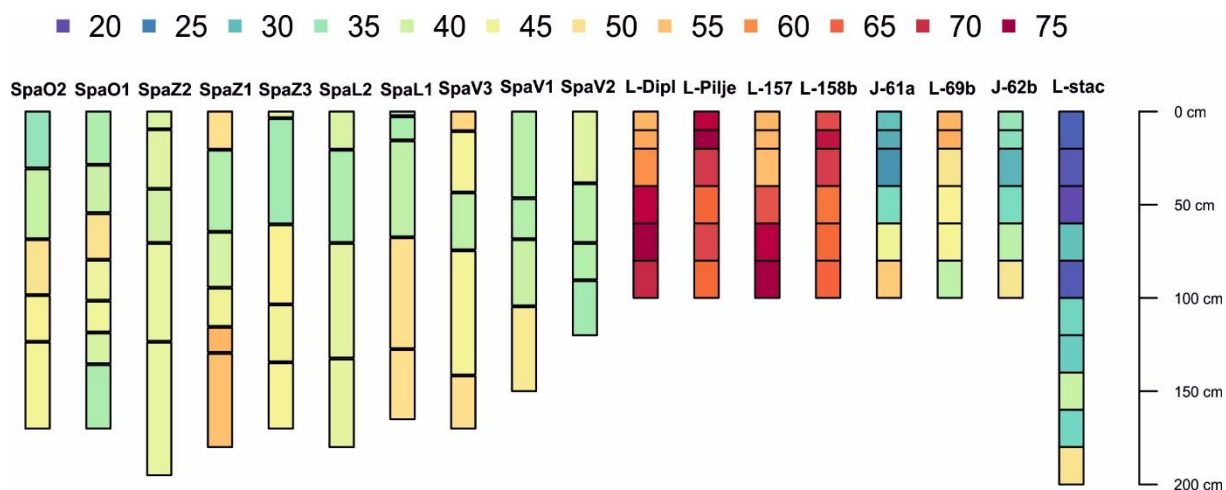
Najbitniji rezultat pedološke analize bio je sadržaj gline u tlima istraživanih lokaliteta (Slika 35). Najveći udio gline pokazao se u barskom staništu pa tako tla na lokalitetima *Jas61a* i *Jas62b* sadrže 66 – 72 % gline u zoni 0 – 60 cm, dok je u lipovljanskom barskom staništu (*Lip69b*) udio gline u istoj zoni znatno manji, 45 – 51 %. Udio gline također je manji u nizama *LipSjeme*, *LipDipl* i *Lip157* (40 – 60 %), a naročito na gredama *Pilje* i *Lip158b* (21 – 27 %).

Na području Spačve najveći postotak gline u površinskoj zoni 0 – 60 cm pokazao se na lokalitetu *SpaO2* (24 – 52 %), zatim nešto manji na lokalitetima *SpaO1*, *SpaZ3*, *SpaL2*, *SpaL1*, *SpaV1* i *SpaV2* (23 – 46 %), a najmanji na lokalitetima *SpaZ1*, *SpaZ2* i *SpaV3* (30 – 38 %).



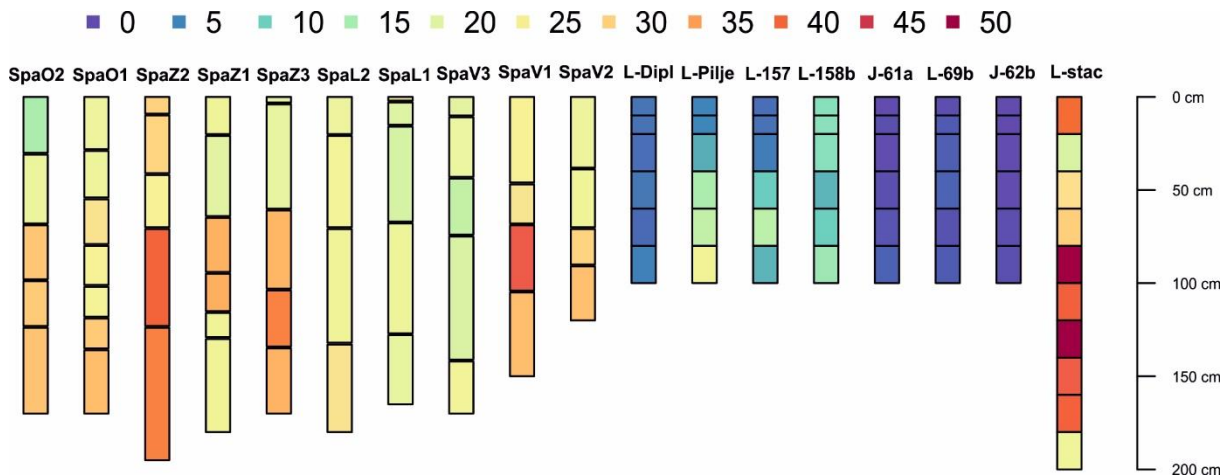
**Slika 35.** Postotni udio gline u tlima prikazan različitim bojama u ovisnosti o istraživanom lokalitetu i dubini profila tla

Udio praha u tlima na istraživanim lokalitetima prikazuje Slika 36. Najveći udio pokazao se na lokalitetima *Pilje* i *Lip158b* (greda Lipovljani) 60 – 75 % te *LipDipl* i *Lip157* (niza Lipovljani) 50 – 70 %. Lokalitet *LipSjeme* (*Stac*) pokazuje najmanji udio praha, 20 – 30 %. Spačvanski lokaliteti pokazuju podjednake postotne udjele praha s iznosima 35 – 50 % što je nešto malo više ako se uspoređuje s već spomenutim udjelima gline.



**Slika 36.** Postotni udio praha u tlima prikazan različitim bojama u ovisnosti o istraživanom lokalitetu i dubini profila tla

Udio pijeska prikazuje Slika 37. Na lipovljanskim lokalitetima on je malen, 5 – 25 %, uz izuzetak *LipSjeme* kojemu su vrijednosti do 1 m dubine 20 – 50 %. Jasenovački lokaliteti, nadalje, imaju vrlo mali udio pijeska, 0 – 5 %. Spačvanski lokaliteti na istoku imaju opet podjednak udio pijeska s vrijednostima između 15 i 40 %.



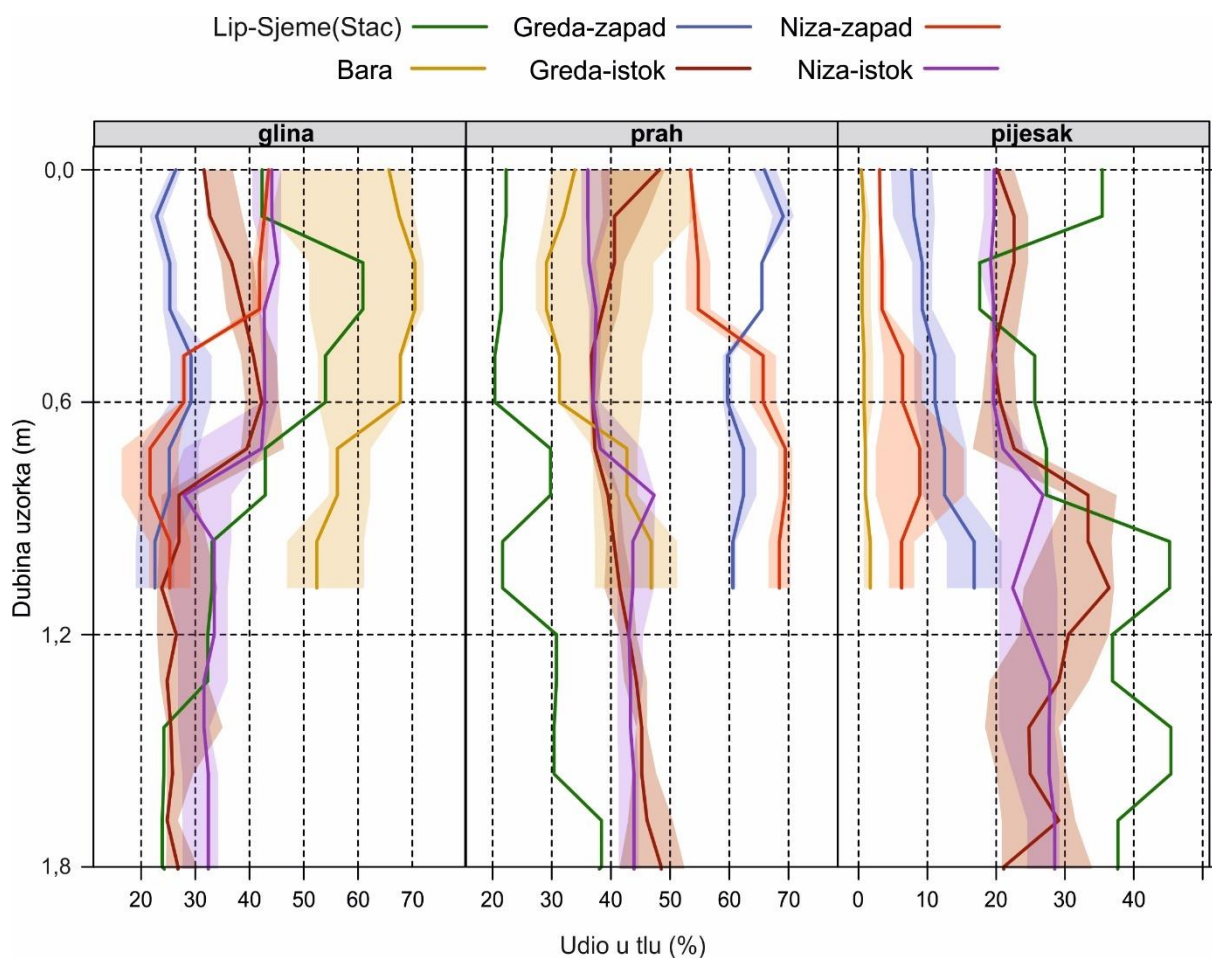
**Slika 37.** Postotni udio pijeska u tlima prikazan različitim bojama u ovisnosti o istraživanom lokalitetu i dubini profila tla

Iz svega navedenog može se zaključiti kako tla u barskom staništu (lokaliteti Jasenovac) imaju najveći udio gline, a tla na gredi (lokaliteti Lipovljani) imaju najveći udio praha. Tla u nizama po vrijednosti udjela gline i praha negdje su između. Udio pijeska u ovim tlima vrlo je malen.

S druge strane u tlima spačvanskog područja glina, prah i pijesak ravnomjernije su raspoređeni i imaju podjednake udjele. Male razlike su primjetne između mikroreljefnih tipova pa tako tla na gredi imaju u dubljim zonama (50 – 100 cm) manji udio gline te veći udio pijeska u odnosu na tla u nizama.

Prema tome je napravljeno i grupiranje tala sa sličnim granulometrijskim sastavom i dobiveno je 5 grupa koje se poklapaju sa mikroreljefnom podjelom na terenu (Slika 38). To su greda-zapad (Lipovljani), niza-zapad (Lipovljani), bara (Jasenovac/Lipovljani), niza-istok (Spačva) i greda-istok (Spačva). Izuzetak je sastav tla na lokalitetu *LipSjeme(Stac)* koji ne odgovara niti jednoj od navedenih grupa.

Iz priloženog je vidljivo kako se krivulje vrijednosti udjela pojedinih čestica tla na spačvanskom području (greda-istok i niza-istok) vrlo dobro preklapaju pa su stoga ova tla vrlo slična prema fizikalnim karakteristikama. Nadalje, na lipovljanskom području postoji evidentno razdvajanje u obliku i vrijednosti krivulja pa su tako i veće razlike u osobinama tala, naročito ako se u usporedbu dodaju i tla u barama (Jasenovac/Lipovljani).



**Slika 38.** Udio gline, praha i pijeska prikazan prema mikroreljefnim tipovima i prema dubini tla

### 5.3. Rezultati korelacijske analize kronologija s područja Posavine

#### 5.3.1. Razlike između istraživanih vrsta

Korelacijske analize ukazuju na značajnu pozitivnu ovisnost debljinskog rasta hrasta lužnjaka o količini oborina u veljači tekuće godine (godine nastanka goda), zatim o vodostaju rijeke Save u rujnu prethodne godine i vrijednosti indeksa suše u travnju tekuće godine te značajnu negativnu ovisnost temperature zraka u ožujku i travnju tekuće godine (Slika 39).

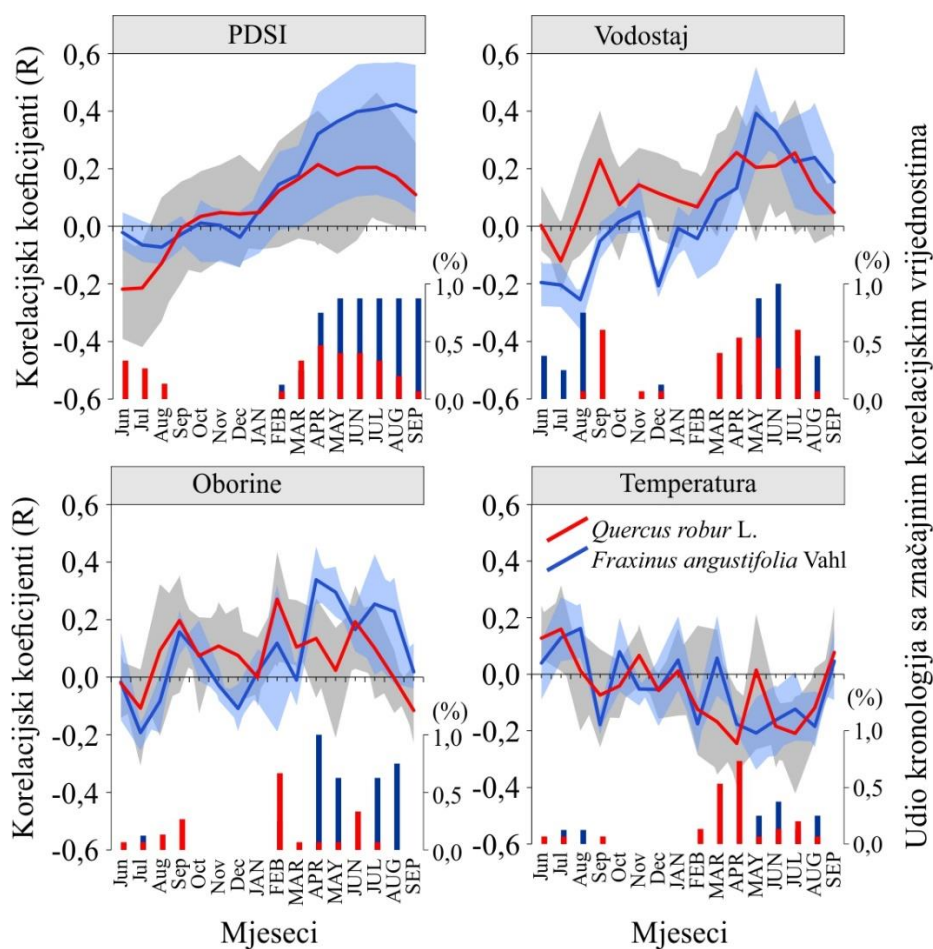
Pozitivan utjecaj oborina u veljači tekuće godine je utvrđen u 77 % kronologija hrasta ( $R = 0,27 - 0,44$ ,  $P < 0,05$ ). Također 69 % kronologija pokazuju pozitivnu korelaciju s vodostajem rijeke u rujnu prethodne godine ( $R = 0,26 - 0,40$ ,  $P < 0,05$ ). Negativne korelacije s temperaturom u travnju tekuće godine utvrđene su kod 85 % kronologija hrasta ( $R$  iznosi od  $-0,22$  do  $-0,39$ ,  $P < 0,05$ ) dok s temperaturom u ožujku tekuće godine negativno korelira njih 62 % ( $R$  iznosi od  $-0,23$  do  $-0,35$ ,  $P < 0,05$ ).

Poljski jasen pokazuje značajne pozitivne korelacije sa količinom oborina, razinom vodostaja i indeksom suše dok sa temperaturom ima negativne korelacije na granici značajnosti.

Značajne pozitivne korelacije sa količinom oborina pokazale su se u travnju ( $R = 0,21 - 0,45$ ,  $P < 0,05$ ), a s vodostajem rijeke u lipnju tekuće godine ( $R = 0,25 - 0,45$ ,  $P < 0,05$ ) kod svih (100 %) kronologija jasena. Također, značajan pozitivan utjecaj rijeke u svibnju tekuće godine ( $R = 0,29 - 0,55$ ,  $P < 0,05$ ) pronađen je kod 89 % kronologija. Negativan utjecaj vodostaja rijeke pokazao se u kolovozu prethodne godine kod 78 % kronologija ( $R$  iznosi od  $-0,22$  do  $-0,36$ ,  $P < 0,05$ ).

Značajan negativan utjecaj temperature zabilježen je samo kod 33 % kronologija jasena (plohe u Jasenovcu) u svibnju ( $R$  iznosi od  $-0,24$  do  $-0,34$ ,  $P < 0,05$ ) i lipnju ( $R$  iznosi  $-0,25$  do  $-0,29$ ,  $P < 0,05$ ) tekuće godine (Slika 39). Značajne pozitivne korelacije utvrđene su za indeks suše za sve mjeseci od travnja do rujna tekuće godine u 89 % kronologija jasena.

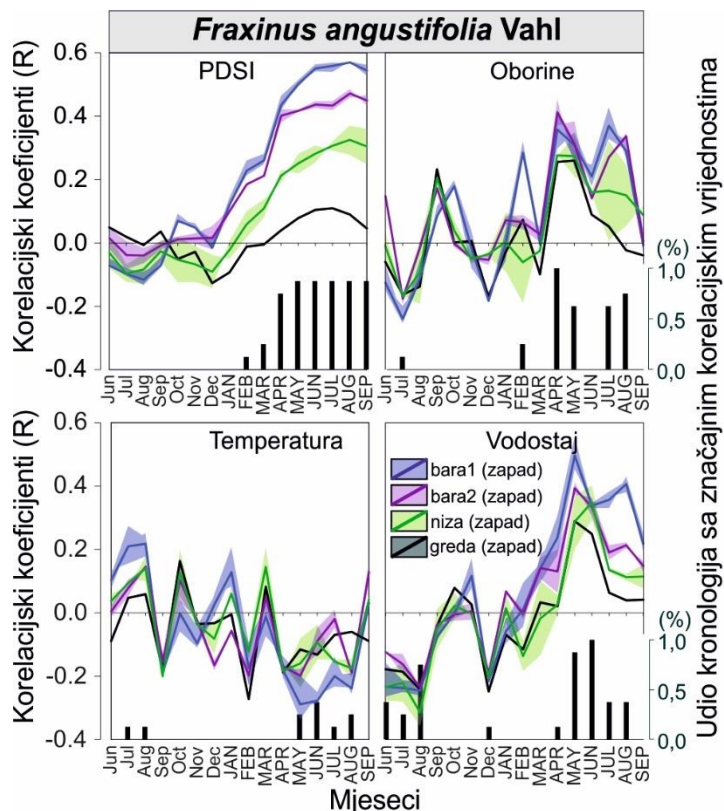




**Slika 39.** Korelacijski koeficijenti između indeksnih kronologija (RWI) stabala jasena i hrasta i mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007. godine. Gdje su: Temp - temperatura zraka, Prec – oborine, PDSI – indeks jačine suše i R – vodostaj rijeke Save

### 5.3.2. Odnos rasta poljskog jasena i mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007.

Gledano prema lokalitetima kronologije poljskog jasena sa područja Jasenovca (Jas\_41d, Jas\_62b i Jas\_61a) pokazuju najveće pojedinačne mjesečne (pozitivne i značajne) korelacije sa oborinama u travnju i svibnju te srpnju i kolovozu sa rasponom vrijednosti (R) od 0,27 do 0,43 s najvećim vrijednostima u srpnju (od 0,36 do 0,43). Nešto manji iznosi korelacija utvrđeni su kod kronologija s područja Lipovljana (Lip\_62b, Lip\_70d i LipDipl) sa značajnim korelacijama u travnju (R = 0,28 – 0,45) te srpnju i kolovozu (R = 0,25 – 0,45). Jedna kronologija s područja Lipovljana pokazala je drugačije korelacije; značajne samo za mjesec travanj i svibanj (R=0,28, R=0,34)



**Slika 40.** Pojedinačne mjesečne korelacije za grupe kronologija poljskog jasena sa područja srednja Posavine

Korelacije s vodostajem pokazuju visoke vrijednosti i to naročito za lokalitete na području Jasenovca za sve mjesecе od svibnja do kolovoza u rasponu vrijednosti 0,33 – 0,55 s najvećom vrijednosti u svibnju ( $R=0,55$ ). Lokaliteti u Lipovljanima imaju značajne korelacije samo u svibnju i lipnju u rasponu vrijednosti od 0,28 do 0,41. s najvećim iznosom u svibnju ( $R=0,41$ ) na lokalitetu Lip\_70d.

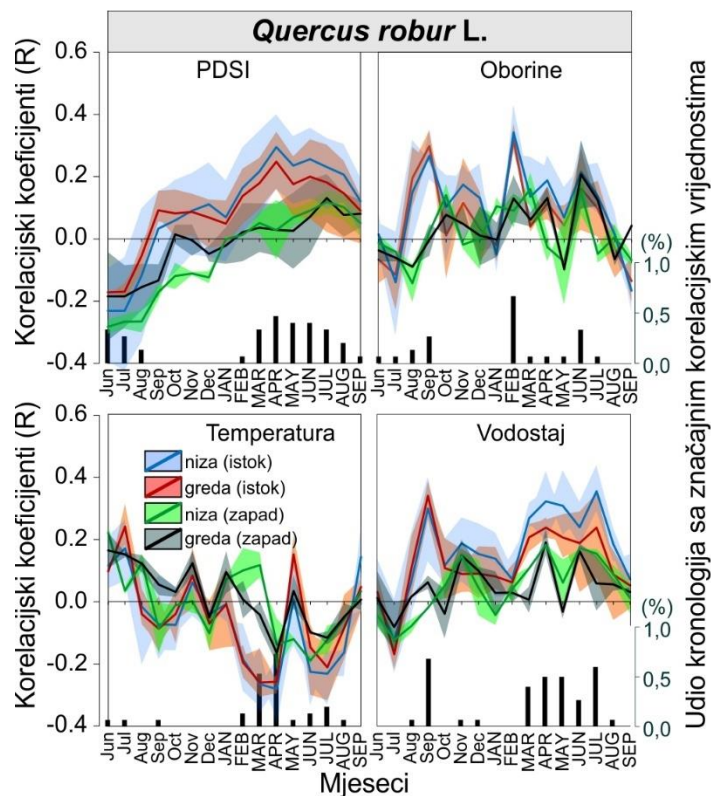
Temperatura zraka pokazala se manje značajan čimbenik na svim lokalitetima na kojima je uzorkovan poljski jasen. Značajne negativne korelacije utvrđene su samo na području Jasenovca za mjesecе svibanj, lipanj i kolovoz u rasponu vrijednosti od -0,20 do -0,34 s najvećom korelacijom u svibnju na lokalitetu Jas\_62b ( $R = -0,34$ ). Kronologije stabala jasena iz Lipovljana nisu pokazale značajne korelacijske vrijednosti u usporedbi s temperaturom zraka.

Vrijednosti korelacija s indeksom suše pozitivne su i imaju veće iznose, a značajne su za sve mjesecе od travnja do rujna. Vrijednosti se kreću od 0,42 do 0,57 za lokalitete na području Jasenovca s najvećim iznosom u kolovozu ( $R= 0,57$ ) za sva 3 lokaliteta. Područje Lipovljana

pokazuje nešto manje vrijednosti s rasponom vrijednosti od 0,22 do 0,49 s najvećim iznosom u kolovozu ( $R=0,49$ ) na lokalitetu Lip\_62b.

### 5.3.3. Odnos rasta hrasta lužnjaka i mjesečnih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007.

Vrijednosti korelacija kronologija hrasta lužnjaka s količinom oborina pokazala se značajna za gotovo sve lokalitete na području Spačve u veljači tekuće godine s rasponom vrijednosti ( $R$ ) od 0,27 do 0,44. Najveće vrijednosti pokazali su lokaliteti SpaL1 i SpaO2 ( $R=0,41$ ,  $R=0,44$ ). Ostali mjeseci u kojima su se pokazale značajne vrijednosti korelacija na nekim lokalitetima u Spačvi su travanj za lokalitet SpaL2 ( $R=0,24$ ), zatim lipanj za lokalitete SpaO1, SpaL1, SpaL2 i SpaZ2 ( $R=0,24 - 0,32$ ) te srpanj za lokalitet SpaL2 ( $R=0,25$ ). Na području Lipovljana kronologije ne pokazuju značajne korelacije s količinom oborina niti u jednom mjesecu.



**Slika 41.** Pojedinačne mjesečne korelacije za grupe kronologija hrasta lužnjaka sa područja cijele Posavine

Razina vodostaja rijeke Save sudeći prema korelacijskim vrijednostima pokazala se bitna za lokalitete u Spačvi, dok kod lipovljanskih kronologija ne pokazuje značajnu ulogu. Tako su gotovo sve kronologije iz Spačve (osim SpaL1) pokazale značajnu pozitivnu korelaciju s vodostajem u rujnu prethodne godine u rasponu vrijednosti  $R = 0,28$  do  $0,40$ . Što se tiče tekuće godine većina kronologija iz Spačve (7 lokaliteta) pokazala je značajne korelacije s vodostajem u ožujku, travnju, svibnju i srpnju u rasponu vrijednosti  $R = 0,22$  do  $0,44$  s najvećim iznosom u srpnju ( $R = 0,29$  do  $0,44$ ). Ostala 3 lokaliteta (SpaV1, SpaV3, SpaZ) (koji su na gredi) nisu pokazali značajne korelacije niti s jednim mjesecom tekuće godine.

Temperatura kao negativni čimbenik pokazala se značajna za sve lokalitete u Spačvi za mjesece ožujak i travanj tekuće godine u rasponu vrijednosti  $R =$  od  $-0,24$  do  $-0,39$  dok u lipovljanskim opet nije imala utjecaja na rast stabala. Pojedini lokaliteti iz Spačve, nadalje, pokazuju negativne vrijednosti korelacije i u lipnju (SpaO1,  $R = -0,33$ ), srpnju (SpaZ3,  $R = -0,33$ ; SpaZ1 =  $-0,32$ ) te u kolovozu (SpaL2 =  $-0,24$ ).

Palmerov indeks suše pokazuje značajne korelacije samo sa nekim kronologijama iz Spačve i to u travnju, svibnju, lipnju i srpnju. Radi se o lokalitetima O1, O2, Z3 i L2 kojima je zajedničko da su u mikroreljefnom obliku nize te Z1 koji je na gredi. Raspon vrijednosti korelacija iznosi  $R = 0,24$  do  $0,40$ , a najveća vrijednost pokazuje se u travnju.

#### **5.3.4. Razlike u klimatskoj osjetljivosti između mikrolokaliteta**

Kod poljskog jasena pokazuje se izraženiji utjecaj mikroreljefa na jačinu klimatskog signala, naročito ako se promatra indeks suše. Tako kronologije sa najvlažnijih staništa (lokaliteti Jas\_41d, Jas\_62b i Jas\_61a) pokazuju najveću osjetljivost na promatrane čimbenike (najveće korelacije), dok one na najsušim staništima (prijelazi prema gredi, lokalitet Lip\_157) pokazuju najmanju osjetljivost (Slika 40).

S druge strane, klimatski signal kod hrasta lužnjaka nije značajno utjecan mikroreljefom niti na području donje Posavine (Spačva) niti na području srednje Posavine (Lonjsko polje) gdje se pokazuju male razlike u osjetljivosti širine godova hrasta iz nize i sa grede (Slika 41). Razlike su prisutne kako je već rečeno između istočnih (Spačva) i zapadnih (Lonjsko polje) populacija hrasta neovisno o mikroreljefnoj pripadnosti.

### **5.3.5. Sezonske korelacije**

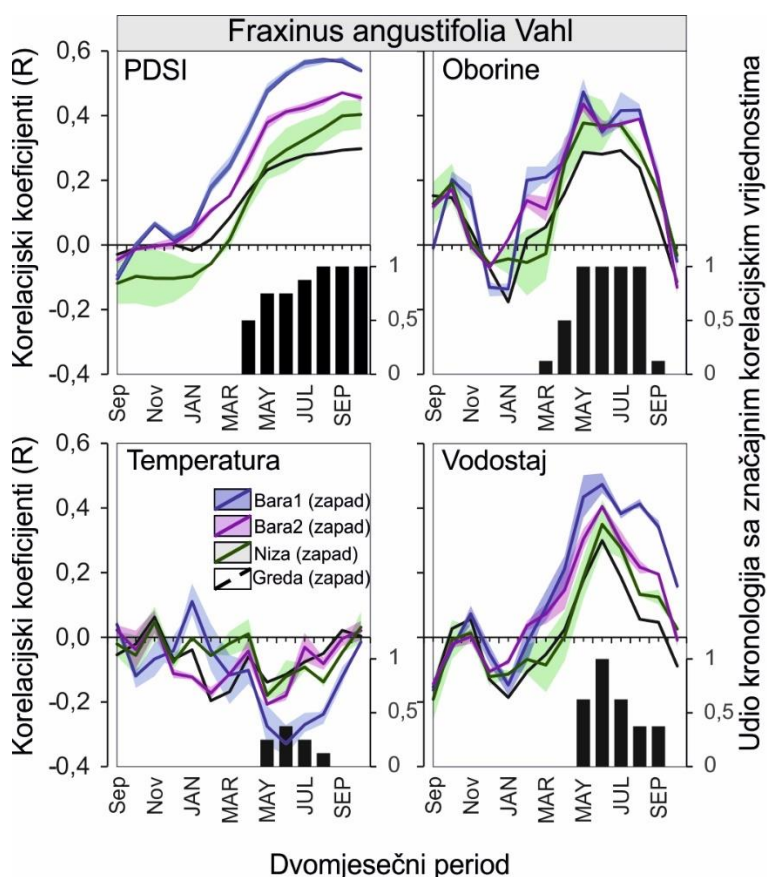
Sezonske korelacije prikazane su kao odnos indeksnih kronologija i sezonskih vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje 1950. – 2007. Sezonske vrijednosti su duljine 2 mjeseca. Radi preglednosti sezonske korelacije prikazane su kao prosječne vrijednosti po skupinama kronologija (Slika 42. i Slika 43.). Skupine su dobivene prema sličnosti u iznosu korelacija, a podudaraju se s podjelom lokaliteta na bazi mikroreljefa i geografske pripadnosti.

Skupine jasenovih kronologija prema osjetljivosti na sezonske klimatske i hidrološke čimbenike dijele se ponovno na 3(4) grupe. Razlike su sada još naglašenije nego u odnosu mjesečnih korelacija, a prema istoj zakonitosti. Najveći iznosi korelacija pokazuju se za najvlažnije lokalitete (Jasenovac), dok su najmanje u najsušem lokalitetu (Lip\_157).

#### **5.3.5.1. Sezonske korelacije između indeksnih kronologija poljskog jasena te klimatskih i hidroloških čimbenika**

Sezonske korelacije između indeksnih kronologija poljskog jasena i količine oborina za razdoblje 2 mjeseca pokazuju značajne pozitivne vrijednosti u svibnju, lipnju, srpnju i kolovozu za sve lokalitete jasena. Najveće vrijednosti pokazuju se u svibnju s rasponom  $R = 0,29$  (Lip\_157) do  $0,51$  (Jas\_62b). U lipnju one iznose od  $0,28$  (Lip\_157) do  $0,45$  (Lip\_sjeme), u srpnju od  $0,29$  (Lip\_157) do  $0,47$  (Jas\_61a) te u kolovozu od  $0,24$  (Lip\_157) do  $0,44$  (Jas\_61a).

Iznosi sezonskih korelacija s indeksom suše imaju najveće vrijednosti od svih istraživanih parametara. Značajne vrijednosti pokazuju se od svibnja do listopada za gotovo sve lokalitete, osim za Lip\_Dipl i Lip\_157 gdje su značajne u razdoblju srpanj-listopad. Dodatno za tzv. najvlažnije lokalitete u bari značajne korelacije pokazuju se i mjesec ranije, u travnju što pokazuju koliko su ovi lokaliteti izloženi stanišnim ekstremima. PDSI je čimbenik čiji se utjecaj akumulira tijekom vegetacijskog razdoblja pa se korelacije povećavaju iz mjeseca u mjesec. Najveće vrijednosti utvrđene su u rujnu s rasponom od  $0,29$  (Lip\_157) do  $0,58$  (Jas\_41d).



**Slika 42.** Korelacijski koeficijenti između grupa indeksnih kronologija (RWI) poljskog jasena te sezonskih (2 mjeseca) vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje od 1950. do 2007. godine. Gdje su: Temp – temperatura zraka, Prec – oborine, PDSI – Palmerov indeks učestalosti suše i R – vodostaj rijeke Save

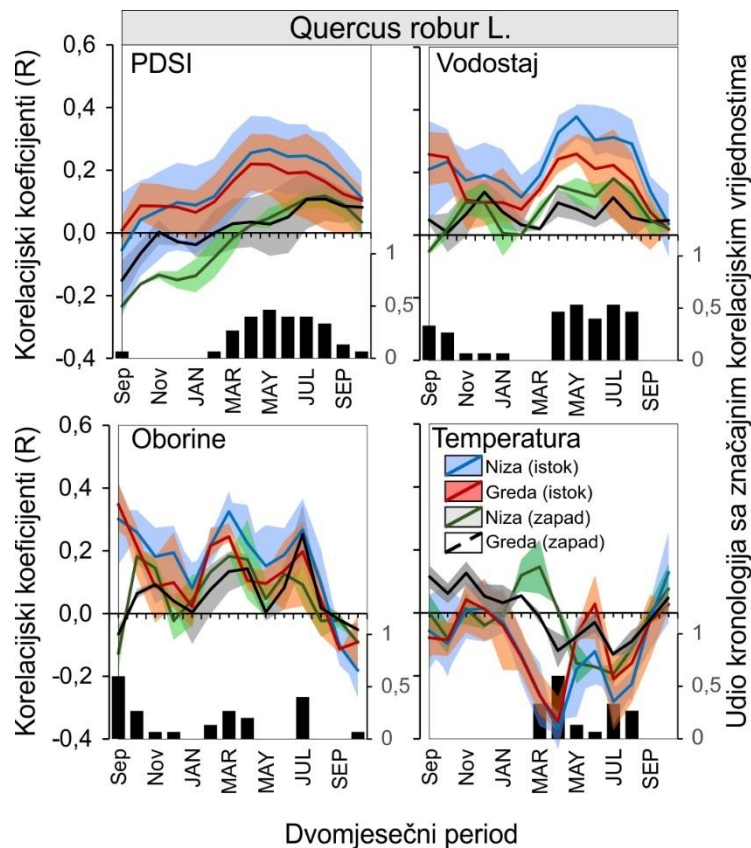
Sezonske korelacije s vodostajem Save pokazale su također visoke pozitivne iznose, a najveći utjecaj rijeke utvrđen je za mjesec lipanj kada su sve kronologije jasena pokazale značajne vrijednosti u rasponu od 0,30 (Lip\_157) do 0,51 (Jas\_62b). U ostalim mjesecima značajne korelacije pokazuju se u barskim lokalitetima, a ističu se lokaliteti iz Jasenovca kojima je na rast značajno utjecao vodostaj rijeke u razdoblju svibanj-rujan s minimalnim vrijednostima 0,33 u rujnu te maksimalnim 0,51 u lipnju.

Temperatura zraka nije imala presudan utjecaj u rastu stabala poljskog jasena ako se promatraju korelacije sezonskog karaktera. Kronologije koje su zabilježile značajan negativan utjecaj su Jas\_62b i Jas\_61a u mjesecima svibnju, lipnju i srpnju s rasponom vrijednosti od -0,28 do -0,36.



### 5.3.5.2. Sezonske korelacije između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka te klimatskih i hidroloških čimbenika

Sezonske korelacije između indeksnih kronologija hrasta lužnjaka i 2-mjesečne količine oborina pokazuju značajne pozitivne vrijednosti u rujnu prethodne godine za gotovo sve lokalitete iz Spačve (osim SpaL1). Vrijednosti korelacija kreću se u rasponu 0,26 do 0,42 i najveće su za lokalitet SpaZ3. Također 4 kronologije (O2, L2, Z3, Z1) pokazuju značajne korelacije i u listopadu prethodne godine s vrijednostima 0,25 – 0,33. Na lipovljanskom području korelacije s parametrom prethodne godine nisu se pokazale značajne. Od ostalih značajnih korelacija u tekućoj godini mogu se izdvojiti one u ožujku (lokaliteti SpaL1, SpaO1 i SpaO2) s rasponom vrijednosti 0,36 do 0,39 te one u srpnju (lokaliteti SpaO1, SpaO2, SpaL2, SpaZ3 i SpaZ1) s rasponom vrijednosti 0,26 – 0,37.



**Slika 43.** Korelacijski koeficijenti između grupa indeksnih kronologija (RWI) hrasta lužnjaka te sezonskih (2 mjeseca) vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika za razdoblje od 1950. do 2007. godine. Gdje su: Temp – temperatura zraka, Prec – oborine, PDSI – Palmerov indeks učestalosti suše i R – vodostaj rijeke Save

Korelacije s indeksom suše pokazuju značajne vrijednosti za mjesece od travnja do kolovoza, ali samo na određenim lokalitetima u Spačvi (SpaO1, SpaO2, SpaL2, SpaZ3 i SpaZ1 - pretežito nize) u rasponu vrijednosti 0,27 – 0,37. Lipovljanske kronologije i spačvanske kronologije sa grede (iznimka SpaZ3) ne pokazuju značajne korelacije s indeksom suše.

Sezonske korelacije s iznosom vodostaja Save pokazale su na nekolicini lokaliteta iz Spačve (SpaO2, SpaZ1, SpaZ2 i SpaZ3) utjecaj prethodnog rujna i listopada u rasponu vrijednosti 0,28 – 0,36. Gotovo svi lokaliteti iz Spačve (sve nize i greda SpaZ1) pokazali su značajne korelacije sa 2-mjesečnom vrijednosti vodostaja u svim mjesecima od travnja do rujna u rasponu vrijednosti 0,25 do 0,42 sa maksimumom u svibnju ( $R=0,32 - 0,42$ ). Lipovljanske kronologije opet nisu pokazale značajne korelacije u niti jednom mjesecu.

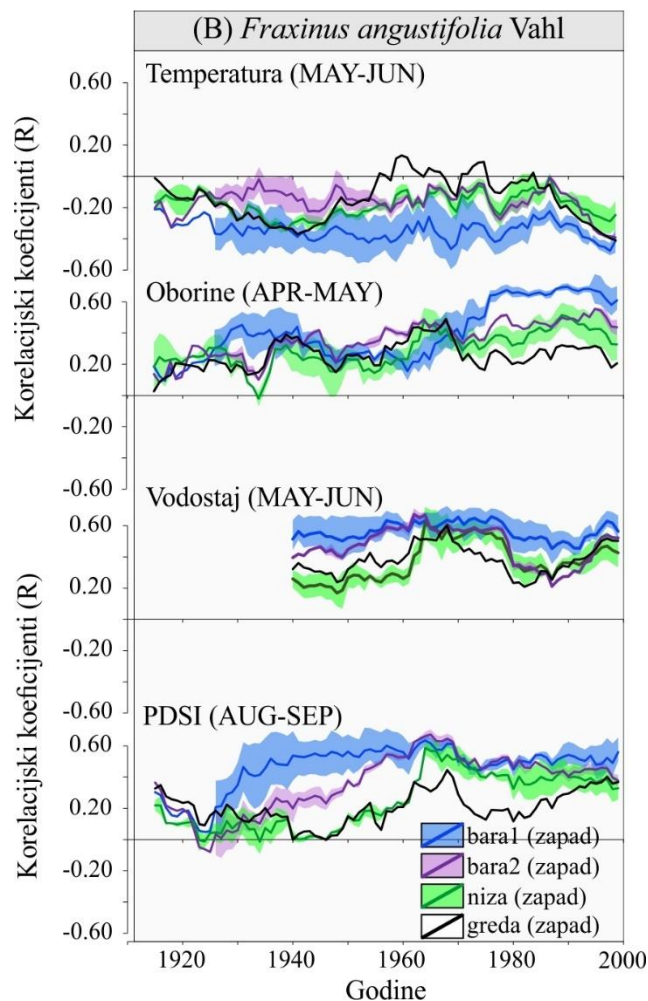
Korelacije s dvomjesečnim vrijednostima temperature pokazuju zajedničku značajnost za sve lokalitete iz Spačve (osim SpaV3) u mjesecu travnju s rasponom vrijednosti od 0,34 do 0,43. Osim toga značajne su se pokazale i korelacije s nekim kronologijama (SpaL1, SpaO1, SpaZ1, SpaZ2 i SpaZ3) u ožujku s rasponom vrijednosti od 0,28 do 0,36 te u srpnju (SpaO1, SpaO2, SpaZ3 i SpaZ1) od 0,29 do 0,37, dok se za utjecaj temperature prethodne godine nisu pokazale značajne korelacije.

### **5.3.6. Vremenska stabilnost klimatskog signala – pomične (moving) korelacije**

#### **5.3.6.1. Pomične korelacije za kronologije poljskog jasena**

Poljski jasen pokazuje vrlo izražen klimatski signal. Stabilnost tog signala prikazuje grafički Slika 44. Jednako kao u pojedinačnim mjesečnim i sezonskim korelacijama i ovdje se razlikuju 4 grupe sastojina prema iznosu i stabilnosti signala. Za praćenje klimatskog signala (moving analize) odabrani su parametri prema napravljenim sezonskim korelacijama. Odabrana su 4 najznačajnija parametra, od svakog klimatskog (hidrološkog) čimbenika po jedan: prosječna temperatura za razdoblje svibanj-lipanj, suma oborina za razdoblje travanj-svibanj, prosječni vodostaj za razdoblje svibanj-lipanj te prosječni PDSI za razdoblje kolovoz-rujan.





**Slika 44.** Rezultati pomičnih korelacija s 30-godišnjim pomakom između kronologija jasena (RWI) i najznačajnijih mjesečnih i sezonskih klimatskih čimbenika

Pomična (moving) korelacija s prosječnom temperaturom (svibanj-lipanj) pokazuje najveći negativan i najstabilniji iznos s lokalitetima iz Jasenovca. Manje vrijednosti, a pritom i ne tako stabilne kroz vrijeme pokazali su ostali lokaliteti jasena s područja Lipovljana.

Pomične korelacije s ukupnim oborinama (travanj-svibanj) pokazuju poprilično ujednačeni, ali nestabilan signal na svim lokalitetima jasena. Nakon 1960. uočava se rast korelacija, naročito kod jasenovačkih kronologija (Grede-Kamare), dok ova zakonitost ne vrijedi za kronologiju Lip\_157. Kronologije Grede-Kamare povećavaju korelaciju od  $R=0,20$  (1960.) do  $R=0,60$  (nakon 1975.). Ostale kronologije (osim Lip\_157) povećavaju vrijednosti od 0,20 do 0,40 za isto razdoblje.

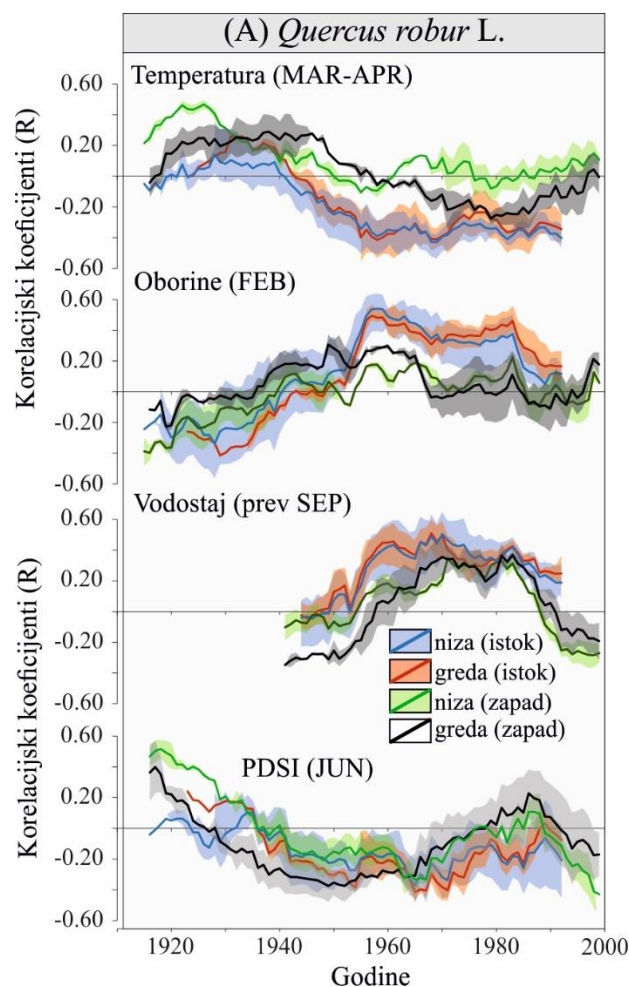
Parametar vodostaja praćen je za razdoblje svibanj-lipanj kada su se pokazale najveće sezonske korelacije. Pomične korelacije pokazale su nestabilan signal kroz vrijeme koji se mijenjao dva

puta u promatranom razdoblju (u razdoblju 1960. – 1980.). Iznos korelacije opet je najveći u najnižim, barskim lokalitetima gdje se čini i najstabilniji kroz vrijeme.

Signal na PDSI raste konstantno već od 1920., a postaje stabilan nakon 1960. za sve lokalitete osim za onaj najviši, Lip\_157. Opet se najosjetljiviji pokazuju lokaliteti Grede-Kamare koji već od 1940. imaju iznose korelacije oko 0,60. Značajan rast u osjetljivosti na PDSI pokazuju ostali lokaliteti iz Lipovljana koji se nakon 1960. izjednačuju s prethodno navedenim.

### 5.3.6.2. Pomične korelacije za kronologije hrasta lužnjaka

Za pomične korelacije hrasta korišteni su sljedeći parametri: prosječna temperatura ožujak-travanj, oborine u veljači tekuće godine, vodostaj u rujnu prethodne godine te PDSI u lipnju tekuće godine. Odabrani su oni klimatski i hidrološki parametri koji su se u mjesečnim i sezonskim korelacijama pokazali kao najbitniji za rast hrasta lužnjaka.



**Slika 45.** Rezultati pomičnih korelacija s 30-godišnjim pomakom između kronologija hrasta (RWI) i najznačajnijih mjesečnih i sezonskih klimatskih čimbenika

Većina kronologija iz Spačve (istok) pokazuje značajne negativne korelacije sa prosječnom temperaturom za razdoblje ožujak-travanj čiji se iznos počeo povećavati od 1940., a postao stabilan od 1960. s vrijednosti oko (R) 0,40. Istovremeno pokazuje se porast u pozitivnoj korelaciji s oborinama u veljači i s vodostajem u rujnu prethodne godine, naročito nakon 1950. kada se korelacije zadržavaju u rasponu  $R = 0,45 - 0,55$  za oborine te  $R = 0,35 - 0,50$  za vodostaj rijeke.

Hrastovi s lipovljanskog područja (zapad) ne pokazuju značajne promjene u korelacijama koje su općenito vrlo niske, osim za vodostaj rijeke za koji korelacija naglo opada nakon 1980. godine.

#### **5.4. Indikatorske godine TRW kronologija s područja Posavine**

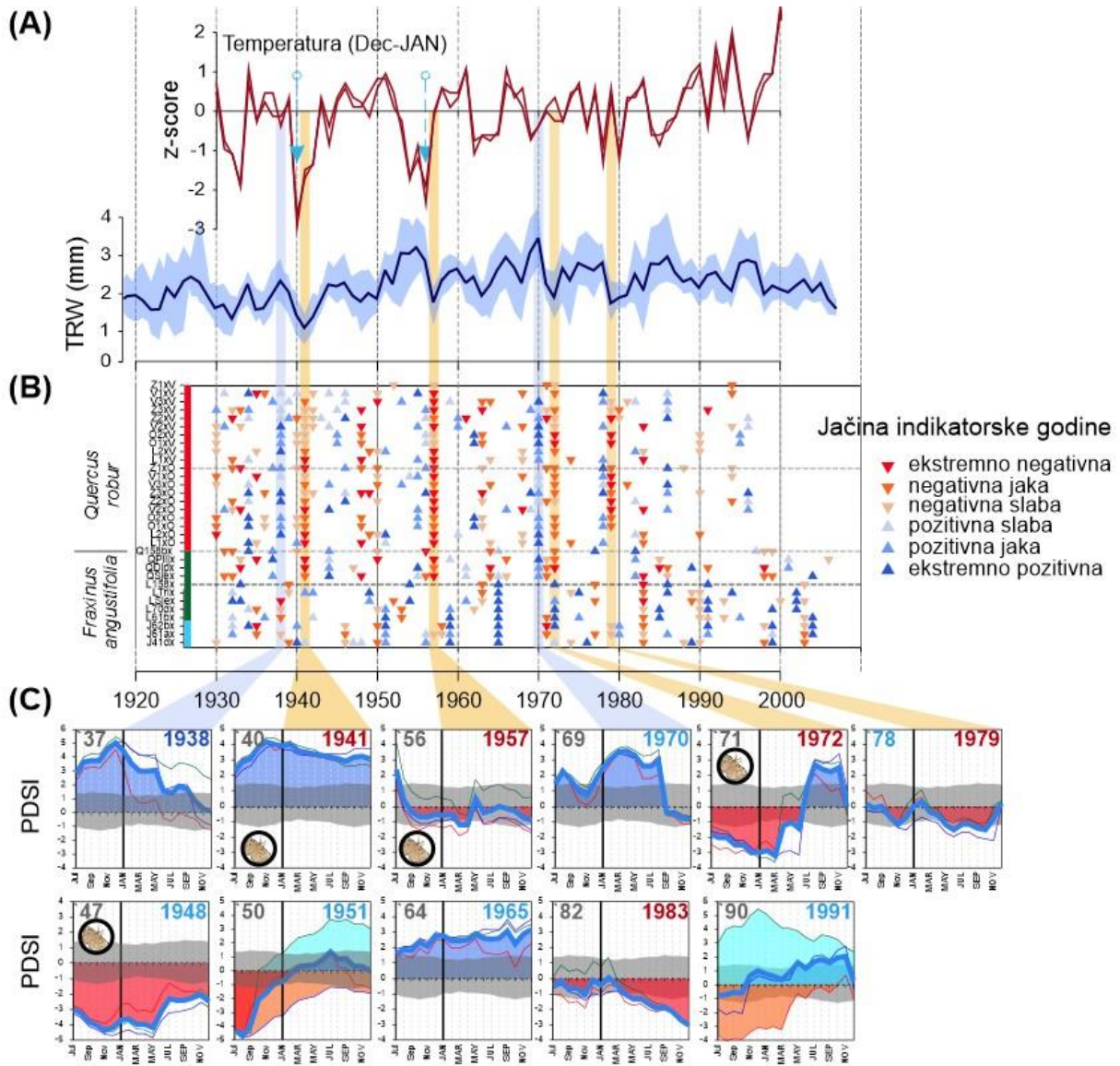
Analiza indikatorskih godina za razdoblje 1930. – 2007. pokazala je 142 značajne godine za poljski jasen te 375 za hrast lužnjak (ukupno na svim kronologijama). Od toga 77 je pozitivnih, a 65 negativnih kod jasena te 153 pozitivne i 222 negativne kod hrasta. Prema intenzitetu indikatorskih godina kod jasena prevladavaju značajne i jake pozitivne godine, u iznosu 66 prema 32 negativne, dok je kod hrasta situacija obrnuta gdje se negativne godine događaju češće.

Pozitivne godine kod jasena su 1965. koja se pokazuje na 100 % serija, 1972. (75 %), 1991. (75 %), 1951. i 1959. (63 %), Najznačajnije negativne godine bile su 1983. (100 %) i 2003. (75 %).

Veći broj značajnih negativnih godina pronađen je kod hrasta. To su 1957. (96 %), 1941. (92 %), 1979. (79 %) i 1972. (54 %). Od značajnih pozitivnih godina ističe se samo jedna, 1970. (79 %) te nekoliko manje značajnih koje se pojavljuju na manje od 60 % lokaliteta (1938. na 58 % i 1978. na 46 %).

Negativne godine 1940. i 1941. te 1956. i 1957. bile su izrazito vlažne tijekom trajanja, ali imale i neke od najnižih zabilježenih temperatura zraka za razdoblje od 1890. do danas. Kombinacija vlažnog i hladnog vremena rezultirala je u slučaju hrasta lužnjaka, u većini kronologija, manjom širinom goda. Tako se ekstremni zimski udar dogodio početkom svibnja 1957. godine kada je nakon snijega uslijedio jaki mraz koji je počinio veliku štetu.

Negativnoj 1972. godini prethodi suša u 1971. godini koja se protegla do svibnja 1972. godine. Također negativne indikatorske godine kod hrastova koincidiraju sa razdobljima progradacije gubara (*Lymantria dispar* L.).

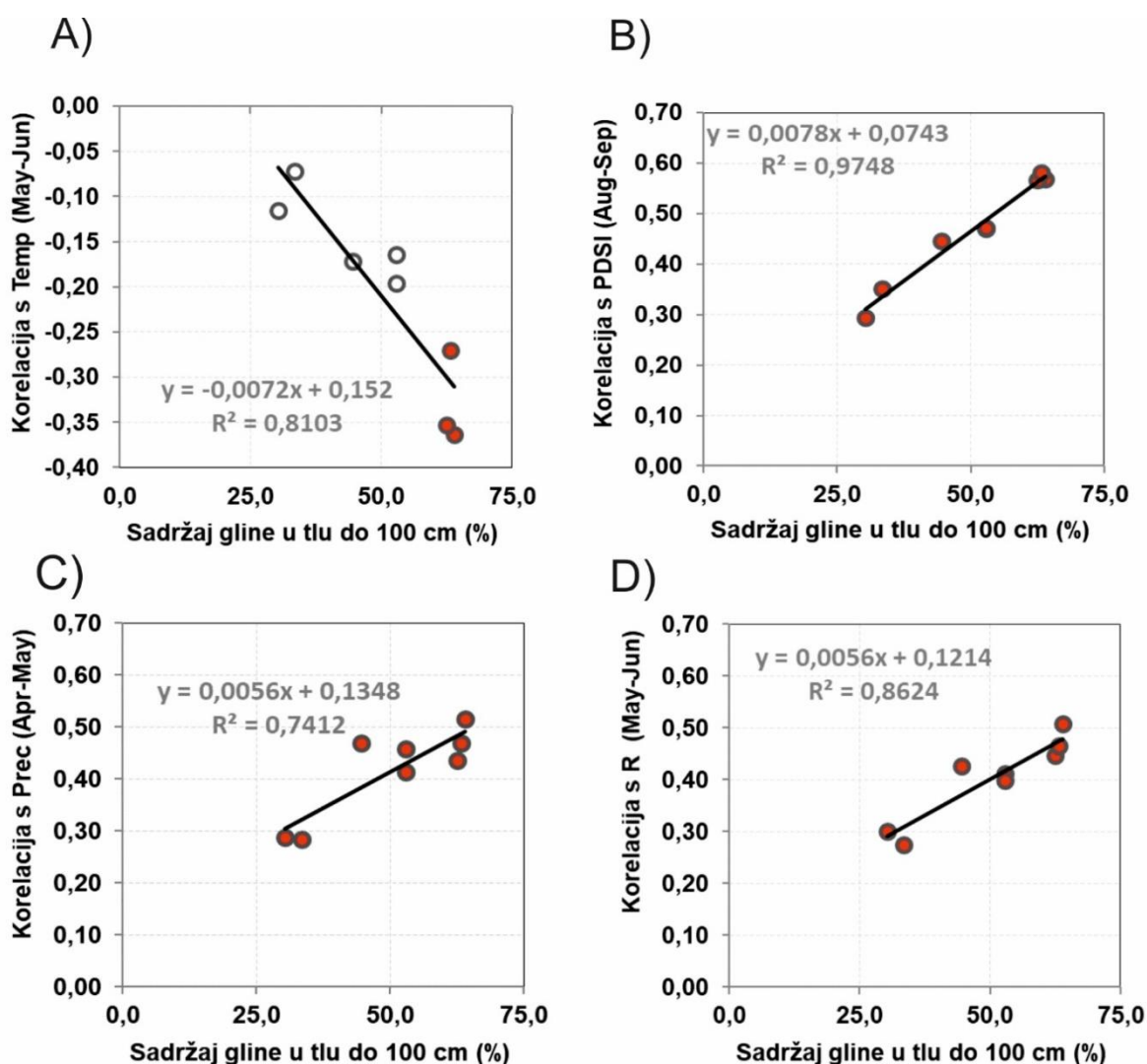


**Slika 46.** Pregled indikatorskih godina (B) i usporedba sa klimatskim čimbenicima (hladne zime) (A) te sušnim godinama i gradacijama gubara (C)

## 5.5. Utjecaj mikroreljefnih čimbenika i značajki tala na klimatsku osjetljivost istraživanih vrsta na području Posavine

Mikroreljef se pokazao kao presudan čimbenik u klimatskoj osjetljivosti poljskog jasena dok je kod hrasta pokazao manji utjecaj. Čimbenici kojima smo nastojali opisati i vrednovati mikroreljef istraživanih ploha su (1) sadržaj gline u tlu, (2) udaljenost od korita rijeke te (3) razlika između nadmorske visine lokaliteta i prosječnog vodostaja rijeke.

### 5.5.1. Korelacija između mikroreljefnih čimbenika i klimatske osjetljivosti poljskog jasena



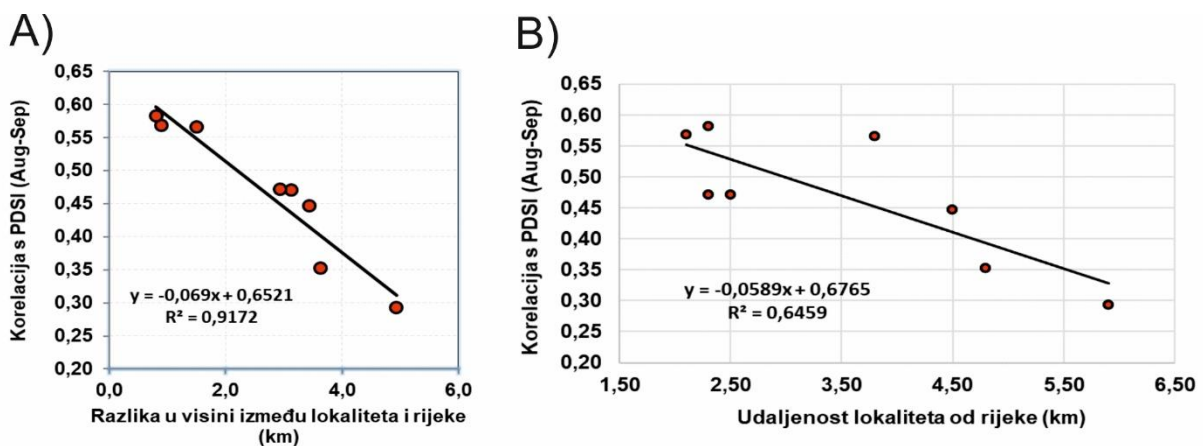
**Slika 47.** Odnosi između sadržaja gline i korelacijskih koeficijenata temperature za razdoblje svibanj-lipanj (A), indeksa suše za razdoblje kolovoz-rujan (B), oborina za razdoblje travanj-svibanj (C) te vodostaja za razdoblje svibanj-lipanj (D) za kronologije poljskog jasena



Glina se pokazala kao presudan čimbenik u reakciji jasena na sve zadane klimatske parametre. Slika 47. prikazuje kako sa povećanjem sadržaja gline u tlu raste i negativna korelacija s temperaturom u razdoblju svibanj-lipanj (A), zatim raste pozitivna korelacija s indeksom suše u razdoblju kolovoz-rujan (B), također i pozitivna korelacija s oborinama u razdoblju travanj-svibanj (C) te pozitivna korelacija s vodostajem u razdoblju svibanj-lipanj (D). Ove usporedbe (A, B, C, D) napravljene su sa najznačajnijim čimbenicima klime i vodostaja kako bi se istaknula značajna varijabilnost njihovog utjecaja na rast jasena, uslijed različitih karakteristika tla.

Kako je odnos sadržaja gline i korelacije s indeksom suše pokazao najveću ovisnost (Slika 47.B) istražen je također odnos razlike u visini lokaliteta, kao i udaljenosti lokaliteta, s iznosom PDSI korelacije. Rezultat prikazuje

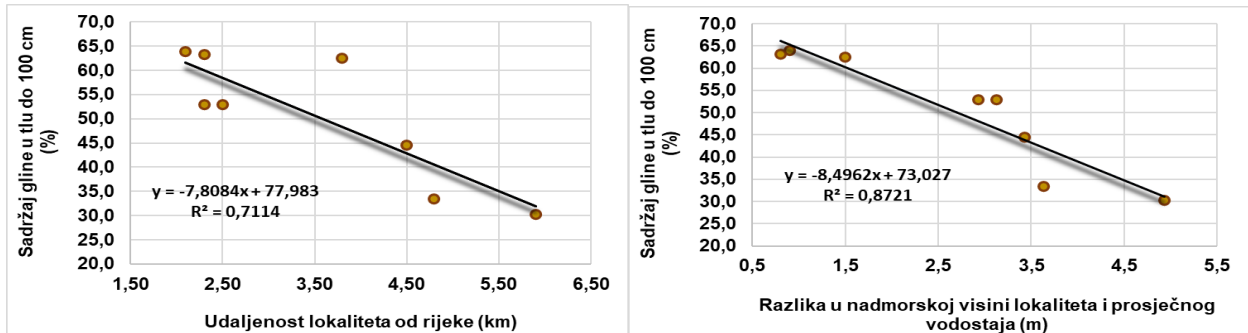
Slika 48. te je vidljivo kako razlika u visini između lokaliteta i vodostaja ima jako veliki utjecaj, gotovo kao i sadržaj gline, dok je udaljenost lokaliteta od rijeke manje bitna za osjetljivost na indeks suše (PDSI).



**Slika 48.** Odnos korelacije s indeksom suše za razdoblje kolovoz-rujan i razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (A) te udaljenosti lokaliteta od rijeke (B)

Sadržaj gline koji je pokazao najveće vrijednosti u odnosu sa korelacijama istražen je također i u odnosu na preostala dva bitna elementa mikroreljefa, a rezultate prikazuje Slika 49. Vidljivo je kako se prosječni sadržaj gline u tlu do 100 cm dubine smanjuje povećanjem udaljenosti od

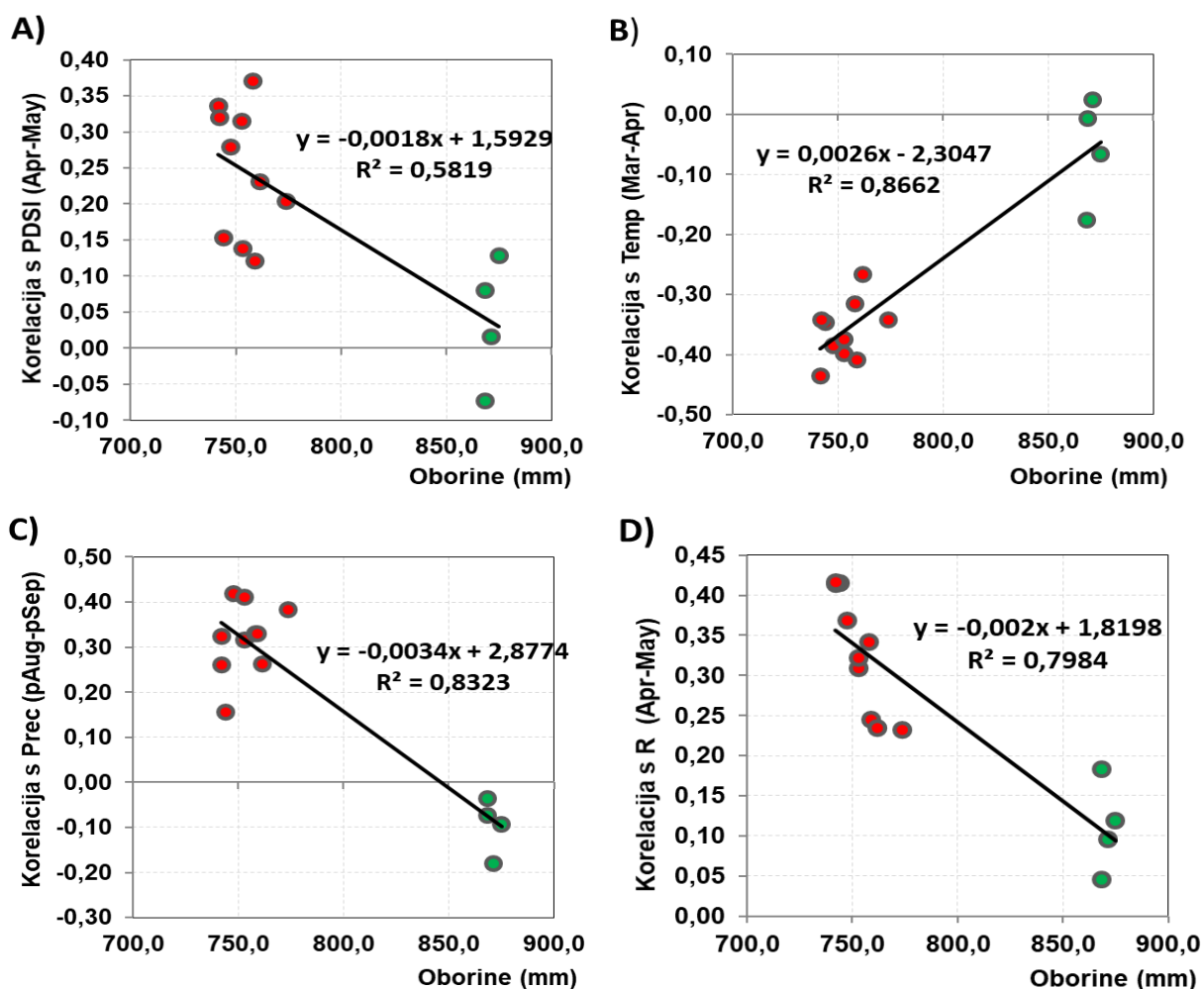
rijeke (A) te se također smanjuje povećanjem razlike u nadmorskoj visini između istraživanog lokaliteta i prosječnog vodostaja rijeke. Ove zakonitosti vrijede za lokalitete poljskog jasena u srednjoj Posavini (Lonjsko polje), a uvjetovane su makroreljefom i poplavama rijeke Save.



**Slika 49.** Odnos sadržaja gline u tlu i udaljenosti lokaliteta od rijeke (A) te razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (B)

### 5.5.2. Korelacija između makroklimatskih čimbenika i klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka

Kao što je već navedeno u dosadašnjim rezultatima klimatska osjetljivost hrastova razlikuje se s obzirom na geografsku pripadnost. Tako jasno razdvajamo dvije grupe hrastova, zapadnu koja ne pokazuje nikakvu značajnu klimatsku osjetljivost te istočnu (Spačva) u kojoj postoji značajna osjetljivost. Kako bi dodatno naglasili ovu zakonitost stavljene su u odnos klimatske i hidrološke korelacije hrastovih kronologija iz oba istraživana područja sa ukupnom godišnjom količinom oborina za svaki pojedini lokalitet (Slika 50). Vidljivo je kako se od zapada prema istoku klimatska osjetljivost povećava.



**Slika 50.** Odnos količine oborina i korelacije s indeksom suše za razdoblje travanj-svibanj (A), temperaturom za razdoblje ožujak-travanj (B), oborinama za razdoblje kolovoz rujan prethodne godine (C) te vodostajem za razdoblje travanj-svibanj (D). Jasna je diferencijacija između lokaliteta sa istoka (crveno) i zapada (zeleno)

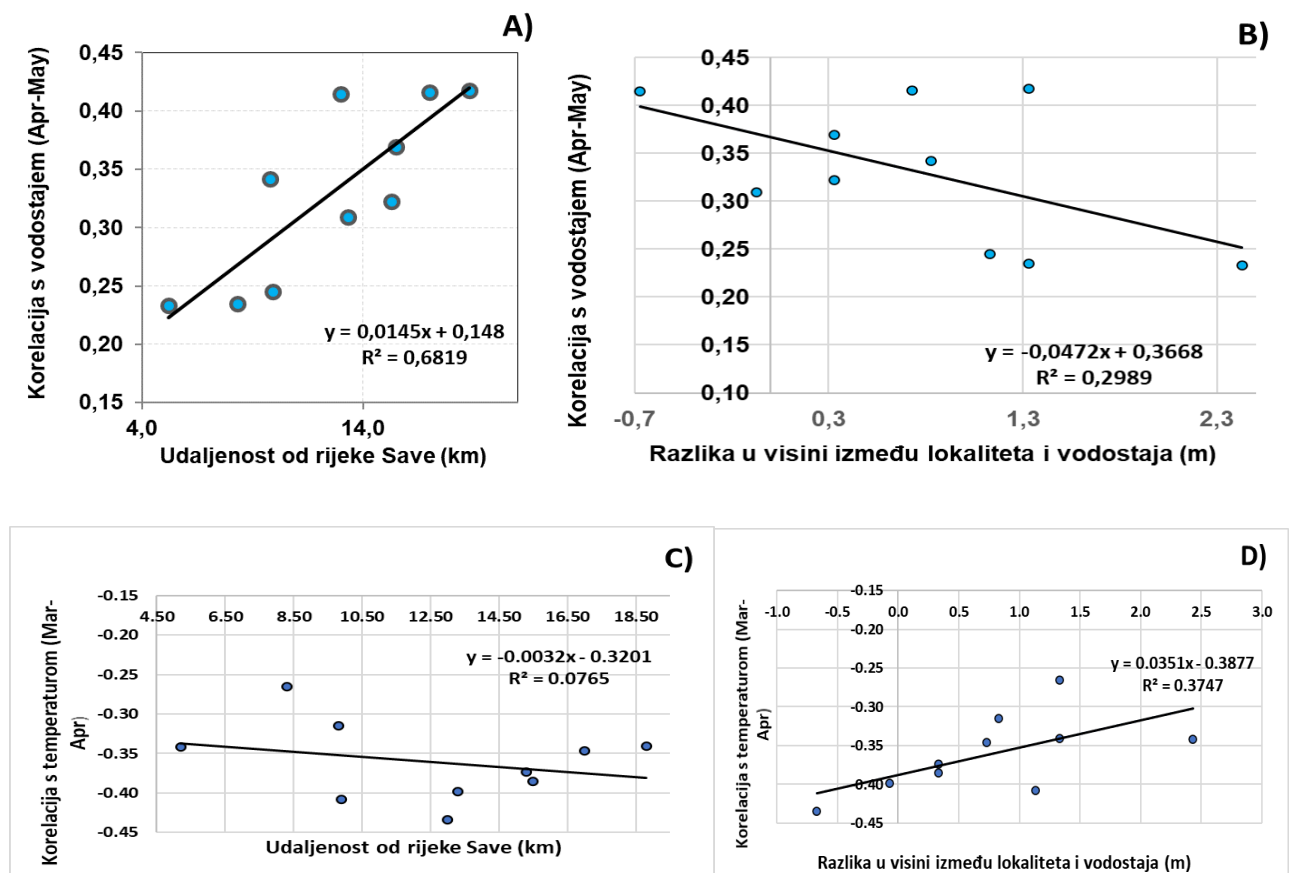
### 5.5.3. Korelacija između mikroreljefnih čimbenika i klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka

Kao što je navedeno srednja i donja Posavina pokazuju razlike u klimatskoj osjetljivosti. Pošto u srednjoj Posavini ne postoje statistički značajne korelacije s klimom i vodostajem analiza na razini mikroreljefa za hrastove kronologije napravljena je samo za istočni dio (donja Posavina). Uspoređujući s prijašnjom analizom utjecaja mikroreljefnih čimbenika na osjetljivost poljskog jasena na zapadu drugačija zakonitost pokazala se u donjoj Posavini gdje je šumsko područje (nekadašnje poplavno područje rijeke Save) puno veće, a mikroreljef manje izražen. Prema



rezultatima ondje se povećanjem udaljenosti od rijeke sadržaj gline ne mijenja značajno niti prema nekakvom pravilu stoga nema utjecaja niti u odnosu s klimatskim korelacijama. Značajnija pravilnost dobiva se ako se u usporedbu stave udaljenost od rijeke te razlika u visini lokaliteta i vodostaja. Te odnose prikazuje

Slika 51., a za usporedbu su korištene vrijednosti korelacija s prosječnim vodostajem za razdoblje travanj-svibanj te s temperaturom za razdoblje ožujak-travanj koji su se pokazali jedinim značajnim čimbenicima u ovakvoj analizi.

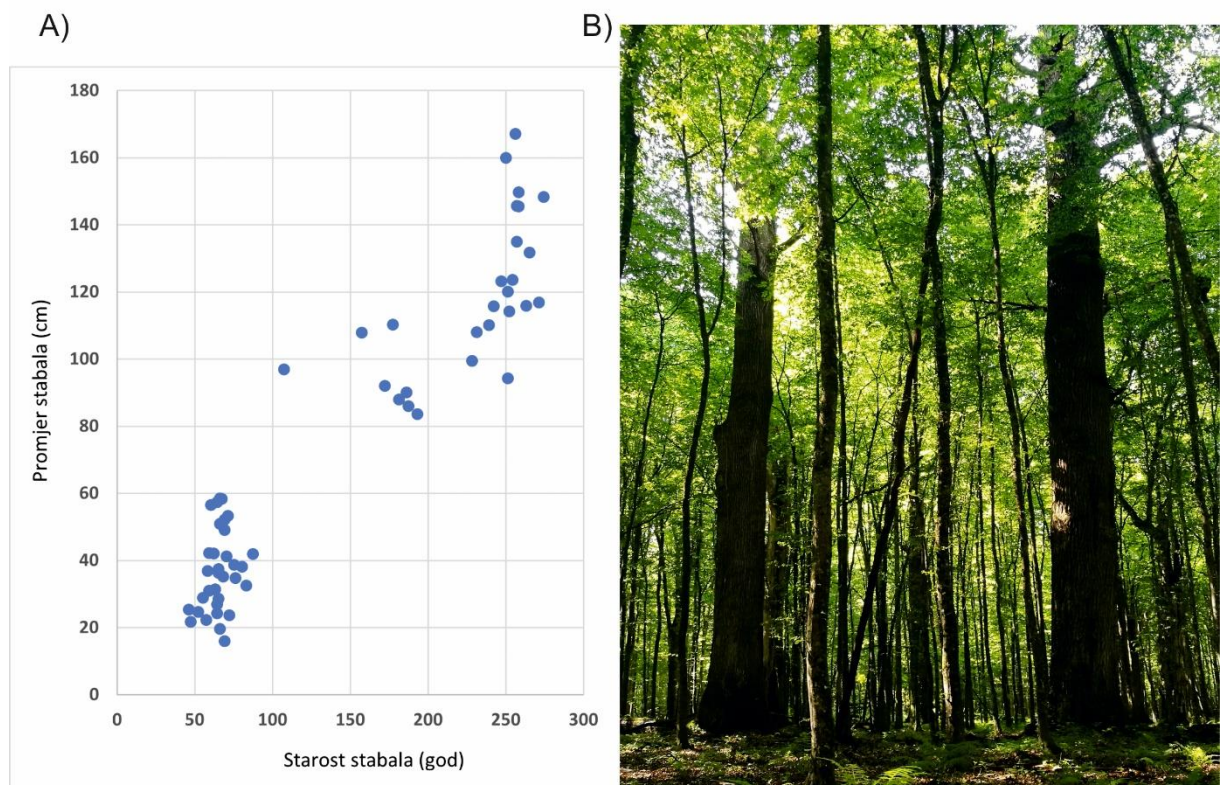


**Slika 51.** Odnos korelacija s vodostajem za razdoblje travanj-svibanj i udaljenosti lokaliteta od rijeke (A) te razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (B). Odnos korelacije s temperaturom za razdoblje ožujak-travanj i udaljenosti lokaliteta od rijeke (C) te razlike u visini između lokaliteta i vodostaja (D)

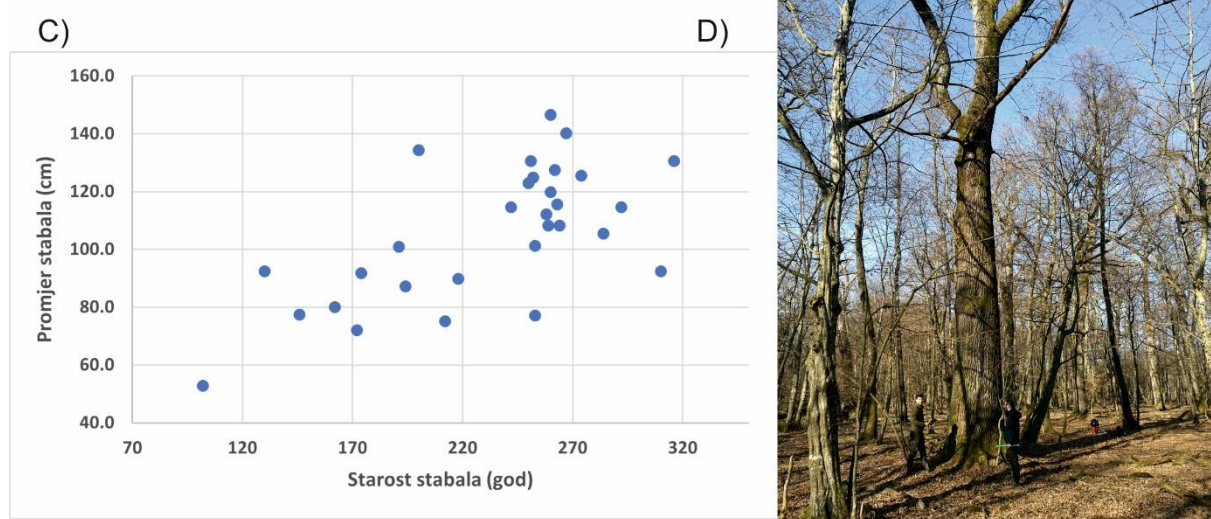
## 5.6. Rezultati istraživanja prašumskih sastojina

Dendrokronološkim metodama dobivena je dobna struktura prašumskih sastojina hrasta lužnjaka te su napravljene analize prirasta u svrhu otkrivanja ekstremnih događaja koji, kao pokretači dinamike šuma, utječu na dobnu strukturu, tj. izmjenu generacija stabala.

Prašnik



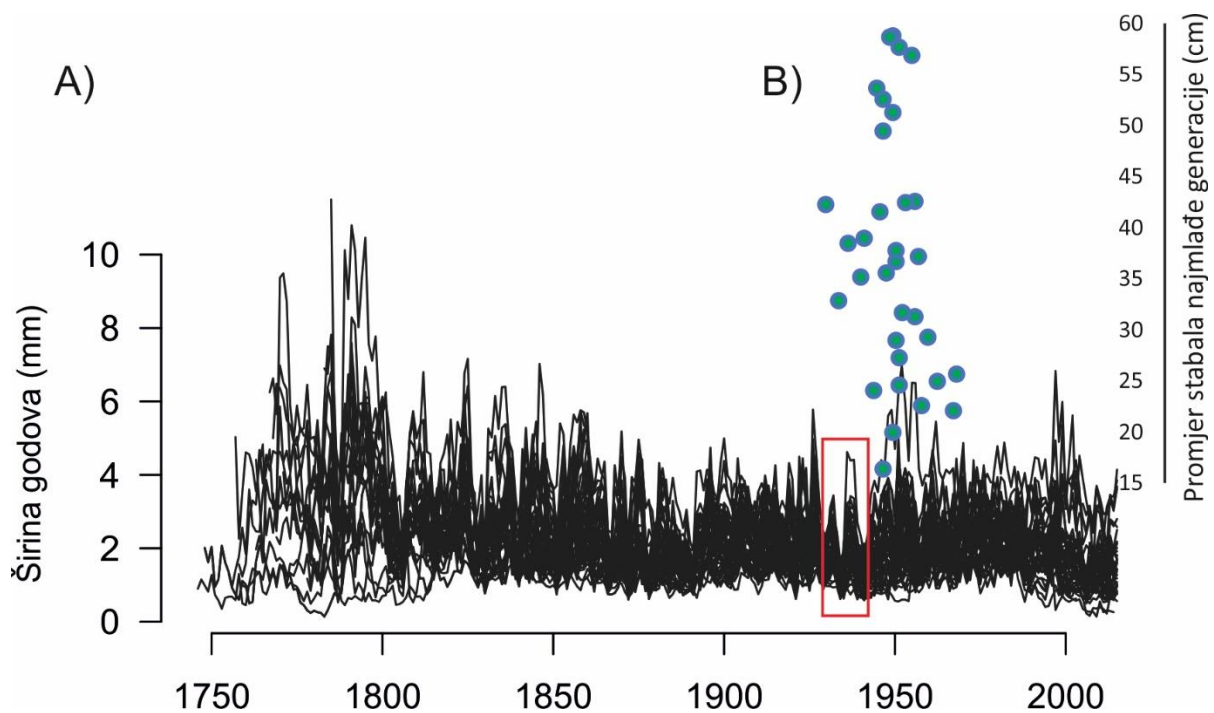
Stupnički lug



**Slika 52.** Dobna struktura istraživanih prašumskih sastojina i izgled sastojine Prašnik (A i B) te Stupnički lug (C i D)

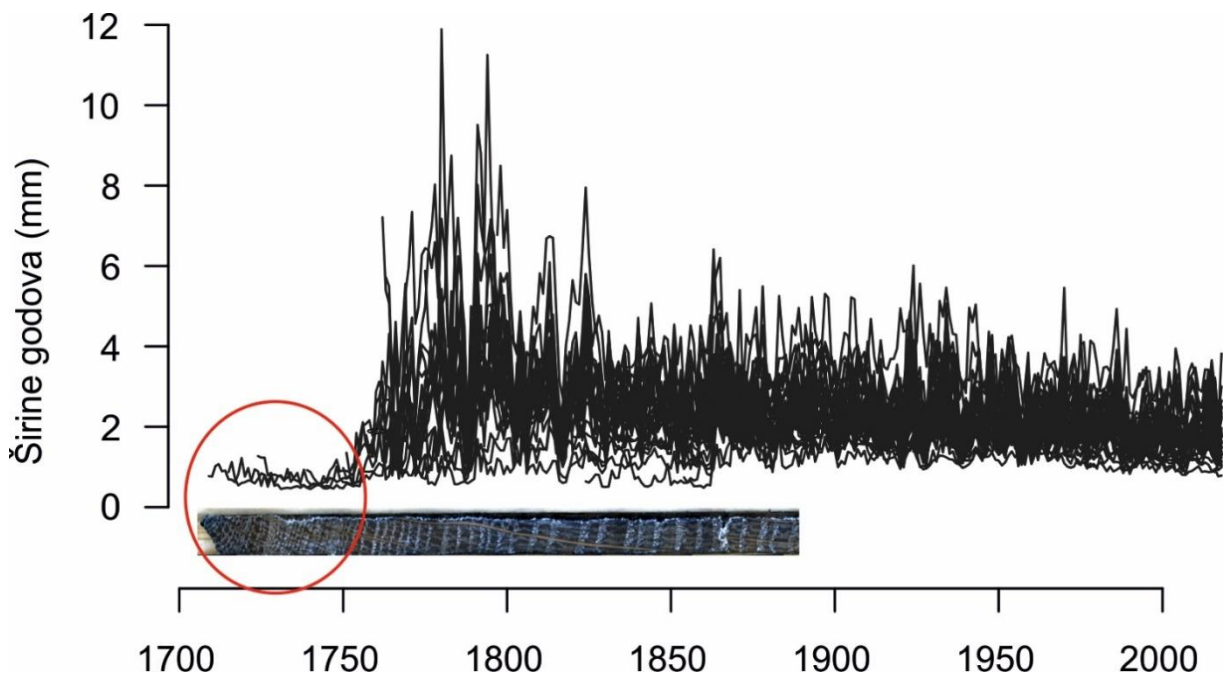
U prašumi Prašnik utvrđene su tri generacije stabala. Najbrojnija su stara stabla koja su pri kraju svoga životnog vijeka, s vidljivim znakovima propadanja i značajnim stadijem truleži. Iz tog razloga bilo je vrlo teško, a na većini stabala nemoguće, odrediti točnu starost jer najčešće uzorci nisu dosegali centar debla. Stoga je uzorkovan veliki broj stabala (više od 200), a starost je otkrivena na ukupno 63 stabla.

Najstarija generacija ima raspon starosti od 228 do 274 godine, a iako je u stvarnosti najbrojnija utvrđena je na samo 21 uzorku zbog lošije kvalitete uzoraka. Druga generacija je raspona starosti od 157 do 193 godine (8 uzoraka) i značajno je boljeg vitaliteta od prethodne, ali manje brojnosti. Treća generacija (u stvarnosti druga po broju stabala) je po brojnosti kvalitetnih uzoraka najveća (33), a raspon starosti kreće se od 46 do 87 godina. Postanak treće (najmlađe) generacije može se prema tome odrediti na otprilike 70 godina prije današnje godine (kada se uračuna i vrijeme sakupljanja uzoraka 2015. – 2016.). Prema tome dobivamo da se ta generacija pojavila oko 1950. godine kada su zabilježene najveće suše kako u Europi, tako i u našim krajevima (Slika 53. i Slika 2. Rekonstrukcija ljetnih suša za područje kontinentalne Hrvatske).



**Slika 53.** Serije širina godova i razdoblje smanjenog prirasta (crveno) (A) i treća generacija stabala razmještena prema starosti i prsnom promjeru (B).

U rezervatu šumske vegetacije Stupnički lug ne pokazuju se jasno definirane skupine stabala po dobi, osim one najbrojnije, u rasponu starosti od 242 do 284 godine koja bi prema tome određivala postanak ove sastojine. Ostala stabla nastala su sporadično kako se otvarao sklop uslijed određenih poremećaja. Neka od stabala na ovom lokalitetu dosežu starost i do 316 godina što je najveća dosad zabilježena starost stabala hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Specifičnost rasta ovih najstarijih stabala je što imaju vrlo mali prirast na početku života što dokazuje da su neka stabla nastala i preživljavala 40-ak godina pod zastorom krošanja prije nego su im se stvorili uvjeti za normalan rast (Slika 54). Ostala stabla pokazuju uobičajeni način rasta sa velikim početnim prirastom karakterističnim za juvenilno drvo.

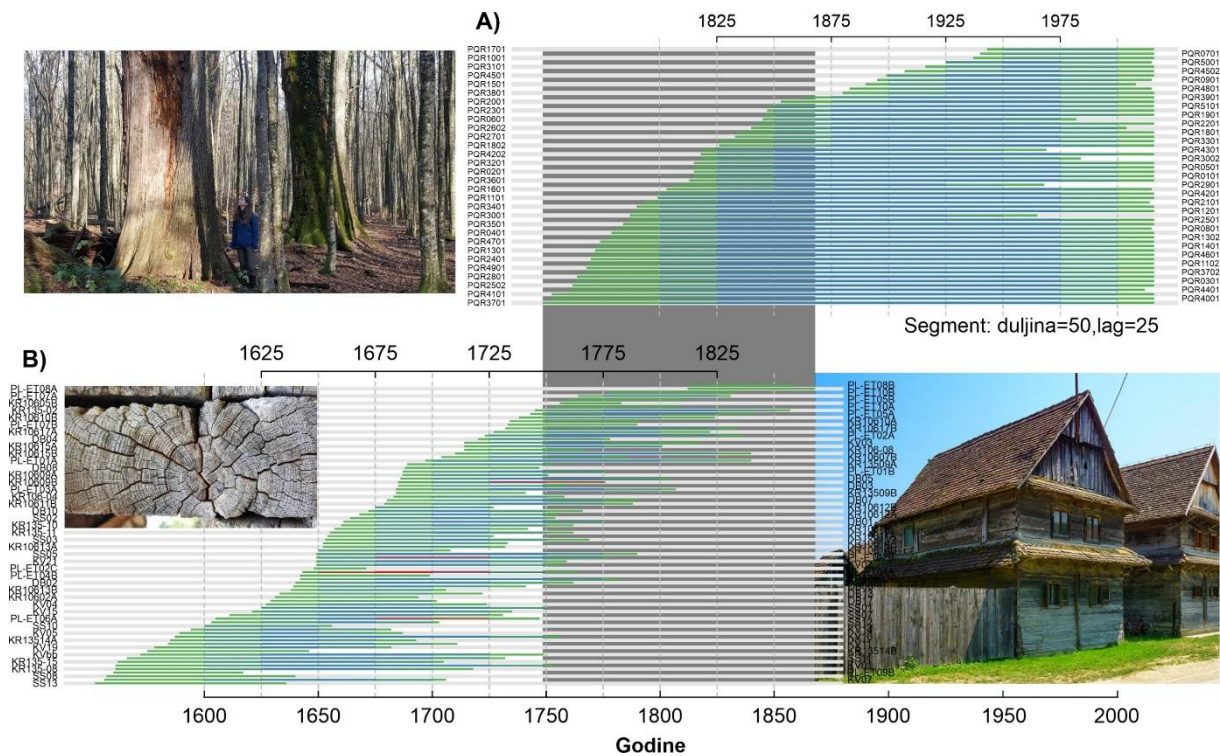


**Slika 54.** Serije širina godova i specifičnost rasta najstarijih stabala hrasta lužnjaka iz rezervata Stupnički lug.

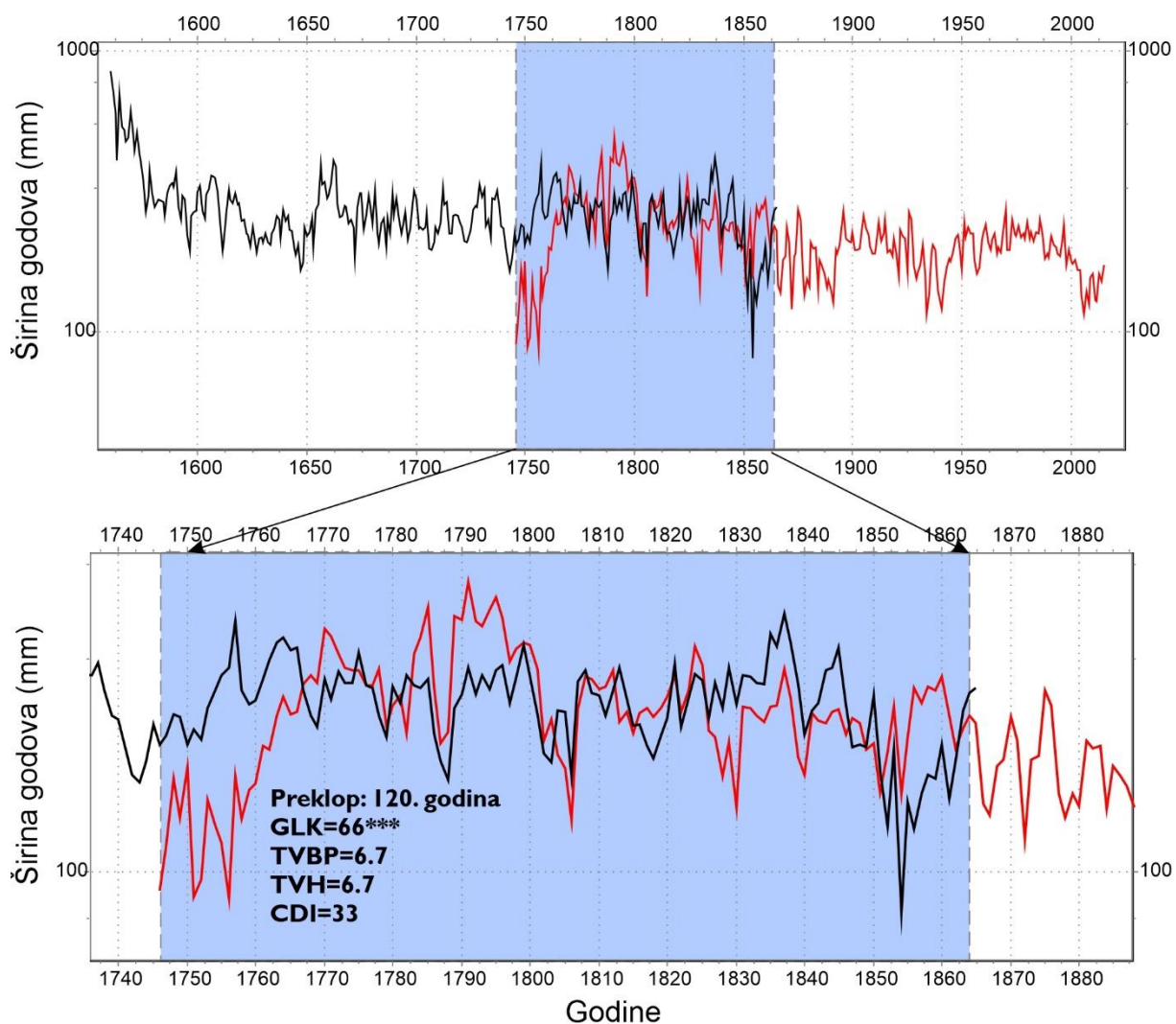


## 5.7. Rezultati analize arheološkog drveta

Datiranje arheoloških uzoraka je napravljeno koristeći relativno duge kronologije živih stabala i mrtvog drva iz sekundarne prašume Prašnik koja se nalazi u blizini. Arheološko drvo se vrlo dobro preklapa s kronologijama hrastova sa područja Prašnika s kojima je i napravljeno datiranje. Period preklapanja iznosi 120 godina. Uspješno je datirano 62 izvrtka odnosno oko 75 % od uzorkovanih serija.



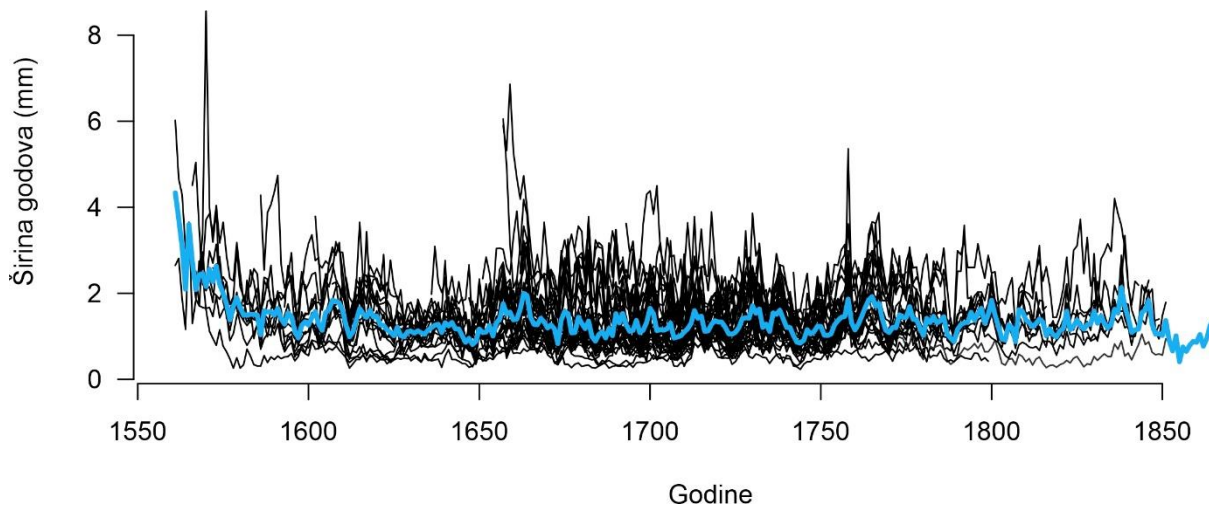
**Slika 55.** Duljina individualnih serija širina godova (uzoraka) s recentnih stabala hrasta lužnjaka A) te iz arheološkog drva prikupljenog sa starih posavskih kuća B). Plavom bojom je označena dobra podudarnost, zelenom zadovoljavajuća, a crvenom loša podudarnost uzoraka.



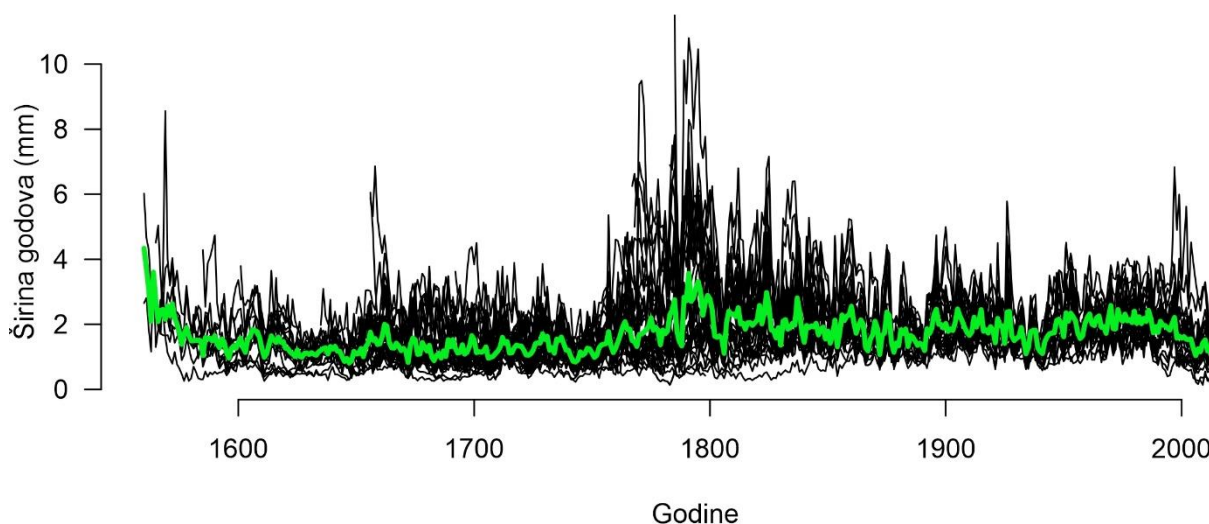
**Slika 56.** Usporedba prosječne širine godova svih arheoloških uzoraka hrasta (crnom bojom) i prosječne širine godova recentnih hrastova (crvenom bojom)-logaritamska skala. Područje označeno plavom bojom predstavlja preklapanje arheoloških sa recentnim uzorcima.

Uspješnost preklapanja podataka o širini godova arheološkog drveta i hrastova iz Prašnika pokazuje Slika 56. U prikazu je korištena logaritamska skala kako bi se naglasila dinamika rasta koja se vizualno i statistički pokazala vrlo ujednačena. Najbolji statistički pokazatelj je GLK (njem. *Gleichläufigkeit*) koeficijent koji iznosi 0,66.

Raspon kronologije stare drvene građe iznosi od 1561. do 1877. godine. Slika 57. pokazuje skup svih serija uzorkovane drvene građe. Iznosi širine godova kreću se u rasponu od 0,2 do 8,3 mm ako se uračuna i juvenilno drvo sa pojedinih uzoraka koji su dosežali do centra.



**Slika 57.** Prikaz svih TRW serija uzoraka drvene građe u rasponu od 1561. do 1877. godine (crne linije) te prosjek serija (plava linija).



**Slika 58.** Prikaz svih TRW serija drvene građe i TRW serija recentnih stabala hrasta iz prašume Prašnik u rasponu od 1561. do 2018. (crne linije) prosjek vrijednosti serija (zelena linija).

Prosječna širina godova uzoraka stare drvene građe manja je od prosječne širine godova današnjih hrastova (Slika 58.) što se pokazalo kao vrlo bitan rezultat. Naročito ako se usporede dva razdoblja u kojima je, pretpostavljamo, većina hrastova bila starije dobi (1700. – 1750. i 1950. – 2000.). Veliki skok u vrijednosti širina godova oko 1800. godine rezultat je juvenilnog drveta na uzorcima hrastova iz Prašnika te se ne može povezati s nekim klimatskim ili drugim stanišnim čimbenikom. Sličan, ali manje izražen skok u prirastu vidljiv je kod arheološkog drveta oko godine 1660. te se može okarakterizirati na isti način kao i prethodni.



## 6. RASPRAVA

### 6.1. Analiza klimatske osjetljivosti hrasta lužnjaka na razini europskog kontinenta

Prema klimatskoj osjetljivosti hrast lužnjak u Europi može se svrstati u tri grupe. Prva grupa su hrastovi koji nisu jasno definirani što se tiče klimatskog signala, nemaju izražene korelacije s klimom, a pripadaju im britanske i francuske populacije na zapadu te njemačke u srednjoj Europi.

Druga grupa su hrastovi s područja jugoistočne Europe. Ovi hrastovi su izraženijeg klimatskog signala, ali različitog od ostalih populacija. Pokazuju pozitivne korelacije s oborinama, a negativne s temperaturom što potvrđuje da za rast imaju ograničavajuće uvjete u vidu suše i nedostatka vlage (Čufar i sur., 2014; Goršić, 2013). Time se razlikuje od ostalih grupa hrastova (Tablica 7. i Tablica 8.).

Treća grupa na razini Europe, koja ima najizraženiji signal, je baltička grupa. Ovi hrastovi imaju izraženi pozitivan signal s temperaturom čime se pokazuje njihov limitirajući faktor – niska temperatura. Brojna istraživanja u posljednjih dva desetljeća na području Finske, Latvije, Estonije i Litve pokazuju pozitivne korelacije s temperaturom u proljeće (Sohar i sur., 2014; Helama i sur., 2009; Drobyshev i sur., 2008).

Općenito, klimatski signal hrasta u Europi je vrlo slab, često na granici značajnosti što je vidljivo u nekim istraživanjima u srednjoj Europi (Tumajer i Treml, 2016; Okonski, 2017). To pokazuje kako je hrast lužnjak kao i ostale vrste iz roda *Quercus* prilagodljiv na promjene uvjeta (Abrams, 1990; Breda i sur., 1995; Gillner i sur., 2013) te da suša kao jedna od posljedica klimatskih promjena ne bi trebala značajno utjecati na opstanak ove vrste.

### 6.2. Statistička analiza dendrokronoloških istraživanja na razini Posavine

Najbitniji pokazatelji statističke analize uzoraka za dendrokronologiju bili su rezultati standardiziranih serija širina godova za razdoblje 1950. – 2007., i to redom prosječna osjetljivost (MS), autokorelacija prvog reda (AC) i prosječna međuserijska korelacija (Rbt).

Prema prosječnoj osjetljivosti pokazala se razlika prvenstveno između vrsta drveća, hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Hrast je pokazao manju osjetljivost, odnosno manju varijabilnost širine godova, u rasponu vrijednosti 0,21 do 0,27. To je uobičajeno za kronologije ove vrste

drveća pa su tako vrijednosti u rasponu od 0,18 do 0,26 zabilježene u Češkoj (Tumajer i Treml, 2016), Poljskoj (Okonski, 2017), Španjolskoj (Rozas, 2005) ili pak Finskoj (Sohar i sur., 2014).

S druge strane kronologije poljskog jasena pokazuju veću varijabilnost širine goda jer imaju veće vrijednosti (MS), ali i veći raspon od 0,27 do 0,40. Veći raspon pokazuje također velike razlike između lokaliteta uvjetovane karakteristikama mikroreljefa. Ove vrijednosti mogu se usporediti sa sličnim istraživanjima na poljskom jasenu (MS=0,36 Mikac i sur., 2018) i običnom jasenu (MS=0,32 Okonski, 2017) te stoga pokazuju jako dobar potencijal za istraživanje klimatskog signala. Inače, prema Fritts-u (1976) raspon prosječne osjetljivosti od 0,1 do 0,4 smatra se pogodnim za kvalitetno usklađivanje serija (*eng. crossdate*), što je preduvjet za daljnje analize s klimom. Stoga su ovakvi rezultati dokaz veće osjetljivosti poljskog jasena na klimatske i hidrološke čimbenike te potencijalno veće ugroženosti u uvjetima promjene klime, naročito u vidu povećanja učestalosti sušnih perioda.

Sljedeći bitan pokazatelj rezultata statističke analize standardiziranih serija je vrijednost autokorelacije prvog reda. Radi se zapravo o utjecaju prethodne godine na rast stabala u tekućoj godini. U tome pogledu veće vrijednosti pokazali su hrastovi za koje je poznato da u prethodnoj godini sakupljaju rezerve za sljedeće vegetacijsko razdoblje (Roibu i sur., 2020). Nasuprot hrastu, jasen funkcionira drugačije i prethodna godina mu uopće nije bitna za rast u tekućoj, pa tako ni iznos autokorelacije nije velik (prosječna vrijednost 0,34) dok je kod hrastova 0,44.

Rbt ili prosječna međuserijska korelacija (između stabala) pokazuje koliko su stabla slična u rastu. Te vrijednosti opet su veće kod jasena pa se zaključuje kako sličnije rastu ona stabla koja su osjetljivija na klimu, tj. ona koja na raspolaganju imaju ograničene resurse uvjetovane određenim stanišnim čimbenicima. U slučaju jasena vidljiva je također i razlika između lokaliteta uvjetovana mikroreljefom pa se tako vrijednost Rbt-a smanjuje od bare prema gredi dok kod hrasta taj odnos nije utvrđen.

U ovom slučaju poljski jasen se pokazao kao vrsta koja je vrlo osjetljiva na stanišne čimbenike, od kojih klimatski i hidrološki uvjeti imaju veliki značaj. Stoga je već pomoću ovih statističkih pokazatelja moguće predvidjeti kakav je potencijal indeksnih kronologija za korelacije s klimom i koje vrste drveća su pogodnije za takvu vrstu istraživanja.

### 6.3. Klimatska osjetljivost hrasta lužnjaka i poljskog jasena na području Posavine

Kao što je već navedeno iz osnovnih statističkih pokazatelja o indeksnim kronologijama moguće je pretpostaviti kakva je osjetljivost pojedine vrste drveća na stanišne čimbenike, pa tako i klimu. No, detaljnije spoznaje o utjecaju klimatskih i hidroloških čimbenika mogu se dobiti pomoću korelacija između indeksnih kronologija i određenih parametara klime. Stoga su s indeksnim vrijednostima godišnjih prirasta stabala uspoređivane mjesečne vrijednosti klimatskih i hidroloških čimbenika ne bi li se pokazao onaj mjesec ili mjeseci najvažniji za rast stabala.

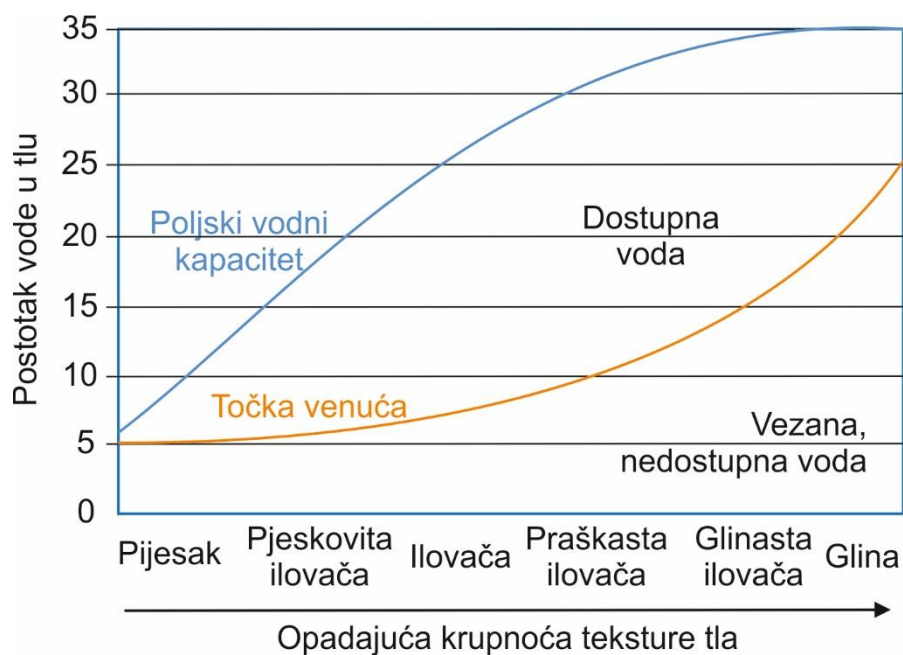
Pojedinačne mjesečne korelacije pokazale su tako, kao prvo, već spomenute razlike u istraživanim vrstama pa je sada još jasnije da hrast u ljetnim mjesecima ne pokazuje značajnu pozitivnu ovisnost s indeksom suše dok je kod jasena ona vrlo izražena od svibnja do rujna. Treba napomenuti da se vrijednosti indeksa suše (PDSI) vrednuju od -4,0 (vrlo sušno) do +4,0 (vrlo vlažno) te je stoga korelacija s ovim čimbenikom najčešće pozitivna kao npr. s oborinama. Isto tako za jasen je vrlo bitan vodostaj rijeke u svibnju i lipnju dok za hrast ne predstavlja značajnu ovisnost. Vrlo slične rezultate ovima dobili su Okonski (2017) i Roibu i sur. (2020) istražujući hrast lužnjak i obični jasen u nizinama velikih europskih rijeka.

Ako se usporede klimatske korelacije (pojedinačne i mjesečne) jasenovih kronologija primjećuju se značajne razlike istovjetne s varijabilnošću *MS* i *Rbt* vrijednosti. Dakle, veće korelacije s klimatskim čimbenicima dobivene su s kronologijama iz nižih, barskih lokaliteta koje ujedno daju i veće *MS* i *Rbt* vrijednosti. Tu se stoga vidi izraženi utjecaj mikro-, a u ovom slučaju i nanoreljefa u barskim staništima Posavine (Anić, 2001). Razlike u klimatskoj osjetljivosti poljskog jasena koje su uvrđene u ovome istraživanju pokazuju postojanje četiri grupe jasenovih stabala kako je navedeno u rezultatima (Slika 40. i Slika 42.). Od četiri grupe dvije se nalaze u mikroreljefnom tipu bare, a njihova različita klimatska osjetljivost može se objasniti postojanjem različitih faza razvoja u silvidinamici sastojina poljskog jasena (Anić, 2001), u ovom slučaju optimalne i terminalne.

Utjecaj mikroreljefa na klimatsku osjetljivost poljskog jasena naročito se dobro objašnjava sadržajem gline u tlu. Zakonitost dobivena usporedbom klimatskih korelacija i sadržaja gline vrlo je velika te se, bez iznimke, povećanjem sadržaja gline povećava i osjetljivost na temperaturu, sušu, oborine i vodostaj rijeke (Slika 47). Iako slična istraživanja nisu rađena dosada u Europi, ovi rezultati mogli bi se potkrijepiti tvrdnjama dobivenim istraživanjem

običnog jasena. Naime, prema Weber i Bahr (2000a) glinovita tla siromašna su osnovnim kationima te se pojavljuje toksičnost aluminija koja doprinosi neoptimalnim koncentracijama kalcija, magnezija i fosfora. Nadalje, prema Rubinić i Husnjak (2016) slabija opskrbljenost fosforom kod glejnih tala je vjerojatno posljedica nižeg sadržaja humusa u slučaju većeg sadržaja gline.

Poznato je kako glina ima veliki retencijski kapacitet tla za vodu pa biljke u glinovitom tlu nemaju na raspolaganju značajnu količinu vlage, naročito u ljetnim mjesecima. Prema Prpiću (1989) manjak fiziološki aktivne vode u tlima Posavine redovita je pojava koja je od presudnog utjecaja na stanje šumskih sastojina ovoga područja. Najveći je manjak u vrućim ljetnim mjesecima - srpnju i kolovožu. Slika 59. pokazuje kako je u glinovitom tlu potrebno jako puno vode kako bi ona bila biljkama pristupačna, dok u onom ekstremno glinovitom postoji mali raspon između pristupačne vode i poljskog kapaciteta tla.



**Slika 59.** Ovisnost pristupačne vode o teksturnim karakteristikama tla (dorađeno iz Minnesota Crop News 2019)

Pozitivna ovisnost rasta poljskog jasena o oborinama pokazala se najvećom u mjesecu srpnju (pojedinačne korelacije) te za razdoblje od svibnja do kolovoza (sezonske korelacije) što je u skladu s istraživanjima poljskog jasena u južnoj i jugoistočnoj Europi (Mikac i sur., 2018; Muñoz i sur., 2017; Marques, 2016) te običnog jasena u sjevernoj i srednjoj Europi (Pušpure i sur., 2017; Okonski, 2017).

Ako se promatraju iznosi mjesečnih korelacija najvažniji mjesec za rast poljskog jasena je svibanj u kojem je najveća ovisnost debljinskog prirasta o vrijednostima oborina i vodostaja rijeke jer tada je rast stabala najintenzivniji, a transpiracija najveća. Ova ovisnost manja je u mjesecu lipnju, a opet se povećava u srpnju i kolovozu kada je i najveća evapotranspiracija. Tada se javlja najveći deficit biljci pristupačne vode koji je ovdje još dodatno izražen zbog karakterističnog tla sa velikim udjelom gline. Tla istraživanog područja mogu sadržavati i do 60 % gline u zoni 5 – 25 cm (Pernar i sur., 2007) što je profil tla u kojem se nalazi većina aktivnog korijenja poljskog jasena (Prpić, 1974). Iz ovih razloga poljski jasen je prilagođen na maksimalno iskorištenje dostupne vode tijekom vegetacijskog razdoblja te iako raste u poplavnom području za njegov rast se kao limitirajući čimbenik pokazuje ljetna suša.

S druge strane, kod hrasta nisu utvrđene točno određene pravilnosti osim one koja pokazuje porast vrijednosti klimatskih korelacija od zapada prema istoku, niz gradijent oborina (Slika 50.). Tako se u svim lipovljanskim kronologijama pokazuje vrlo slab ili slab klimatski signal koji pretežno nije statistički značajan, dok se u spačvanskim kronologijama vrijednosti korelacija redovito penju iznad praga značajnosti (max.  $R = 0,44$ ) što je u skladu s istraživanjima Goršića (2013). Iz toga se može zaključiti kako razlika u količini oborina koja iznosi prosječno 200 mm godišnje između mjernih postaja Sisak i Gradište (razdoblje 1980. – 2005.; prema DHMZ) uvjetuje klimatsku osjetljivost hrasta lužnjaka u Posavini.

Općenito govoreći, na hrastove koji su pokazali značajne korelacije s klimom pozitivno utječu oborine, vodostaj i indeks suše. Oborine, naročito u ljetnim mjesecima, pokazale su značajne korelacije što je u skladu s nekim ranijim istraživanjima na području Posavine (Čufar i sur., 2014; Goršić, 2013).

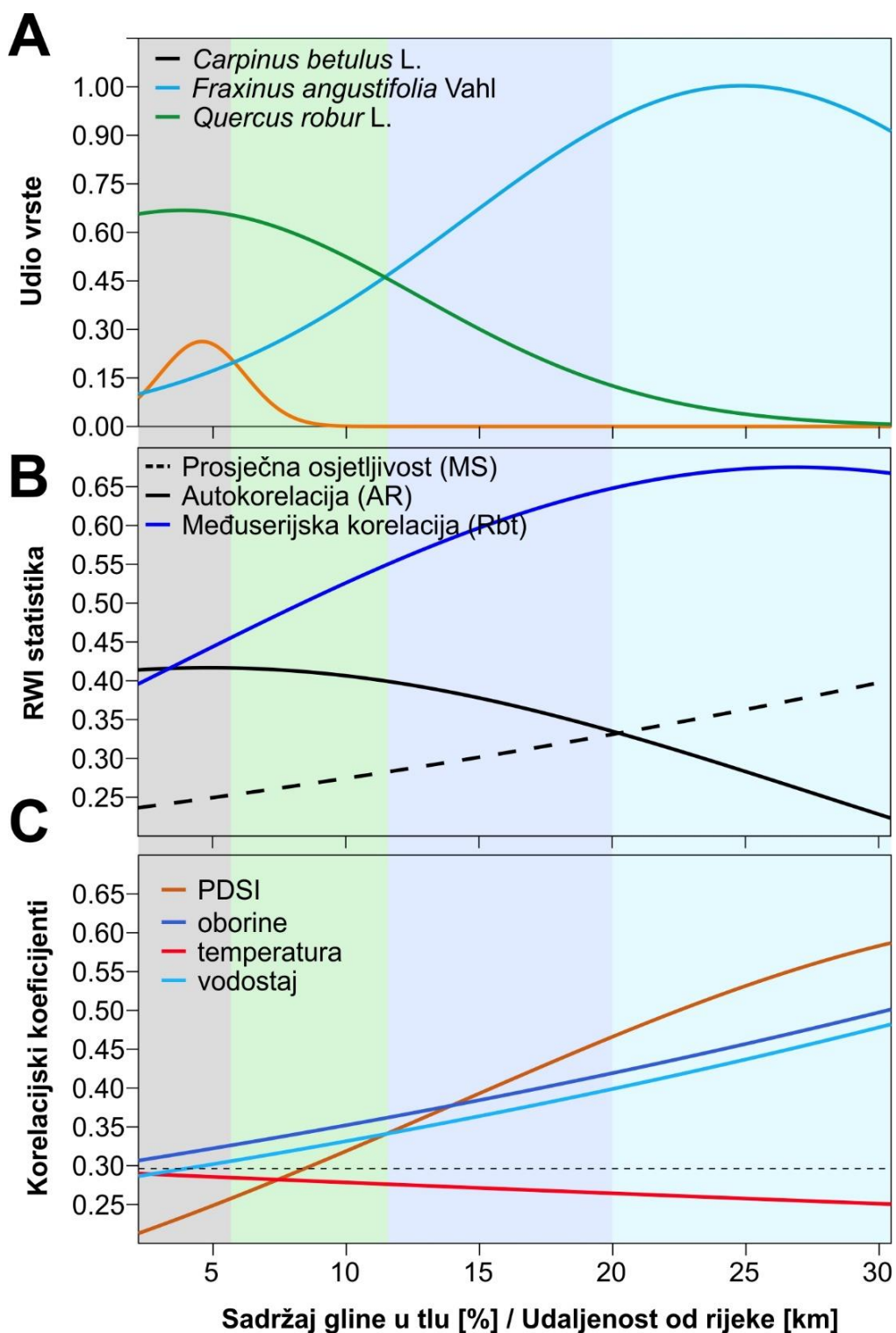
Nedostatak oborina nadomješta se stoga iz podzemne vode što je također vidljivo i u korelacijama s vodostajem rijeke Save (Slika 41. i Slika 43.). Navedenome u prilog idu istraživanja hrasta lužnjaka na području Spačve u kojima je dokazano da je za optimalan rast

hrastu uz oborine potrebno i do 400 mm dodatne vode koju nadomješta iz podzemnih izvora (Klepac, 2000; Mayer, 1996a).

Slika 60. prikazuje na jednom mjestu odnose statističkih značajki i korelacijskih koeficijenata za vrste drveća koje tvore nizinske šume Posavine. Tako se na jednom mjestu vidi promjena udjela vrsta drveća nizinskih poplavnih šuma uvjetovana sadržajem gline u tlu i udaljenošću od rijeke. Spomenutu promjenu udjela vrsta prate promjene prosječne osjetljivosti, autokorelacije i međuserijske korelacije te promjene korelacijskih koeficijenata.

Može se tvrditi da je ova zakonitost koju prikazuje Slika 60. zapravo način na koji funkcioniraju nizinske šume u Posavini. Udio hrasta lužnjaka (a naročito običnog graba) u ovim šumama opada s povećanjem odnosa između sadržaja gline i udaljenosti od rijeke. Pri tome se smanjuje i autokorelacija uzorkovanih stabala (hrasta i jasena), dok prosječna osjetljivost i međuserijska korelacija rastu. Također istovremeno povećavaju se korelacije s klimatskim čimbenicima i vodostajem pa su tako najveće u mikroreljefno najnižim, glinovitim depresijama.

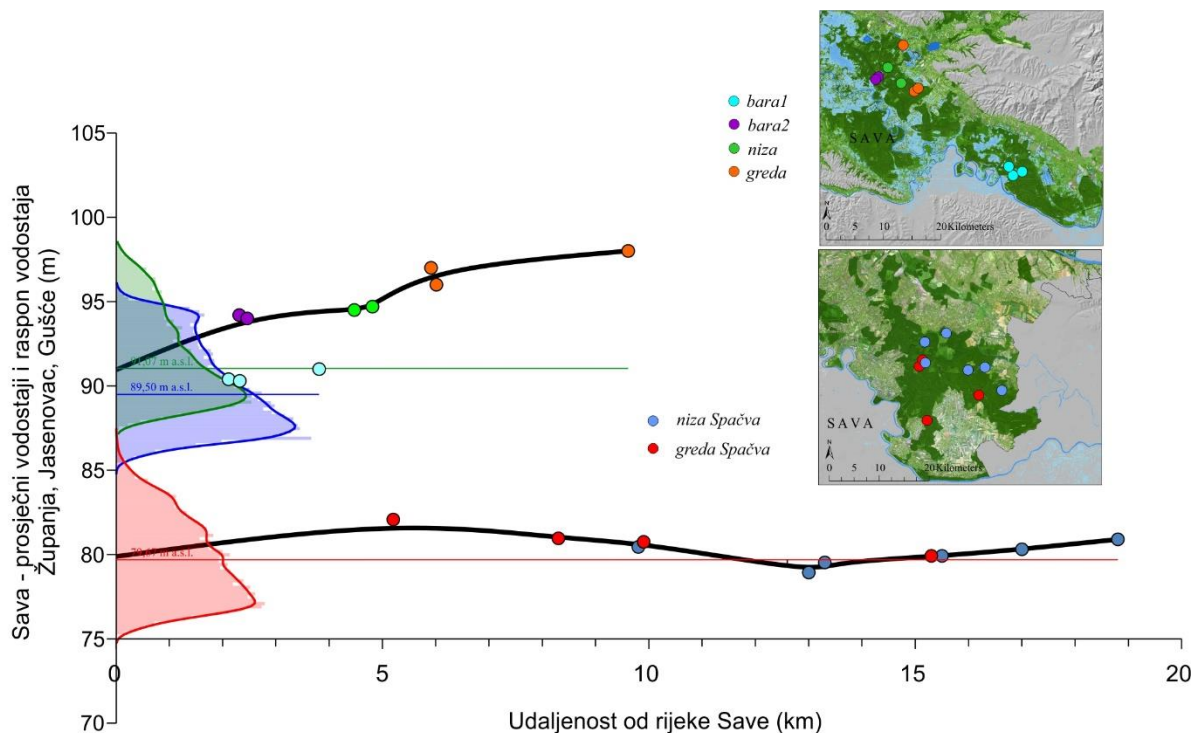
Ova zakonitost naročito je prisutna u lipovljanskim šumama te je prema tim rezultatima i izrađena. Nešto manje je izražena na području Spačve što je već spomenuto u rezultatima.



**Slika 60.** Odnosi statističkih značajki i korelacijskih koeficijenata za vrste drveća koje tvore nizinske šume Posavine

Uzrok tome vidimo u svojevrsnim osobinama terena ova dva poplavna područja koje prikazuje Slika 61.





**Slika 61.** Razlike u osobitostima mezoreljefa srednje i donje Posavine

Spačvanski bazen, prema Dekaniću (2014), s obzirom na makroreljefna obilježja šireg prostora nalazi se u udubini unutar koje se mikroreljefno izmjenjuju mikrouzvišenja i mikroudubljenja, dok se na jugu uz rijeku Savu nalazi uzvišeni dio terena. Ova pojava uzvišenja neposredno uz riječne obale karakteristična je s geomorfološkoga aspekta u riječnim dolinama kao posljedica nanošenja grubljeg materijala poplavama, dok se teren dalje u zaobalju postupno snižava (Pilaš 2006). Nadalje, teren u zaobalju postaje podložan stagnaciji poplavne vode te se ondje talože najsitnije čestice poplavnog materijala – glina. Isti proces odvija se i na području srednje Posavine no zbog drugačijih makroreljefnih uvjeta i relativno uske riječne terase izmjena mikroreljefnih tipova intenzivnija je i dinamičnija nego na spačvanskom području.

Tako Slika 61. prikazuje profile ova dva šumska područja uz rijeku Savu na kojima je vidljivo kako se ista (mikro)reljefna zakonitost ponavlja u srednjoj i donjoj Posavini. Svi elementi mikroreljefa prisutni su u oba područja s time da (1) se u donjoj Posavini prostiru na značajno većim površinama, (2) su prijelazi između pojedinih tipova duži i nisu naglašeni, (3) se poplavna voda raspodjeljuje na većem području i brže se povlači.

#### **6.4. Potencijal kronologija prašumskih sastojina i arheološkog drveta**

Prosječna širina godova uzoraka stare drvene građe manja je od prosječne širine godova današnjih prašumskih hrastova (Slika 58.) što se pokazalo kao vrlo bitan rezultat. Naročito ako se usporede dva razdoblja (1700. – 1750. i 1950. – 2000.) u kojima se, pretpostavljamo, većina hrastova podudara u starosti, odnosno starije su dobi. Iz tih rezultata može se zaključiti kako se godišnji prirast recentnih stabala hrasta povećao u odnosu na nekadašnje.

Nekoliko je mogućih razloga, a ako isključimo gospodarske zahvate kojih je u sekundarnoj prašumi Prašnik bilo vrlo malo kao prvi se među njima nameću klimatske promjene. Naime, povećanje temperature produljuje i vegetacijsku sezonu što se pozitivno odražava na prirast stabala. No isto tako povećava se i vjerojatnost za napad bolesti i kukaca, a također povećava se i mogućnost negativnog abiotskog utjecaja (npr. orkanski vjetrovi). Iz toga razloga stabla iako prirašćuju više postaju manje otporna na stresne čimbenike i time se dinamika šume ubrzava (Pretzsch i sur., 2014; Chmielewski i Rötzer, 2001).

Analize dinamike rasta prašumskih stabala hrasta lužnjaka pokazuju kako je u prošlosti (posljednjih 250 godina) bilo nekoliko značajnih razdoblja odumiranja nakon kojih su preostala stabla povećavala svoj prirast. Prema rezultatima iz prašume Prašnik samo je jedno od tih razdoblja rezultiralo pojavom nove, brojnije generacije stabala, oko 1950. godine, a ostala stabla nastajala su sporadično pod utjecajem manjih poremećaja uzrokovanih odumiranjem pojedinih stabala. Takvi rezultati u skladu s nekim istraživanjima svijetu (Chapman i McEwan 2016; Frelich 2016). Time se pokazuje kako je prirodna obnova šume vrlo dug proces koji da bi uspio mora imati ispunjene sve preduvjete, od istovremenog obilnog plodonošenja i odumiranja stabala do uspješne pojave i opstanka nove generacije stabala (ponika i pomlatka).

#### **6.5. Upotreba dobivenih rezultata u uzgajanju šuma**

Dobiveni rezultati o klimatskoj osjetljivosti nizinskih šuma Posavine pomažu u promišljanju uzgojnih zahvata kojima bi se mogla povećati njihova otpornost na ekstremne klimatske događaje. Kako su šume poljskog jasena pokazale najveću osjetljivost na sve klimatske čimbenike za očekivati je da će u budućnosti biti najviše ugrožene i najviše podložne propadanju. Kako bi se takvi scenariji izbjegli stablima poljskog jasena potrebno je omogućiti veću dostupnost hranjiva i vode, a to je jedino moguće njegom sastojine od rane mladosti. Pravovremena čišćenja i redovite prorjede potrebno je provoditi u mladim sastojinama svih

tipova šuma hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Time bi se stablima omogućio veći stajališni prostor, korijenu bi na raspolaganju bila veća količina tla, a time i vode i hranjiva. Naročito je ovo bitno kod stabala poljskog jasena u bari gdje je izrazito veliki sadržaj gline u tlu (do 75 %, Slika 35.) koja čini vodu nepristupačnom, a također smanjuje i količinu dostupnog fosfora (Rubinić i Husnjak, 2016; Weber i Bahr, 2000a). Stoga je svakoj sastojini potreban individualni pristup koji bi uvažavao njezine strukturne, edafske i mikrostanišne karakteristike.

Njegovom sastojine smanjuje se početna gustoća stabala čime se postiže pozitivan efekt na prostor rasta. Svaku sastojinu treba redovito prorjeđivati od razvojnog stadija starijeg mladika. Time se postižu temeljni ciljevi prorjede:

- odabiranje i pomaganje fenotipski najkvalitetnijim stablima u sastojini
- formiranje optimalne strukture sastojine
- njega krošanja i debala odabranih stabala
- dobivanje maksimalnog kvalitetnog prirasta
- formiranje stabilne, produktivne sastojine koja će biti sposobna za prirodno pomlađivanje.

Ovakve preporuke odnosile bi se u prvom redu na mlade sastojine u kojima je velika konkurencija i koje se nalaze u prijelomnom trenutku kada je potrebno formirati stabilnu strukturu, naročito imajući u vidu sve već rečeno. Time bi se nedvojbeno povećala njihova otpornost na klimatske ekstreme u trenutku kada su stabla još uvijek mlada i vitalna. Naime, prema istraživanju Dekanića (2014) odumiranje stabala započinje puno prije nego li se pojave prvi simptomi opadanja vitaliteta pa su tako odumirući hrastovi na području Spačve pokazali smanjenje vrijednosti širine godova čak 50 godina prije konačnog odumiranja.

## 7. ZAKLJUČCI

1. Klimatsku osjetljivost hrasta lužnjaka u Europi odlikuje heterogenost te se razlikuju tako tri grupe. Prvu grupu tvore hrastovi koji nisu jasno definirani što se tiče klimatskog signala i nemaju izražene korelacije s klimom. Toj grupi pripadaju britanske i francuske populacije na zapadu te njemačke u srednjoj Europi. Druga grupa je izraženijeg klimatskog signala, ali i različitog od ostalih jer za rast ima ograničavajuće uvjete u vidu suše i nedostatka vlage. Rasprostranjena je u jugoistočnoj Europi. Treća grupa ima najizraženiji klimatski signal. Naročito su izražene pozitivne korelacije s temperaturom što pokazuje da im je niska temperatura limitirajući čimbenik. Svojevremeno je samo baltičkom području Europe.
2. Na razini cijele Europe (makro-razina) hrastovi pozitivno reagiraju na oborine u lipnju i srpnju, dok samo u toplijim područjima (jugoistočna Europa) pokazuju negativne korelacije s temperaturom. Općenito, klimatski signal hrasta u Europi je vrlo slab, često na granici značajnosti.
3. Na mezo-razini (Posavina) utvrđene su dvije jasno odvojene populacije hrasta lužnjaka s obzirom na klimatsku osjetljivost. Prva grupa su lipovljanski hrastovi (zapad) koji nemaju značajne korelacije niti s jednim klimatskim čimbenikom. Druga grupa su spačvanski hrastovi (istok) koji pokazuju pozitivne korelacije s oborinama, indeksom suše i vodostajem te negativne korelacije s temperaturom na većini lokaliteta.
4. Mikroreljef se kod hrasta lužnjaka nije pokazao značajnim, dok kod poljskog jasena ima presudnu ulogu u osjetljivosti na klimatske čimbenike. Najosjetljiviji i na klimatske ekstreme najmanje prilagođen je poljski jasen iz bare. Manja osjetljivost poljskog jasena pokazuje se u nizi, dok je na gredi najmanja.
5. Najvažniji čimbenik za klimatsku osjetljivost poljskog jasena je sadržaj gline u tlu. Povećanjem sadržaja gline smanjuje se količina biljci pristupačne vode, a pozitivna korelacija s oborinama, indeksom suše i vodostajem rijeke Save proporcionalno raste.
6. Klimatska osjetljivost obje istraživane vrste nije vremenski stabilna i mijenja se kroz promatrano razdoblje. To ukazuje na prilagođavanje vrsta na promjene u stanišnim uvjetima. Stoga će utjecaj klimatskih promjena naročito biti vidljiv na ekstremnim staništima. Poljski jasen u bari bit će pod najvećim utjecajem promjena klime. Čiste

sastojine poljskog jasena u budućnosti će biti više ugrožene od klimatskih promjena nego mješovite sastojine hrasta lužnjaka i poljskog jasena prvenstveno zbog stanišnih uvjeta koji naglašavaju klimatske ekstreme.

7. Indikatorske godine pokazale su se izrazito ekstremne za hrast. Razlozi su bili kombinacije više nepovoljnih čimbenika, najčešće niskih temperatura i gradacije gubara. Negativne indikatorske godine za poljski jasen pokazale su se nakon nekoliko uzastopnih klimatski nepovoljnih godina, a pozitivne se pokazuju u godinama koje su izrazito kišne tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja.
8. Širine godova arheološkog drveta hrasta lužnjaka ukazuju na promjene u uvjetima rasta. Današnje prosječne vrijednosti širina godova stabala iz prašumske sastojine hrasta lužnjaka gotovo su dvostruko veće. Ova činjenica ukazuje na intenziviranje dinamike šuma uzrokovane klimatskim promjenama.
9. Prirodni poremećaji koji su pokretači dinamike šuma u prašumskim sastojinama događaju se redovito, ali uspjeh izmjene generacija stabala ovisi o kombinaciji različitih čimbenika te često izostaje.
10. Gospodarenje šumama hrasta lužnjaka i poljskog jasena treba biti u skladu s njihovom različitom osjetljivošću na klimatske utjecaje. Prilikom izrade planova gospodarenja za ove šume s posebnom pažnjom treba pristupiti obnovi čiji početak, trajanje i zahvati moraju biti prilagođeni strukturnim i stanišnim prilikama.
11. Pravovremena čišćenja i redovite prorjede potrebno je provoditi u mladim sastojinama svih tipova šuma hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Tako bi se stablima omogućio veći stajališni prostor, a korijenu bi na raspolaganju bila veća količina tla te vode i hranjiva. Time bi se nedvojbeno povećala njihova otpornost na klimatske promjene u trenutku kada su stabla još uvijek mlada i vitalna.

## 8. Literatura

Abdulaj, R., Miković, N., Oskoruš, D., Vujnović, T. (2014) Velike vode donjeg toka rijeke Save tijekom svibnja 2014.. *Hrvatska vodoprivreda*, 207, 14-17

Abrams, M. D. (1990) Adaptations and responses to drought in *Quercus* species of North America. *Tree Physiology*, 7(1-2-3-4), 227-238.

Aitken, S. N., Yeaman, S., Holliday, J. A., Wang, T., Curtis-McLane, S. (2008) Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1(1), 95–111. Dostupno na: DOI:10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x [02. travnja 2020.]

Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L., Forzieri, G. (2015) Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 2247–2260.

Allen, M. F. (2015) How oaks respond to water limitation. U: Standiford, R. B. i Purcell, K. L. (ur), *Proceedings of the seventh California oak symposium: managing oak woodlands in a dynamic world*. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, str. 13-21.

Amiro, B.D., Todd, J.B., Wotton, B.M., Logan, K.A., Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Mason, J.A., Martell, D.L., Hirsch, K.G. (2001) Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959 to 1999, *Can. J. For. Res.* **31**, 512–525.

AMS (2020) <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/archive-statements-of-the-ams/meteorological-drought/> [26. listopada 2020.]

Anderegg, W.R.L., Hicke, J.A., Fisher, R.A., Allen, C.D., Aukema, J., Bentz, B., Hood, S., Lichstein, J.W., Macalady, A.K., McDowell, N., Pan, Y., Raffa, K., Sala, A., Shaw, J.D., Stephenson, N.L., Tague, C., Zeppel, M. (2015) Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytol*, 208: 674-683. <https://doi.org/10.1111/nph.13477>

Andersson, M., P. Milberg, P., Bergman, K.-O. (2011) Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.) - Is oak death a long-term process induced by dry years? *Annals of Forest Science* 68: 159–168.

Anić, I. (2001) Uspijevanje i pomlađivanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Posavini. Doktorski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

Anić, I. (2001) Uspijevanje i pomlađivanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Posavini. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet. *Doktorska disertacija*.

Anić, I., Oršanić, M., Detelić, M. (2002) Revitalizacija degradiranoga ekosustava nakon sušenja hrasta lužnjaka - primjer šume Kalje. *Šumarski list*, CXXVI(11-12), 575–587.

Auer, I.; Böhm, R.; Jurkovic, A.; Lipa, W.; Orlik, A.; Potzmann, R.; Schöner, W.; Ungersböck, M.; Matulla, C.; Briffa, K.; Jones, P.; Efthymiadis, D.; Brunetti, M.; Nanni, T.; Maugeri, M.; Mercalli, L.; Mestre, O.; Moisselin, J.-M.; Begert, M.; Müller-Westermeier, G.; Kveton, V.; Bochnicek, O.; Stastny, P.; Lapin, M.; Szalai, S.; Szentimrey, T.; Cegnar, T.; Dolinar, M.; Gajic-Capka, M.; Zaninovic, K.; Majstorovic, Z.; Nieplova, E. (2007) HISTALP—Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region. *Int. J. Climatol.* 27 (1), 17–46. <https://doi.org/10.1002/joc.1377>.

Aussenac, G., Levy, G. (1983) Influence du dessèchement du sol sur le comportement hydrique et la croissance du chêne pédonculé (*Quercus pedunculata* Ehrl.) et du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) cultivés en cases de végétation. *Annales des sciences forestières*, 40(3), 251–264.

Babst, F., Poulter, B., Bodesheim, P., Mahecha, M. D., & Frank, D. C. (2017). Improved tree-ring archives will support Earth-system science. *Nature Ecology & Evolution*, 1(2), 0008. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0008>

Barić, L., Županić, M., Pernek, M. and Diminić, D. (2012) Prvi nalazi patogene gljive *Chalara fraxinea* u Hrvatskoj – novog uzročnika odumiranja jasena (*Fraxinus spp.*). *Šumarski List*, 9–10(1), pp. 461–469.

Becker, M.; Nieminen, T.; Geremia, F., (1994) Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO<sub>2</sub>. *Annales des sciences forestieres*, INRA/EDP Sciences, 51 (5): 477-492

Beerling, D.J., Royer, D.L. (2011) Earth's atmospheric CO<sub>2</sub> history by proxy, *Nature Geosci.*, 4, 1-2.



Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B. *et al.* Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* **81**, 71–95 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>

Bergès L, Dupouey J-L, Franc A (2000) Long-term changes in wood density and radial growth of *Quercus petraea* Liebl. In northern France since the middle of the nineteenth century. *Trees* 14:398–408. <https://doi.org/10.1007/s004680000055>

Bobinac, M., Andrašev, S., Šijačić-Nikolić, M. (2010) Elements of growth and structure of narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl) annual seedlings in the nursery on fluvisol. *Periodicum biologorum*, 112 (3), 341-351.

Boisvenue C, Running SW (2006) Impacts of climate change on natural forest productivity - evidence since the middle of the 20th century. *Glob Chang Biol* 12:862–882

Boshier, D., J. Cordero, S. Harris, J. Pannell, S. Rendell, et al. (2005) Ash species in Europe: biological characteristics and practical guidelines for sustainable use. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK.

Breda, N., Granier, A., Barataud, F., Moyne, C. (1995) Soil water dynamics in an oak stand: I. Soil moisture, water potentials and water uptake by roots. *Plant and Soil*, 172, 17-27.

Brokaw N., Busing R.,T. (2000) Niche versus chance and tree diversity in forest gaps. *Trends Ecol Evol.* 15(5):183-188. doi: 10.1016/s0169-5347(00)01822-x. PMID: 10782131.

Brundu, G., Richardson, D. V. (2016) Planted forests and invasive alien trees in Europe: A Code for managing existing and future plantings to mitigate the risk of negative impacts from invasions. *NeoBiota*, 30, 5-47.

Buras, A. (2017) A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia*, 44, 130-132. Dostupno na: DOI:10.1016/j.dendro.2017.03.005 [15. svibnja 2020.]

Bussotti, F., Pollastrini, M. (2017) Observing Climate Change Impacts on European Forests: What Works and What Does Not in Ongoing Long-Term Monitoring Networks. *Frontiers in Plant Science*, 8, 629. Dostupno na: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00629> [16. listopada 2020.]

Carlier, G., Peltier, J.P., Gielly, L. (1992) Comportement hydrique du frêne (*Fraxinus excelsior* L) dans une formation montagnarde mésoxérophile. *Annales des sciences forestières*, 49(3), 207–223.

Carvalhais, N., Forkel, M., Khomik, M., Bellarby, J., Jung, M., Migliavacca, M., Reichstein, M. (2014). Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, 514 (7521), 213–217.

Casanueva, A., Rodríguez-Puebla, C., Frías, M. D., González-Reviriego, N. (2014) Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 709–725.

Caudullo, G., Houston Durrant, T. (2016) *Fraxinus angustifolia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. U: San-Miguel Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (ur.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, str. e0101d2+.

Chapman J.I., McEwan R.W. (2016) Thirty Years of Compositional Change in an Old-Growth Temperate Forest: The Role of Topographic Gradients in Oak-Maple Dynamics. *PLoS ONE* 11(7): e0160238. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160238>

Charrad M., Ghazzali N., Boiteau V., Niknafs A. (2014). NbClust Package for Determining the Best Number of Clusters. R package version 2.0.3, URL <http://CRAN.R-project.org/package=NbClust>.

Chmielewski, F.-M., Rötzer, T. (2001) Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108(2), 101-112.

Churkina, G., Zaehle, S., Hughes, J., Viovy, N., Chen, Y., Jung, M., Heumann, B. W., Ramankutty, N., Heimann, M., Jones, C. (2010b) Interactions between nitrogen deposition, land cover conversion, and climate change determine the contemporary carbon balance of Europe. *Biogeosciences*, 7, 2749–2764.

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/NIKP7\\_DHMZ.pdf](https://klima.hr/razno/publikacije/NIKP7_DHMZ.pdf) [05. siječnja 2021.]

Cook E.R.; Krusic P.J. (2005) *Program ARSTAN, a Tree-Ring Standardization Program based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling with Interactive Graphics*; Tree-Ring Laboratory Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University: New York, NY, USA.

Cook, E.R.; Peters, K. (1997) Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *Holocene*. 7, 361–370.

Cox, N., Temple, H.J. (2016) European red list of habitats part 2.: Terrestrial and freshwater habitats. Brussels: Office for Official Publications of the European Communities Luxembourg.

Crawford, D.L., Place, A.R. and Powers, D.A. (1990) Clinal variation in the specific activity of lactate dehydrogenase-B. *J. Exp. Zool.*, 255: 110-113. <https://doi.org/10.1002/jez.1402550114>

Curtu, A. L., Gailing, O., Finkeldey, R. (2007) Evidence for hybridization and introgression within a species-rich oak (*Quercus* spp.) community. *BMC Evolutionary Biology*, 7(1), 218+.

Čater, M. (2015) A 20-Year Overview of *Quercus robur* L. Mortality and Crown Conditions in Slovenia *Forests* 6, no. 3: 581-593. <https://doi.org/10.3390/f6030581>

Čufar, K., Šefc, B., De Luis, M., Morgós, A., Grabner, M., Merela, M., Trajković, J. (2014) Tree-Ring Chronology of Pedunculate Oak (*Quercus robur*) and its Potential for Development of Dendrochronological Research in Croatia. *Drvna Industrija*, 65(2), 129-137. Dostupno na: DOI:10.5552/drind.2014.1337 [15. rujna 2020.]

Dankers, R., and L. Feyen (2008), Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high-resolution climate simulations, *J. Geophys. Res.*, **113**, D19105, doi:10.1029/2007JD009719.

Dekanić, I., (1975) Utjecaj visine i oscilacija nivoa podzemnih voda na sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šumarski list* 99 (7-10):267–280.

Dekanić, S. (2014): Morphological and dendrochronological analysis of damaged pedunculate oak trees (*Quercus robur* L.) in old stands of the Spačva forest. figshare. Thesis. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14498142.v1>

Denman, S., Nathan Brown, N., Susan Kirk, S., Mike Jeger, M., Joan Webber, J. (2014) A description of the symptoms of Acute Oak Decline in Britain and a comparative review on causes of similar disorders on oak in Europe, *Forestry: An International Journal of Forest*

*Research*, Volume 87, Issue 4, October 2014, Pages 535–551, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu010>

Denman, S., Webber, J. (2009) Oak declines: New definitions and new episodes in Britain. *Quarterly Journal of Forestry*, 103(4), 285-290.

DHMZ 2020 <https://hidro.dhz.hr/hidroweb/pocetna/Vodostaj/Vodostaj.html> preuzeto 21.11.2020.

Dickson, R. E., Tomlinson, P. T. (1996) Oak growth, development and carbon metabolism in response to water stress. *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences*, 53(2-3), 181-196.

Drobyshev I, Niklasson M, Eggertsson O, Linderson H, Sonesson K (2008) Influence of annual weather on growth of pedunculate oak in southern Sweden. *Annals of Forest Science* 65:512

Drvodelić, D., Ugarković, D., Oršanić, M., Paulić, V. (2016) The Impact of Drought, Normal Watering and Substrate Saturation on the Morphological and Physiological Condition of Container Seedlings of Narrow-Leaved Ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl). *South-east European forestry*, 7(2), 135–142.

Dubravec, T., Dekanić, S. (2009) Struktura i dinamika sječe suhих i odumirućih stabala hrasta lužnjaka u Spačvanskom bazenu od 1996. do 2006. godine. *Šumarski list*, 133(7), 391–405.

Dubravec, T., Dekanić, S., Roth, V. (2011) Dinamika oštećenosti i struktura krošanja stabala hrasta lužnjaka u šumskim zajednicama na gredi i u nizi - rezultati motrenja na trajnim pokusnim plohama. *Šumarski list*, CXXXV(Posebni broj 13), 74–89.

Ducouso, A., Bordacs, S. (2004) EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute. Dostupno na: [http://www.euforgen.org/uploads/tx\\_news/1038\\_Technical\\_guidelines\\_for\\_genetic\\_conservation\\_and\\_use\\_for\\_Pedunculate\\_and\\_sessile\\_oaks\\_\\_Quercus\\_robur\\_\\_and\\_\\_Quercus\\_petraea\\_.pdf](http://www.euforgen.org/uploads/tx_news/1038_Technical_guidelines_for_genetic_conservation_and_use_for_Pedunculate_and_sessile_oaks__Quercus_robur__and__Quercus_petraea_.pdf) [24. siječnja 2021.]

Dyderski, M.K., Paz, S., Frelich, L.E., Jagodzinski, A.M. (2017) How much does climate change threaten European forest tree species distributions?. *Global Change Biology*, 24(3), 1150–1163. Dostupno na: <https://doi.org/10.1111/gcb.13925> [24. siječnja 2021.]

Eaton, E., Caudullo, G., Oliveira, S., de Rigo, D. (2016) *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. U: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (ur.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publication Office of European Union, 160-163. Dostupno na: [file:///C:/Users/ttrlin/Downloads/Quercus\\_robur\\_petraea.pdf](file:///C:/Users/ttrlin/Downloads/Quercus_robur_petraea.pdf) [13. rujna 2020.]

EEA (2020) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-10/assessment> CSI 012 , CLIM 001 Published 30 Sep 2020 [preuzeto 21.siječnja 2021.]

Egerton-Warburton, L.M., Querejeta, J.I., Allen, M.F. (2008) Efflux of hydraulically lifted water from mycorrhizal fungal hyphae during imposed drought. *Plant Signaling and Behavior*, 3(1), 68–71. Dostupno na: <https://doi.org/10.4161/psb.3.1.4924> [17. siječnja 2021.]

EUROSTAT (2009) *Forestry in the EU and the world. A statistical portrait* <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5733109/KS-31-11-137-EN.PDF> [10. ožujka 2020.]

Fink, A. H., Brücher, T., Krüger, A., Leckebusch, G. C., Pinto, J. G., Ulbrich, U. (2004) The 2003 European summer heatwaves and drought - synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, 59(8), 209–216. Dostupno na: DOI:10.1256/wea.73.04 [05. listopada 2020.]

Forest Research 2020, <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/pest-and-disease-resources/acute-oak-decline/> [14. prosinca 2020.]

Forest Research 2020, <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/fthr/pest-and-disease-resources/ash-dieback-hymenoscyphus-fraxineus/> [18. studenoga 2020.]

Frelich, L. (2016) *Forest dynamics*, Version 1. F1000Res. 2016; 5: F1000 Faculty Rev-183. Published online 2016 Feb 17. doi: 10.12688/f1000research.7412.1

Frelich, L.E., 2002. *Forest Dynamics and Disturbance Regimes: Studies from Temperate Evergreen–Deciduous Forests*. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511542046

Fritts, H. C. (1971) Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research*, 1(4), 419-449.

Fritts, H. C. (1976) Tree rings and climate. London, New York and San Francisco: Academic Press. xii + 567 pp.

Fritts, H. C., Swetnam, T. W. (1989) Dendroecology: A Tool for Evaluating Variations in Past and Present Forest Environments. *Advances in Ecological Research*, 19(C), 111–188.

Führer E, 1998. Oak decline in central Europe: a synopsis of hypotheses. In: McManus ML and Liebhold AM, eds., *Proceedings: population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects*. USDA Forest Service, General Technical Report NE-247: 7–24.

Fukarek, P. (1954) Poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl). *Šumarski list*, LXXVIII(9-10), 433-453. Dostupno na: <https://www.sumari.hr/sumlist/195409.pdf> [26. rujna 2020.]

Gao, X. and Giorgi, F. (2008) Increased Aridity in the Mediterranean Region under Greenhouse Gas Forcing Estimated from High Resolution Simulations with a Regional Climate Model. *Global and Planetary Change*, 62, 195-209.

Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A. (2009) A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1-2), 70–78. Dostupno na: DOI:10.1016/j.jhydrol.2008.12.028 [05. listopada 2020.]

Gillner, S., Vogt, J., Roloff, A. (2013) Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4): 597-605. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.003> [12. prosinca 2020.]

Gilja, G., Ocvirk, E., Kuspilić, N. (2018) Joint probability analysis of flood hazard at river confluences using bivariate copulas. *Građevinar*, 70(4), 267-275. Dostupno na: <https://doi.org/10.14256/JCE.2173.2017> [22. lipnja 2020.]

Goršić, E. (2013) Dinamika debljinskog prirasta stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. *Doktorski rad*.

Green T.R. (2016) Linking Climate Change and Groundwater. In: Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo J.D., Ross A. (eds) Integrated Groundwater Management. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_5)

Greenwood, S., Ruiz-Benito, P., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Kitzberger, T., Allen, C.D., Fensham, R., Laughlin, D.C., Kattge, J., Bönisch, G., Kraft, N.J.B. and Jump, A.S. (2017), Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. *Ecol Lett*, 20: 539-553. <https://doi.org/10.1111/ele.12748>

Hanel, M., Rakovec, O., Markonis, Y., Máca, P., Samaniego, L., Kyselý, J., Kumar, R. (2018) Revisiting the recent European droughts from a long-term perspective. *Scientific Reports*, 8(1). Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27464-4> [12. studenog 2020.]

Hartmann, D. L., and Coauthors, 2013: Observations: Atmosphere and surface. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, 159–254.

Harvey, J.E., Smiljanić, M., Scharnweber, T., Buras, A., Cedro, A., et al. (2020) Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Glob Change Biol*. 26: 2505– 2518. <https://doi.org/10.1111/gcb.14966>

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. (2008) A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, 113(D20). Dostupno na: DOI:10.1029/2008jd010201 [13. siječnja 2021.]

Helama S, Läänelaid A, Raisio J, Tuomenvirta H (2009) Oak decline in Helsinki portrayed by tree-rings, climate and soil data. *Plant and Soil* 319:163–174

Held, I. M., Soden, B. J. (2006) Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate*, 19(21), 5686–5699. Dostupno na: <https://doi.org/10.1175/JCLI3990.1>

Hengl, T., Walsh, M., Sanderman, J., Wheeler, I., Harrison, S., Prentice, I. (2018) Global mapping of potential natural vegetation; and assessment of machine learning algorithms for estimating land potential. *PeerJ*, 6 , p. e5457, [10.7717/peerj.5457](https://doi.org/10.7717/peerj.5457)



Hrvatske šume (2019) broj 273 rujan 2019 <http://casopis.hrsume.hr/pdf/273.pdf> [13. kolovoza 2020.]

Hughes, Francine M.R.; del Tánago, Marta González; Mountford, J. O. (2012) Restoring floodplain forests in Europe. In: Stanturf, John; Madsen, Palle; Lamb, David, (eds.) *A goal-oriented approach to forest landscape restoration*. Dordrecht, Springer, 393-422. (World Forests, 16).

Husnjak, S. (2014) *Sistematika tala Hrvatske*. Zagreb: Hrvatska Sveučilišna naklada.

Husnjak, S., Romić, M., Pernar, N., Poljak, M. (2011) Recommendations for soil management in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76(1), 1-8. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/68124>

Husson, F., Le, S., Pagès, J. (2011): *Exploratory multivariate analysis by example using R*, CRC Press, Boca Raton.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2019: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Iremonger, S. F., Kelly, D. L. (1988) The responses of four Irish wetland tree species to raised soil water levels. *New Phytologist*, 109(4), 491–497. Dostupno na: DOI:10.1111/j.1469-8137.1988.tb03725.x [22. studenog 2020.]

Jaun, S., Ahrens, B., Walser, A., Ewen, T., Schär, C. (2008) A probabilistic view on the August 2005 floods in the upper Rhine catchment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(2), 281-291. Dostupno na: <https://doi.org/10.5194/nhess-8-281-2008> [22. travnja 2020.]

Kaennel, M., Schweingruber, F.H. (1995) *Multilingual Glossary of Dendrochronology: Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian*. Berne, Haupt: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research.

Kalinić, M. (1975) Osobine tala šume crne johe (*Frangulo-alnetum glutinosae* Rauš 68) u Posavini i Pokuplju. *Šumarski list* 11-12, 447-454

Kapec, D. (2006) Utjecaj intenziteta sušenja, mikroreljefa i savske poplavne vode na stanje i strukturu sastojina hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici "Žutica". *Šumarski list*, CXXX(9-10), 425–443.

Kauserud, H., Heegaard, E., Büntgen, U., Halvorsen, R., Egli, S., Senn-Irlet, B., Krisai-Greilhuber, I., Dämon, W., Nordén, J., Høiland, K., Kirk, P.M., Semenov, M., Stenseth, N.C. & Boddy, L. (2013) Reply to Gange et al.: Climate-driven changes in the fungal fruiting season in the United Kingdom. *PNAS* 110, E335

Keenan, R.J. (2015) Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science*, 72, 145–167. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5> [17. travnja 2020.]

Kerr, G., Cahalan, C. (2004) A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Forest Ecology and Management*, 188(1-3), 225–234. Dostupno na: [doi:10.1016/j.foreco.2003.07.016](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.016) [01. lipnja 2020.]

Kimmins, J.P. (1997) *Forest ecology* (Second edition). 596pp, Prentice Hall, New Jersey.

Kint V, Aertsen W, Campioli M, Vansteenkiste D, Delcloo A, Muys B (2012) Radial growth change of temperate tree species in response to altered regional climate and air quality in the period 1901–2008. *Clim Chang* 115:343–363. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0465-x>

Kleinbauer, I., Dullinger, S., Peterseil, J., Essl, F. (2010) Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudacacia* into nature reserves and endangered habitats. *Biological Conservation*, 143(2), 382–390. Dostupno na: DOI: 10.1016/j.biocon.2009.10.024 [18. lipnja 2020.]

Klepac, D. (2000) Najveća cjelovita šuma hrasta lužnjaka u Hrvatskoj Spačva. Zagreb-Vinkovci: HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci, str. 116.

Klimo E, Hager H, Matić S, Anić I, Kulhavý J (eds) (2008) Floodplain forests of the temperate zone of Europe. Kostelec nad Černými Lesy, Lesnická práce. <http://www.silvarium.cz/lesprace>

Korablev, A, Neshataeva, VY (2016) Primary plant successions of forest belt vegetation on the Tolbachinskii Dol volcanic plateau (Kamchatka). *Biology Bulletin* 43(4): 307–317.

Kosanic, A., Anderson, K., Harrison, S., Turkington, T., Bennie, J. (2018) Changes in the geographical distribution of plant species and climatic variables on the West Cornwall peninsula (South West UK). *PLOS ONE*, 13(2), e0191021. Dostupno na: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191021>

Kovats RS, Valentini R, Bouwer LM, Georgopoulou E, Jacob D, Martin E, Rounsevell M, Soussana JF (2014) Europe. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee ME, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma G, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1267–1326

Kranjec, J. (2017) Uloga gljiva i gljivama sličnih organizama u odumiranju poljskoga jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u posavskim nizinskim šumama u Republici Hrvatskoj. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet. *Doktorski rad*.

Kremer, A. (2002) Range wide distribution of chloroplast DNA diversity and pollen deposits in European white oaks: inferences about colonisation routes and management of oak genetic resources. *Forest Ecology and Management*, 156(1-3), 1-224.

Kremer, A. (2010) Evolutionary responses of European oaks to climate change. *Irish Forestry*, 67 53-65. <https://journal.societyofirishforesters.ie/index.php/forestry/article/view/10039>.

Kundzewicz, W., Z., Kanae, S., Sonia I. Seneviratne, J., H., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Laurens M. Bouwer, Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G., R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi K. & Sherstyukov, B. (2014) Flood risk and climate change: global and regional perspectives, *Hydrological Sciences Journal*, 59:1, 1-28, DOI: 10.1080/02626667.2013.857411

Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., Brakenridge, G.R. (2013) Large floods in Europe, 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), 1-7. Dostupno na: <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745082> [13. rujna 2020.]

Kuster TM, Dobbertin M, Günthardt-Goerg MS, Schaub M, Arend M (2014) A Phenological Timetable of Oak Growth under Experimental Drought and Air Warming. PLoS ONE 9(2): e89724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089724>

Lenderink, G., van Meijgaard, E. (2008) Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geosci* **1**, 511–514 <https://doi.org/10.1038/ngeo262>

Levanič T.; Čater M.; McDowell N. G. (2011): Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology*, 31: 298-308.

Linares, J. C., Camarero, J. J. (2012). Growth Patterns and Sensitivity to Climate to Predict Silver Fir Decline in the Spanish Pyrenees. *European Journal of Forest Research*, 131, 1001-1012. <http://dx.doi.org/10.1007/s10342-011-0572-7>

Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., Schelhaas, M.-J., Lasch, P., Eggers, J., van der Maaten-Theunissen, M., Suckow, F., Psomas, A., Poulter, B., Hanewinkel, M. (2014) Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, 146, 69-83.

Liović, B. (2011) Utjecaj pepelnice (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.) na rast i preživljenje hrastova ponika. *Šumarski list – Posebni broj* (2011), 122-129.

Lloret, F., Zedler, P.H. 2009. The effect of forest fire on vegetation. In *Fire effects on soils and restoration strategies*, A. Cerdà, P.R. Robichaud (eds.), Science Publishers, Enfield, pp. 257-295.

López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Gimeno, L., and Nieto, R. (2009), Stability of the seasonal distribution of precipitation in the Mediterranean region: Observations since 1950 and projections for the 21st century, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L10703, doi:10.1029/2009GL037956.

Ludlow, M. (1989) Strategies of response to water stress. U: Kreeb, K. H., Richter, H., Hinckley, T.M. (ur.), *Structural and Functional Responses to Environmental Stresses: Water Shortage*. Hague, Netherlands: SPB Academic Publishers, 269–281.

Machar, I. (2008) Floodplain forests of Litovelské Pomoraví and their management. *Journal of Forest Science*, 54, 355-369. Dostupno na: <https://doi.org/10.17221/27/2008-JFS> [13. svibnja 2020.]

Manojlović, M. (1926) Metode uređenja u teoriji i praksi. *Šumarski list*, 50(4), 236-252.

Maraun, D. (2013). When will trends in European mean and heavy daily precipitation emerge? *Environmental Research Letters*, 8(1). Dostupno na: doi:10.1088/1748-9326/8/1/014004 [08. veljače 2021.]

Marigo, G., Peltier, J. P. (1996) Analysis of the diurnal change in osmotic potential in leaves of *Fraxinus excelsior* L. *Journal of Experimental Botany*, 47(299), 763-769. Dostupno na: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.618.5781&rep=rep1&type=pdf> [26. travnja 2020.]

Markham, A. (1996) Potential impacts of climate change on ecosystems: A review of implications for policymakers and conservation biologists. *Climate Research* 6(2):179-191. DOI: 10.3354/cr006179

Marques, I. C. G. (2016) *Fraxinus angustifolia* Vahl as a Valuable Species in Riparian Rehabilitation Projects. From Annual Growth to Habitat Preference of Narrow-Leaved Ash in Southern Portugal. masterThesis, ISA-UL.

Martinović, J. (2003) *Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj*. Jastrebarsko, Šumarski institut; Hrvatske šume.

Matthews, S. (2016) Potential effects of future climate change on the oak resource. PDF presentation. School of Environment and Natural Resources Northern Research Station, US Forest Service.

Mayer, B. (1996a) Hidrološka problematika osobito s gledišta površinskog dijela krovine. U: Klepac, D. (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Vinkovci-Zagreb: HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb, str. 55-70.

Matić, S. Gospodarenje šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u promijenjenim stanišnim i strukturnim uvjetima. U: S. Matić, I. Anić, (ur.), *Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim*

stanišnim i gospodarskim uvjetima. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 1–22, Zagreb (2009).

Menzel, A., Fabian, P. (1999) Growing season extended in Europe. *Nature* 397, 659 <https://doi.org/10.1038/17709>

Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, et al. (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12: 1969–1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>

Mikac, S.; Žmegač, A.; Trlin, D.; Paulić, V.; Oršanić, M.; Anić, I. (2018) Drought-Induced Shift in Tree Response to Climate in Floodplain Forests of Southeastern Europe. *Sci Rep*, 8 (1), 16495. Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34875-w>.

Milanković, M. (2008) Astronomical theory of climate changes and its application in Geophysics. Zagreb: Prosvjeta.

Minnesota Crop News (2019) <https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2019/01/soil-water-basics-for-irrigation.html> [15. siječnja 2021.]

Mitchell, S.J. (2013) Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 86, Issue 2, Pages 147–157, <https://doi.org/10.1093/forestry/cps058>

Morice, C. P., J. J. Kennedy, N. A. Rayner, and P. D. Jones (2012), Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set, *J. Geophys. Res.*, 117, D08101, doi:10.1029/2011JD017187.

Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., et al. (2008) Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva

Mosteller, F., Tukey, J. W. (1977) *Data Analysis and Regression: a second course in statistics*. Addison-Wesley. ISBN-13: 978-0201048544.

Müller-Edzards, C., Erisman, J. W., De Vries, W., Dobbertin, M., Ghosh, S. (1997) Ten years of monitoring forest condition in Europe. Studies on temporal development, spatial distribution

and impacts of natural and anthropogenic stress factors. Overview report. Brussels, Geneva: EC-UN/ECE.

Muñoz, N. G.; Linares, J. C.; Castro-Díez, P.; Sass-Klaassen, U. (2015) Contrasting Secondary Growth and Water Use Efficiency Patterns in Native and Exotic Trees Co-Occurring in Inner Spain Riparian Forests. *Forest Systems*, 24 (1), 017. Dostupno na: <https://doi.org/10.5424/fs/2015241-06586>. [15. svibnja 2020.]

NASA (2020) <https://pmm.nasa.gov/resources/faq/how-does-climate-change-affect-precipitation> <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> preuzeto 12.11.2020.

Nicault, A., Alleaume, S., Brewer, S. *et al.* (2008) Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data. *Clim Dyn* **31**, 227–245 <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0349-3>

Niinemets, U., Valladares, F. (2006) Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate Northern Hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521-547.

Nowacki, G.J. & Abrams, M.D. 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*, 67, 225-249.

Okonski, B. (2017) Radial growth of pedunculate oak and european ash on active river terraces. Hydrologic and climatic controls. *Infrastructure and ecology of rural areas*, 3/1, 1075–1091.

Oliver, C.D., Larson, B.C. (1996) *Forest Stand Dynamics*. Second edition. New York: John Wiley & Sons.

Oršanić, M., Mikac, S., Ugarković, D., Drvodelić, D., Diminić, D., Kranjec Orlović, J., Milotić, M., Hrašovec, B., Franjević, M., Vucelja, M., Bjedov, L., Margaletić, J. (2020) *Ekologija, obnova i zaštita poplavnih šuma Posavine*; Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet: Zagreb, Hrvatska.

Oszako T, Woodward S, editors. Possible limitation of decline phenomena in 26 broadleaved stands. Warsaw, Poland: Forest Research Institute, 2006

Pachauri, R. K., Allen, R. A., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., A. Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N. K., ... van Ypersele, J.-P. (2014) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. U: R. K. Pachauri, R. K., Meyer, L. A. (UR.), *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva: IPCC.

Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E. M., Butchart, S. H. M., Kovacs, K. M., Scheffers, B. R., Hole, D. G., Tara G. Martin, T. G., Akçakaya, H. R., Corlett, R. T., Huntley, B., Bickford, D., Jamie A. Carr, J. A., Hoffmann, A. A., Midgley, G. F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R. G., Williams, S. E., Willis, S. G., Young, B., Rondinini, C. (2015) Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5(3), 215–224. Dostupno na: DOI:10.1038/nclimate2448 [16. svibnja 2020.]

Paredes D, Trigo RM, Garc'ia-Herrera R, Trigo IF. 2006. Understanding precipitation changes in Iberian early spring: weather typing and storm-tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology* 7: 101–113

Patarčić, M. Klima i klimatske promjene. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Dostupno na: [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_modeli&param=klima\\_promjene](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli&param=klima_promjene) [08. siječnja 2021.]

Perić, S. (1998) Njega i obnova u strukturno i ekološki narušenim zajednicama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Pokupskom bazenu. Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, *magistarski rad*

Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I. (2013) Terenska i laboratorijska istraživanja tla, priručnik za uzorkovanje i analizu. Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Pernar, N.; Anić, I.; Jazbec, A.; Bakšić, D. (2007) The Degree of Soil Water Saturation in the Narrow-Leaved Ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) Floodplain Forest. *Ekologia*, 26 (3), 258-272.

Pilaš, I. (2006) Odnos morfoloških svojstava tla i vode u tlu u nizinskim šumama središnje Hrvatske. Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. *Doktorski rad*.

Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, T. (2014) Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, 5(1). Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/ncomms5967> [24. travnja 2020.]



Potočić, N., Seletković, I., Jakovljević, T., Marjanović, H., Indir, K., i sur. (2017) Oštećenost šumskih ekosustava Republike Hrvatske 2017. godine. Nacionalni koordinacijski centar za procjenu i motrenje utjecaja atmosferskog onečišćenja i drugih čimbenika na šumske ekosustave, Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko

Prpić, B. (1974) Korijenov sistem poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u različitim tipovima posavskih nizinskih šuma. *Glasnik za šumske pokuse*, 17, 253–336.

Prpić, B. (1989) Sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj u svjetlu ekološke konstitucije vrste. *Glasnik za šumske pokuse*, 25, 1-283.

Prpić, B., Seletković, Z., Žnidarić, G. (1994) Ekološki i biološki uzroci propadanja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u nizinskoj šumi “Turopoljski lug”. *Glasnik za šumske pokuse*, 30, 193–222.

Pušpure, I., Matisons, R., Laiviņš, M, Gaitnieks, T., Jansons, J. (2017) Natural Regeneration of Common Ash in Young Stands in Latvia. *Baltic Forestry* 23(1): 209-217.

Rauš, Đ. (1995) Sto trajnih ploha Republike Hrvatske. (Ekološka istraživanja). *Glasnik za šumske pokuse* 32:225-376, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

Reyer, C., Lasch-Born, P., Suckow, F., Gutsch, M., Murawski, A., Pilz, T. (2013) Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. *Annals of Forest Science*, 71(2), 211–225. Dostupno na: DOI:10.1007/s13595-013-0306-8 [03. listopada 2020.]

Roibu, C.-C., Sfeclă, V., Mursa, A., Ionita, M., Nagavciuc, V., Chiriloaei, F., Leșan, I., Popa, I. (2020) The Climatic Response of Tree Ring Width Components of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Common Oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe. *Forests*, 11, 600. Dostupno na: <https://doi.org/10.3390/f11050600> [15. veljače 2020.]

Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, J. U., Stimm, B. (2010) *Bäume Mitteleuropas: Von Aspe bis Zirbelkiefer Mit den Porträts aller Bäume des Jahres von 1989 bis 2010*. Wiley-VCH.

Rozas, V. (2005) Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62(3), 209–218. Dostupno na: DOI:10.1051/forest:2005012 [09. travnja 2020.]

Rubinić V., Husnjak S. (2016) Clay and Humus Contents Have the Key Impact on Physical Properties of Croatian Pseudogleys. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 81(4), 187-191. Dostupno na: [https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=264541](https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=264541) [11. svibnja 2020.]

Rubinić, V., Lazarević, B., Husnjak, S., Durn, G. (2015) Climate and relief influence on particle size distribution and chemical properties of Pseudogley soils in Croatia. *Catena*, 127, 340–348. Dostupno na: DOI:10.1016/j.catena.2014.12.024 [14. rujna 2020.]

Sabatini, F. M., Burrascano, S., Keeton, W. S., Levers, C., Lindner, M., Pötzschner, F., Verkerk, P. J., Bauhus, J., Buchwald, E., Chaskovsky, O., Debaive, N., Horváth, F., Garbarino, M., Grigoriadis, N., Lombardi, F., Duarte, I. M., Meyer, P., Midteng, R., Mikac, S., Mikoláš, M., Motta, R., Mozgeris, G., Nunes, L., Panayotov, M., Ódor, P., Ruete, A., Simovski, B., Stillhard, J., Svoboda, M., Szwagrzyk, J., Tikkanen, O.-P., Volosyanchuk, R., Vrska, T., Zlatanov, T., Kuemmerle, T. (2018) Where are Europe's last primary forests?. *Diversity and Distributions*, 24(10), 1426–1439. Dostupno na: <https://doi.org/10.1111/ddi.12778> [17. travnja 2020.]

Sáenz-Romero, C., Lamy, J.-B., Ducouso, A., Musch, B., Ehrenmann, F., Delzon, S., Cavers, S., Chałupka, W., Dağdaş, S., Hansen, J. K., Lee, S. J., Liesebach, M., Rau, H.-M., Psomas, A., Schneck, V., Steiner, W., Zimmermann, N. E., Kremer, A. (2017) Adaptive and plastic responses of *Quercus petraea* populations to climate across Europe. *Global Change Biology*, 23(7), 2831-2847. Dostupno na: <https://doi.org/10.1111/gcb.13576> [12. ožujka 2020.]

Scheffers, B. R., Meester, L. D., Bridge, T. C. L., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., Butchart, S. H., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K.M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W.B., Martin, T.G., Mora, C., Bickford, D., Watson, J.E. (2016) The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354(6313). Dostupno na: DOI: 10.1126/science.aaf7671. PMID: 27846577 [28. listopada 2020.]

Schneider-Binder, E., (2008) Importance of floodplains and floodplain wetlands along the Lower Danube with special regard to phytodiversity. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 6, 59–70.

Schnitzler, A., (1994) Conservation of biodiversity in alluvial hardwood forests of the temperate zone. The example of the Rhine valley. *Forest Ecology and Management*, 68(2-3), 385–398. Dostupno na: DOI:10.1016/0378-1127(94)90059-0 [17. siječnja 2020.]

Schweingruber, F. H., Kairiukstis, L. A., Shiyatov, S. (1990) Sample selection. U: Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (ur.), *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Springer Netherlands: International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers, str. 23–35.

Sheppard, P.R. (1991) Identifying low-frequency tree-ring variation. *Tree-Ring Bulletin*, 51, 29–38.

Sohar, K., Helama, S., Läänelaid, A., Raisio, J., Tuomenvirta, H. (2014) Oak decline in a southern Finnish forest as affected by a drought sequence. *Geochronometria*, 41(1), 92–103. Dostupno na: DOI:10.2478/s13386-013-0137-2 [18. travnja 2020.]

Sousa, P. M., Trigo, R. M., Aizpurua, P., Nieto, R., Gimeno, L., and Garcia-Herrera, R.: Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 33–51, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-33-2011>, 2011.

Spinoni J, Lakatos M, Szentimrey T, Bihari Z, Szalai S, Vogt J, Antofie T. 2015a. Heat and cold waves trends in the Carpathian region from 1961 to 2010. *Int. J. Climatol.* **35**(14): 4197– 4209.

Spinoni, J., Vogt, J.V., Naumann, G., Barbosa, P. and Dosio, A. (2018), Will drought events become more frequent and severe in Europe? *Int. J. Climatol*, 38: 1718-1736. <https://doi.org/10.1002/joc.5291>

Splechtna, B.E., Gratzner, G. and Black, B.A. (2005), Disturbance history of a European old-growth mixed-species forest—A spatial dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science*, 16: 511-522. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02391.x>

Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M., and Jódar, J.: Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 2367–2382, <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>, 2010.

Stohr, A., Losch, R. (2004) Xylem sap flow and drought stress of *Fraxinus excelsior* saplings. *Tree Physiology*, 24(2), 169–180. Dostupno na: DOI:10.1093/treephys/24.2.169 [20. rujna 2020.]

- Stojanović, D. B., Levanič, T., Matović, B., & Orlović, S. (2015). *Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. European Journal of Forest Research, 134(3), 555–567.* doi:10.1007/s10342-015-0871-5
- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., ... Treidel, H. (2012). *Ground water and climate change. Nature Climate Change, 3(4), 322–329.* doi:10.1038/nclimate1744
- Temunović M, Franjić J, Satovic Z, Grgurev M, Frascaria-Lacoste N, Fernández-Manjarrés JF. (2012) Environmental heterogeneity explains the genetic structure of Continental and Mediterranean populations of *Fraxinus angustifolia* Vahl. *PLoS One, 7(8)* doi:10.1371/journal.pone.0042764.
- Thom, D., Rammer, W., Seidl, R. (2017). The impact of future forest dynamics on climate: interactive effects of changing vegetation and disturbance regimes. *Ecological Monographs, 87(4), 665–684.* Dostupno na: DOI:10.1002/ecm.1272 [17. siječnja 2021.]
- Thomas F., Gausling T. (2000): Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science, 57: 325–333.*
- Thomas, F. M., Blank, R., Hartmann, G. (2002) Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology, 32(4-5), 277–307.* doi:10.1046/j.1439-0329.2002.00291.x [12. travnja 2020.]
- Thomas, F.M. (2008) Recent advances in cause effect research on oak decline in Europe. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 3(037), 1-12.* Dostupno na: DOI:10.1079/PAVSNNR20083037 [17. kolovoza 2020.]
- Trigo RM, Zezere JL, Rodrigues ML, Trigo IF. 2005. The influence of the North Atlantic Oscillation on rainfall triggering of landslides near Lisbon. *Natural Hazards 36: 331–354.*
- Tumajer, J., & Tremml, V. (2016) Response of floodplain pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring width and vessel anatomy to climatic trends and extreme hydroclimatic events. *Forest Ecology and Management, 379, 185–194.* Dostupno na: DOI:10.1016/j.foreco.2016.08.013 [15. veljače 2020.]

Turner, M.G. (2010), Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91: 2833-2849. <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>

Ugarković, D., Pleša, K. Usporedba odumiranja stabala hrasta lužnjaka i poljskog jasena u odnosu na ekološku konstituciju vrsta, *Šumarski list*, 141(5-6), 227-235 (2017).

Urli, M., Lamy, J.-B., Sin, F., Burrett, R., Delzon, S., Porté, A.J. (2015) The high vulnerability of *Quercus robur* to drought at its southern margin paves the way for *Quercus ilex*. *Plant Ecol.*, 216, pp. 177-187, [10.1007/s11258-014-0426-8](https://doi.org/10.1007/s11258-014-0426-8)

Van den Besselaar, E. J. M., Klein Tank, A. M. G., Buishand, T. A. (2012) Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2682-2689.

Van der Maaten-Theunissen, M., van der Maaten, E., Bouriaud, O. (2015) pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia* 35: 34–38.

Vitasse, Y., Bottero, A., Cailleret, M, et al. Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. *Glob Change Biol.* 2019; 25: 3781– 3792. <https://doi.org/10.1111/gcb.14803>

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

Wallander, E. (2008) Systematics of *Fraxinus* (Oleaceae) and evolution of dioecy. *Plant Systematics and Evolution*, 273(1-2), 25–49. Dostupno na: DOI:10.1007/s00606-008-0005-3 [01. veljače 2020.]

Wardle, P. (1961) Biological Flora of the British Isles: *Fraxinus excelsior* L. *Journal of Ecology*, 49, 739–751.

Weber, G. and Bahr, B. (2000a) Wachstum und Ernährungszustand junger Eschen (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorne (*Acer pseudoplatanus* L.) auf Sturmwurfflächen in Bayern in Abhängigkeit vom Standort. *For. Centralblatt.*, 119, 177–192.

Wermelinger, B. (2004) Ecology and management of the spruce bark beetle, *Ips typographus* – a review of recent research. – *For. Ecol. Manage.* 202: 67–82.

WHO Regional Office for Europe (2014) Floods in the Balkans: Bosnia and Herzegovina, Croatia and Serbia. Situation Report. Dostupno na: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0019/250741/Balkan-Floods-Sitrep-1-1-final-version.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/250741/Balkan-Floods-Sitrep-1-1-final-version.pdf?ua=1) [15. prosinca 2020.]

Wilson, D., Hisdal, H., and Lawrence, D. (2010) Has streamflow changed in the Nordic countries? Recent trends and comparisons to hydrological projections, *J. Hydrol.*, 394, 334–346.

Winsemius, H. C., Aerts, J. C. J. H., Van Beek, L. P. H., Bierkens, M. F. P., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J., Ligtoet, W., Lucas, P. L., Van Vuuren, D. P., & Ward, P. J. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*, 6(4), 381–385. Dostupno na: DOI:10.1038/nclimate2893 [09. veljače 2020.]

WMO (2014) WMO statement on the status of the global climate in 2013. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=7862](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7862) [20. prosinca 2020.]

Yamamoto, S.-I. (2000) Forest Gap Dynamics and Tree Regeneration, *Journal of Forest Research*, 5:4, 223-229, DOI: 10.1007/BF02767114

Zang, C., Biondi, F. (2015) Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38:431–436.

## ŽIVOTOPIS AUTORA

Domagoj Trlin rođen je 17. siječnja 1992. godine u Varaždinu. Osnovnu školu pohađao je u Novoj Kapeli, a gimnaziju „Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisao je 2010. godine, a diplomirao 2015. Dobitnik je nagrade *Akademik Milan Anić* koja se dodjeljuje najboljim studentima u generaciji. Od listopada 2016. godine zaposlen je na radnom mjestu asistenta u znanstvenim projektima kao doktorand Hrvatske zaklade za znanost s mjestom rada na Šumarskom fakultetu, Zavodu za ekologiju i uzgajanje šuma.

Do sada je kao autor i koautor objavio 4 znanstvena članka, od toga dva u kategoriji Q1. Sudjelovao je na istraživačkom projektu *Uspostava dugoročnog znanstvenog monitoringa prirodnih šumskih ekosustava u Republici Hrvatskoj – Crofem*. Trenutno sudjeluje na EU projektu *Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za održivo upravljanje prirodnim resursima - "MEMORIE"* financiranom iz Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020. Sudjelovao je kao izlagač na više domaćih i međunarodnih znanstvenih konferencija.

Popis objavljenih radova:

Mikac, S., Žmegač, A., Trlin, D., Paulić, V., Oršanić, M., Anić, I. (2018) Drought-induced shift in tree response to climate in floodplain forests of Southeastern Europe. *Sci Rep* **8**, 16495 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34875-w>

Mikac, S.; Žmegač, A.; Trlin, D. (2018) Utjecaj klimatskih promjena i prirodnih nepogoda na šumske ekosustave. // VII. Konferencija hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa / Holcinger, Nataša (ur.). Zagreb: Državna uprava za zaštitu i spašavanje, str. 162-171 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

Mikac, S., Trlin, D., Žmegač, A., Dekanić, S., Miklić, B., Anić, I. (2019) Utjecaj recentnih promjena klime na nizinske šumske ekosustave hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj (<https://dizbi.hazu.hr/a/?pr=i&id=1997070>)

Trlin, D.; Mikac, S.; Žmegač, A.; Orešković, M. (2021) Dendrohydrological Reconstructions Based on Tree-Ring Width (TRW) Chronologies of Narrow-Leaved Ash in the Sava River Basin (Croatia). *Sustainability*, *13*, 2408. <https://doi.org/10.3390/su13042408>