



Copyright: © 2024 by the authors.

Originalni naučni rad / Original scientific paper

DOI 10.7251/GSF2434001R

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

UDK 630*176.322:582.632.2(497.11)

DENDROKOLOŠKA ISTRAŽIVANJA U SASTOJINAMA HRASTA KITNJAKA NA TOPLIJIM STANIŠTIMA NACIONALNOG PARKA „ĐERDAP”, SRBIJA

DENDROECOLOGICAL RESEARCH IN THE SESSILE OAK STANDS ON THE WARMER SITE CONDITIONS OF THE ĐERDAP NATIONAL PARK, SERBIA

Nenad Radaković^{1*}, Branko Stajić², Marko Kazimirović², Vojislav Dukić³, Damjan Pantić²

¹ Nacionalni park „Đerdap”, Kralja Petra I 14A, 19220 Donji Milanovac, Srbija

² Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd, Srbija

³ Univerzitet u Banjoj Luci – Šumarski fakultet, Bulevar vojvode Petra Bojovića 1A, 78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina

*email: nenad.radakovic1971@gmail.com

Izvod

U radu su prezentovani rezultati dendroekoloških istraživanja u dvema sastojinama hrasta kitnjaka na toplijim staništima na području Nacionalnog parka „Đerdap”. Za sagledavanje uticaja temperature i padavina na prirast (radijalni prirast – RW, prirast kasnog drveta – LW i prirast ranog drveta – EW) ove vrste drveća korišćena su četiri metodološka pristupa: korelacije između tromesečnih (sezonskih) veličina temperature i padavina i rezidualne hronologije, korelacije između mesečnih temperatura i padavina i rezidualne hronologije, tzv. odzivne funkcije i korelacije između SPEI indeksa suše i rezidualne hronologije. Rezultati su pokazali veliku senzitivnost hrasta kitnjaka prema padavinama u letnjim mesecima, na taj način da veće količine padavina u leto, naročito u julu, prouzrokuju statistički značajno veće iznose prirasta. Variranje prirasta mnogo je manje uslovljeno varijacijama temperature, pri čemu je registrovan slabiji negativan uticaj viših julskih i avgustovskih temperatura na veličinu prirasta. Konstatovano je da je u ukupnoj veličini radijalnog prirasta i u prirastu kasnog drveta detektovan jači klimatski signal nego u prirastu ranog drveta. Utvrđena reakcija hrasta kitnjaka u ovde analiziranim toplijim stanišnim uslovima u pogledu prirasta i njegove zavisnosti od klime slična je reakciji kitnjaka iz sastojina u neposrednom okruženju NP „Đerdap” i iz drugih okolnih zemalja koje se karakterišu srodnim klimatskim uslovima.

Cljučne reči: Đerdap, hrast kitnjak, radijalni prirast, uticaj klime

1. UVOD / INTRODUCTION

Dendrohronologija se bavi istraživanjem rasta stabala i njegovog odnosa prema uslovima sredine, u zavisnosti od prostora i vremena (Schweingruber, 1983; Cherubini et al., 2004). Prema Stajić (2010), ova istraživačka discipli-

na suštinski je zasnovana na jakoj vezi između građe i širine prstenova prirasta i klimatskih i ostalih stanišnih faktora, ali i brojnih drugih faktora koji utiču na rast stabala.

Karakter radijalnog prirasta i njegova uska veza sa brojnim stanišnim i drugim faktorima doveli su do razvoja dendroklimatologije, dendroekologije, dendrogeomorfologije, dendrohidrologije i drugih poddisciplina. Jedna od najznačajnijih jeste dendroekologija. Dendroekološke metode pokazale su se kao veoma pouzdane i značajne za rekonstrukciju različitih ometajućih (štetnih) događaja iz prošlosti i identifikaciju naglog opadanja nivoa rasta i prirasta uslovljenog promenama uslova životne sredine (Copenheaver & Abrams, 2003). Prema Amoroso et al. (2017), dendroekologija se fokusira na to kako su klima i ostali faktori, direktno ili indirektno, uticali na tokove rasta stabala u prošlosti. Iz tih razloga, metode istraživanja ove discipline u velikoj se meri poklapaju sa metodama u istraživanjima rasta i proizvodnosti šuma i, načelno rečeno, koriste se u identifikaciji efekata uticaja godišnjih varijacija klimatskih elemenata, ekstremnih vremenskih fenomena, napada insekata, požara i antropogenih uticaja na rast i prirast šumskih stabala, sastojina i šuma.

U nekoliko zadnjih decenija vidljivo je naglo povećanje obima publikovanih dendroekoloških publikacija u svetu, koje su pomogle razvoju različitih strategija gazdovanja šumama od značaja za adaptaciju i ublažavanje global-

nih promena uslova životne sredine (Dukić et al., 2022).

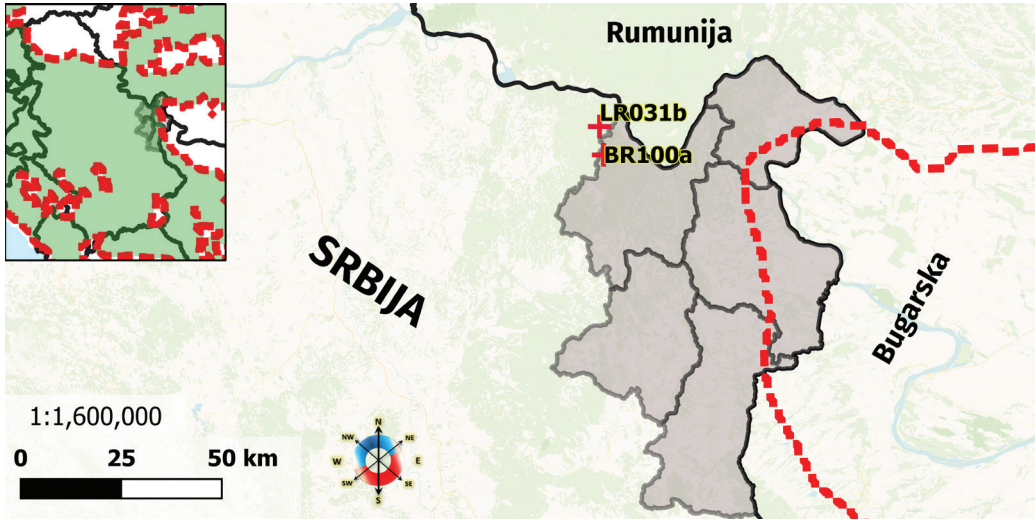
Hrastovi su jedna od dendrohronološki/dendroekološki najviše proučavanih vrsta drveća u Evropi. Ipak, može se konstatovati da, iako postoji značajan broj rezultata koji se bave analizom uticaja temperature i padavina na radijalni prirast hrastova, postoje neke zemlje i regioni u Evropi gde ove veze nisu puno istraživane, te su stoga one veoma dobrodošle. Jedno od takvih područja jeste i područje Balkanskog poluostrva i, u okviru njega, područje Srbije. Dosadašnja dendrohronološka/dendroekološka istraživanja zavisnosti prirasta od temperature i padavina hrasta u sastojinama hrasta kitnjaka na području Srbije sprovedli su Stajić (2014), Radaković (2014), Stajić et al. (2015), Radaković & Stajić (2021) i Radaković (2024). Na području Fruške gore, u veštački podignutoj sastojini hrasta kitnjaka, Stajić et al. (2015) sprovedli su dendroklimatološka istraživanja zavisnosti prirasta od temperature i padavina hrasta kitnjaka. Stoga je glavni cilj istraživanja u ovom radu da se u dve sastojine na toplijim staništima NP „Đerdap“ analizira i utvrdi priroda zavisnosti veličina radijalnog prirasta stabala hrasta kitnjaka od temperature vazduha i količina padavina u prošlosti.

2. MATERIAL AND METHODS / MATERIJAL I METOD RADA

Istraživanja su obavljena u dvema sastojinama hrasta kitnjaka koje se nalaze na području Nacionalnog parka „Đerdap“ (Slika 1), u GJ „Boljetinska reka“, u okviru 100. odeljenja (BR100a) i u GJ „Leva reka“, u odeljku 31 (LR031b). Istraživana sastojina BR100a nalazi se na približno 395 m n. v., na južnoj padini, i klasifikovana je kao *Quercetum montanum tilietosum tomentosae* Mišić 1997. Broj stabala iznosi 339 po ha, od čega je 99 stabala hrasta kitnjaka. Temeljnica sastojine iznosi 24,2 m²/ha, od čega je 14,0 m²/ha temeljnica stabala hrasta kitnjaka, a ukupna zapremina je 213 m³/ha (131 m³/ha hrasta kitnjaka). Srednji prečnik i visina hrastova jesu 41,0 cm i 19,0 m,

respektivno. Lokalitet LR031b klasifikovan je kao *Quercus-Fagetum* Glišić 1971 i nalazi se na približno 590 m nadmorske visine, na južnoj/jugozapadnoj ekspoziciji. Ukupan broj stabala po hektaru iznosi 402, od čega je 84 stabala kitnjaka. Temeljnica sastojine iznosi 23,8 m²/ha, od čega temeljnica stabala kitnjaka iznosi 9,3 m²/ha. Zapremina sastojine iznosi 270 m³/ha, od čega zapremina stabala kitnjaka iznosi 95 m³/ha.

Prosečna godišnja temperatura vazduha za period 1967–1999. iznosi 11,7°C. U ovom periodu prosečna minimalna i maksimalna temperatura vazduha iznose -0,5 °C i 22,8°C. Prosečna temperatura u julu je 22,3°C, a u



Slika 1. Lokacija analiziranih sastojina BR100a i LR031b (tačan položaj označen je crvenim krstićem) / **Figure 1.** Situation of the studied stands BR100a and LR031b (the exact position is marked by red cross)

januaru 0,1°C. Prosečna godišnja količina padavina u periodu 1966–1987. godine dostiže 552 mm, od kojih 370 mm pada u toku vegetacionog perioda april–oktobar. Podaci su dobijeni sa Meteorološke stanice „Donji Milanovac“, koja je najbliža istraživanim sastojinama.

U cilju kvantitativne analize radijalnog prirasta, definisanja master hronologija, utvrđivanja zajedničkog signala u rastu hrasta kitnjaka i zavisnosti prirasta od ovde analiziranih klimatskih elemenata, Preslerovim svrdlom bušena su dominantna stabla (20 stabala u BR100a i 18 stabala u LR031b), sa po dva izvrtka sa svakog stabla na visini 1,3 m, što je ukupno 76 početno analiziranih serija uzoraka radijalnog prirasta (izvrtaka). Na svakom izvrtku izvršena su merenja ukupne veličine radijalnog prirasta (RW), prirasta ranog (EW) i prirasta kasnog drveta (LW).

Zatim je u Laboratoriji za istraživanje prirasta i biomonitring na Šumarskom fakultetu u Beogradu, u okviru koje se nalazi i Laboratorija za dendrohronološka istraživanja, izvršeno dvostruko merenje veličina radijalnog prirasta, gde je najpre primenom programa Coorecorder (Larsson, 2005) izvršeno merenje prirasta

na visokokvalitetnim fotografijama dobijenim skeniranjem, dok je dodatna provera problematičnih segmenata i verifikacija rezultata premera vršena pomoću uređaja LINTAB™ i TSAP-Win softvera. Dodatna ocena kvaliteta merenja i dalja analiza definisane baze podataka izvršena je u okviru programskog paketa R. Tom prilikom korišćeno je nekoliko dendrohronoloških „biblioteka“, kao i delovi koda koji su u svrhu istraživanja ovog tipa razvijeni u okviru Laboratorije za dendrohronološka istraživanja Šumarskog fakulteta u Beogradu.

Pored vizuelne provere kvaliteta premera, kvantifikacija je dodatno izvršena i numerički, kroz izračunavanje i analizu parametara ukupne i segmentne interserijske i master korelacije – r_{xy} (Cook & Kairiukstis, 1990). Izračunavanje korelacije vršeno je na tzv. normalizovanim serijama, za čije je formiranje korišćen računski postupak koji su predložili Baillie & Pilcher (1973). Stepem slaganja između dve serije radijalnog prirasta značajno zavisi i od broja godina koji se međusobno upoređuju. S tim u vezi, utvrđeni su i analizirani iznosi t_{bp} parametra, jer njegova veličina istovremeno zavisi od korelacije (r_{xy}) i od dužine segmenata (n):

$$t_{bp} = |r_{xy}| \sqrt{\frac{n-2}{1-r_{xy}^2}} \quad (1)$$

Stepen slaganja serija prirasta evaluiran je i izračunavanjem neparametrijskog koeficijenta uporednosti nizanja veličina prirasta – Glk_{xy} . Koeficijent uporednosti predstavlja meru saglasnosti – podudarnosti tokova godišnjih veličina radijalnog prirasta dve hronologije (Eckstein & Bauch, 1969). Glk_{xy} je određivan pomoću obrasca:

$$Glk_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |G_{ix} + G_{iy}| \quad (2)$$

pri čemu je $G_{ix} = +1/2$, ako je $\Delta = i_{r(x+1)} - i_{r(i)} > 0$, odnosno $G_{ix} = 0$ ako je $\Delta = 0$ i $G_{ix} = -1/2$ ako je $\Delta < 0$.

Na nivou sastojina dati su uprosečeni iznosi za sva tri koeficijenta za serije radijalnog prirasta, serije prirasta ranog i serije prirasta kasnog drveta.

Za sve serije utvrđeni su osnovni statistički pokazatelji: broj podataka o radijalnom prirastu (dužina serije), aritmetička sredina (r) i standardna devijacija veličina radijalnog prirasta (SD). Prosečne veličine ovih pokazatelja prezentovane su zajedno sa nekim od tipičnih dendrohronološko-statističkih parametara kao što su veličine srednjeg stepena senzitiviteta (osetljivosti) – (MS), koeficijent autokorelacije 1. reda (AC1), već pomenuti koeficijent uporednosti nizanja veličina prirasta (Glk), kao i koeficijent korelacije i iznos t-test vrednosti (t_{bp}) prema Baillie & Pilcher (1973).

Za eliminisanje starosnog trenda i ujednačavanje varijanse radijalnog prirasta duž celog analiziranog perioda primenjen je postupak tzv. duplog detrendovanja, koje se smatra posebno pogodnim za stabla rasla u privrednim šumama (Holmes et al., 1986; Holmes, 1994). U cilju utvrđivanja očekivanog ili „normalnog” trenda radijalnog prirasta, „očišćenog” od uticaja starosti i pojedinih varijacija, najpre je izvršeno detrendovanje primenom negativne eksponencijalne funkcije, a zatim i dalje „filtriranje” primenom glatkih kubnih splajnova. Splajnovi su

ustpostavljeni tako da zadržavaju 50% varijanse u nizovima veličina radijalnog prirasta na 67% dužine svake pojedinačne serije (Cook & Peters, 1981; Cook, 1985).

Drugi deo postupka standardizacije podrazumeva formiranje stacionarnih serija indeksa radijalnog prirasta – I_t , koji predstavljaju odnos između iznosa empirijskog podatka o veličini radijalnog prirasta R_t i očekivane veličine prirasta dobijene iz modela G_t za svaku proučavanu godinu t (Cook & Kairiukstis, 1990):

$$I_t = \frac{R_t}{G_t} \quad (3)$$

Dobijene serije indeksa radijalnog prirasta za svako stablo zatim su uprosečene na nivou oba pojedinačna lokaliteta računanjem ponderisane robusne srednje vrednosti (engl. *biweight robust mean*) za svaku godinu. Ove srednje vrednosti određivane su prema sledećem obrascu:

$$\bar{I}_t = \sum_{t=1}^n w_t I_t \quad (4)$$

gde w_t predstavlja simetričnu težinsku funkciju na bazi robusne mere standardne devijacije, definisane kao medijana, od apsolutne devijacije.

Za eliminisanje autokorelacije iz vremenskih serija upotrebljena je tehnika „izbeljivanja” (engl. *prewhitening*), koja podrazumeva autoregresivno modelovanje sa pokretnim prosecima za greške – ARMA:

$$I_t = \phi_n I_{t-n} + w_t + \theta_m w_{t-m} \quad (5)$$

gde je sa I_t označen prirast u tekućoj i n-toj prethodnoj godini, w_t je beli šum u tekućoj i m-toj prethodnoj godini, a ϕ i θ predstavljaju pripadajuće autoregresivne koeficijente. Iz prethodnog izraza, evidentno je da ARMA predstavlja autoregresiju sa autokorelisanim greškama. Za odabir reda autoregresionog modela korišćeni su oblici sa najmanjim iznosima AIC kriterijuma:

$$AIC = -2 \cdot \log(Lik) + 2 \cdot n_{par} \quad (6)$$

Drugi korak podrazumeva formiranje serija reziduala, koji se određuju tako što se od iznosa u posmatranoj godini oduzima iznos koji se dobije u autoregresivnom modelovanju. Dobijene razlike predstavljaju prečišćene ostatke (rezidualne) koji više nemaju autokorelaciju. Kao rezultat ovog postupka, za svako stanište biće formiran i drugi tip hronologija, koje se nazivaju *rezidualne stanišne hronologije indeksa radijalnog prirasta*.

Karakteristike i međusobno slaganje serija prirasta na nivou pojedinačnog lokaliteta evaluirani su pomoću parametara koji se u tu svrhu standardno koriste u različitim tipovima dendrohronoloških istraživanja: koeficijent ukupne interkorelacije sa master serijom (r_{xy}), srednji stepen senzitiviteta – *MS*, autokorelacioni koeficijent prve docnje – *AC1*, izraženost za-

jedničkog signala – *EPS* (Briffa, 1984; Wigley et al., 1984), odnos signala i šuma – *SNR* (Briffa, 1984) i iznos varijacija duž prve osnovne komponente variranja – *PC1*.

U cilju utvrđivanja zavisnosti između prirasta i klime sprovedene su, najpre, korelacione analize između sezonskih (tromesečnih) iznosa temperature i padavina i veličina indeksa radijalnog prirasta. Zatim je uticaj pojedinačnih meseci na formiranje prirasta istražen putem korelacionih i tzv. odzivnih funkcija. Ove analize izvršene su u okviru tzv. *treeclim* biblioteke (Zang & Biondi, 2015). Za još detaljniji uvid u prirodu reakcije stabala hrasta kitnjaka na promenu klimatskih elemenata na analiziranom području korišćen je i standardizovani indeks suše – *SPEI* (Vicente-Serrano et al., 2010).

3. REZULTATI / RESULTS

3.1 Karakteristike empirijskih serija i serija indeksa prirasta / Quality indicators of the empirical and indices increment chronologies

Osnovne karakteristike izmerenih (empirijskih) serija radijalnog prirasta stabala kitnjaka na analizirana dva lokaliteta predstavljene su u tabeli 1. Jedan od limitirajućih faktora, koji ograničava pouzdanost prikupljenog dendrohronološkog materijala, jeste i reprezentativnost veličine uzorka, odnosno broj serija radijalnog prirasta i broj godina u serijama (Stajić, 2014). U ovde sprovedenim istraživanjima prosečna „dubina“ uzorka sa najmanje pet veličina prirasta u kalendarskoj godini datira do 1848. godine (BR100) i 1851. godine (LR031b). Ukupna dužina hronologija empirijskih veličina prirasta iznose 165 godina (BR100) i 168 godina (LR031b). Aritmetička sredina (\bar{t}) pojedinačnih serija empirijskih veličina prirasta za BR100 iznosi: 1,35 mm (RW), 0,89 mm (LW) i 0,46 mm (EW), a za LR031b: 1,27 mm (RW), 0,89 mm (LW) i 0,38 mm (EW). Standardne devijacije (SD) veličina

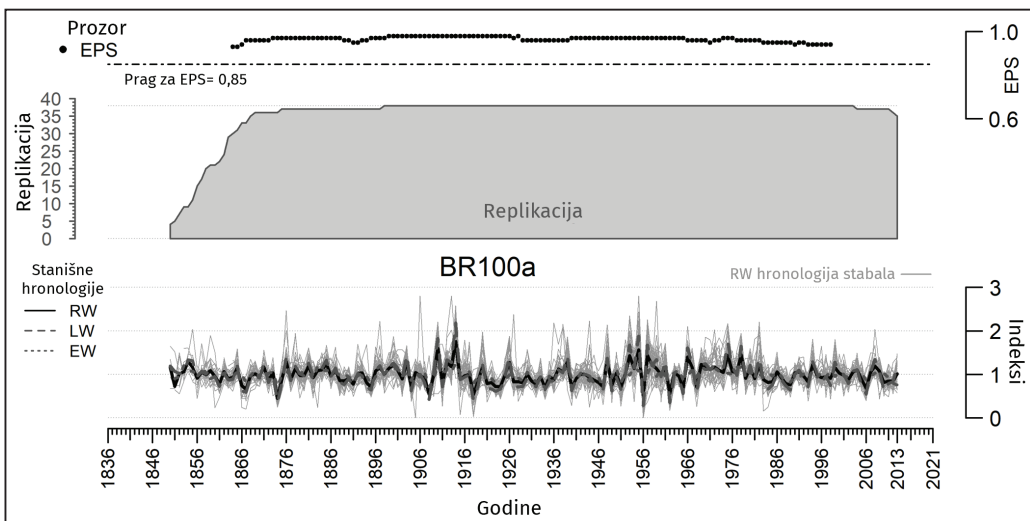
prirasta svih komponenti godina sličnih su iznosa za obe sastojine.

U sklopu statističkih pokazatelja u tabeli 1 prikazani su još i prosečni iznosi koeficijenta autokorelacije prvog reda (*AC1*) i srednjeg stepena senzitiviteta (*MS*). Iznosi *AC1* najviši su za RW (0,64 i 0,70), a najmanji za EW (0,31 i 0,44). Iznosi *MS* od 0,37 i 0,39 za serije LW, 0,26 i 0,28 za RW i 0,26 i 0,30 za EW pokazuju da veličine prirasta LW značajno više osciliraju u poređenju sa veličinama prirasta ostalih komponenti godina, koje međusobno pokazuju sličan način variranja.

U tabeli 1 prikazane su i veličine pokazatelja nivoa zajedničkog signala u rastu (G/k , r_{xy} i t_{bp}), koje su skoro identičnih rezultata za obe sastojine i najveće su za serije prirasta RW. Prema dobijenim rezultatima, prisutan je poželjan nivo slaganja tokova rasta pojedinačnih serija i master hronologije, što je uslovalo pristupanje izradi rezidualnih hronologija indeksa radijalnog prirasta.

Tabela 1. Osnovne karakteristike empirijskih serija ukupnog prirasta (RW), prirasta kasnog drveta (LW) i prirasta ranog drveta (EW) stabala kitnjaka u sastojinama BR100a i LR031b. Detaljan opis parametara i značenje skraćenica dati su u tekstu / **Table 1.** Characteristics of the empirical series of radial increment (RW), late wood increment (LW) and early wood increment (EW) sessile oak trees in BR100a and LR031b stands. A detailed description of the parameters and a meaning of the abbreviations are given in the text

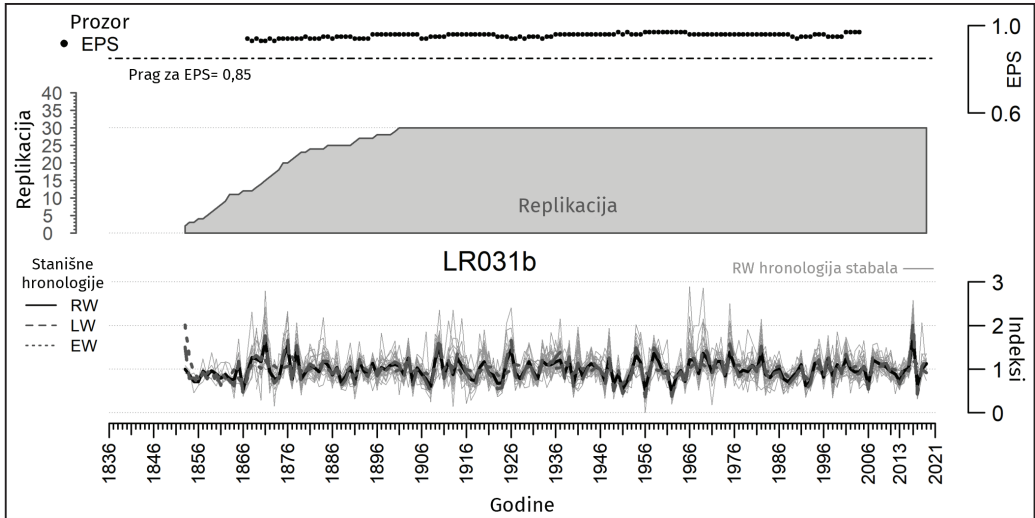
Sastojina	Stabala	Serija	≥ 5 veličina radijalnog prirasta		Prosečno za obe sastojine									
					Broj godova	Vrsta serije	Statistički pokazatelji				Slaganje sa master hronologijom			
							\bar{i}	SD	AC1	MS	Glk	r_{xy}	t_{bp}	
1	BR100	20	38	1848	2013	157	EW	0,46	0,16	0,44	0,26	0,55	0,34	1,69
							LW	0,89	0,64	0,64	0,37	0,68	0,69	7,07
							RW	1,35	0,71	0,70	0,26	0,71	0,74	8,42
2	LR031b	15	30	1851	2019	150	EW	0,38	0,13	0,31	0,30	0,53	0,21	0,84
							LW	0,89	0,58	0,59	0,39	0,69	0,72	7,59
							RW	1,27	0,62	0,64	0,28	0,71	0,75	8,63



Grafikon 1. Nivo replikacije uzorka, rezidualne stanišne hronologije RW, EW i LW i veličine EPS (BR100a) / **Figure 1.** Sample depth, mean site residual RW, EW i LW chronologies and the values of EPS (BR100a)

Najvažnije karakteristike rezidualnih master ili lokalnih hronologija (u daljem tekstu hronologija) RW, EW i LW obe sastojine (lokaliteta) prikazane su na grafikonima 1 i 2. U odnosu na serije radijalnog prirasta, dužine hronologija usklađene su sa tzv. stepenom izraženosti populacionog signala (EPS). Veličine EPS za RW hronologije oba lokaliteta prikazane su u gornjem delu oba grafikona. Svaka tačka predstav-

ja iznos EPS utvrđenog u segmentima širine 30 godina, a pozicionirana je na središnju godinu u okviru obuhvaćenog perioda. U svrhu sveobuhvatne analize promene zajedničkog signala pojedinačnih stabala, uspostavljeni segmenti pomerani su za po jednu godinu od početka do kraja hronologije. Na taj način omogućeno je da se analizira promena stepena izraženosti populacionog signala kroz vreme. Pored toga,



Grafikon 2. Nivo replikacije uzorka, rezidualne stanišne hronologije RW, EW i LW i veličine EPS (LR031b) / **Figure 2.** Sample depth, mean site residual RW, EW i LW chronologies and the values of EPS (LR031b)

prikazana je i pozicija opšteprihvaćenog praga EPS od 0,85, u formi crne linije koja se sastoji iz uzastopne smene tačaka i crta. U centralnom delu svakog od grafikona jasno je vidljiva oznaka oglednog polja i predstavljena replikacija uzorka pomoću sivo obojenog poligona

nepravilnog oblika. U donjem delu grafikona prikazane su stanišne hronologije RW, EW i LW crnom punom, isprekidanom i istačkanom linijom. U pozadini sve tri vrste stanišnih hronologija, sivom bojom predstavljene su RW hronologije svih pojedinačnih stabala na OP.

Tabela 2. Osnovne karakteristike hronologija ukupnog prirasta (RW), prirasta kasnog drveta (LW) i prirasta ranog drveta (EW) stabala kitnjaka u sastojinama BR100a i LR031b. Detaljan opis oznaka i značenje skraćenica dati su u tekstu / **Table 2.** Characteristics of the residual chronologies of radial increment (RW), late wood increment (LW) and early wood increment (EW) sessile oak trees in BR100a i LR031b stands. A detailed description of the parameters and a meaning of the abbreviations are given in the text.

	Sastojina	Od	Do	Broj godova	Vrsta serije	MS	AC1	EPS	SNR	PC1
1	BR100a	1849	2013	164	EW	0,12	0,14	0,82	6,09	0,21
					LW	0,32	-0,01	0,94	21,90	0,49
					RW	0,24	-0,05	0,96	25,94	0,53
2	LR031b	1853	2019	167	EW	0,11	0,33	0,71	2,43	0,14
					LW	0,35	-0,02	0,95	17,57	0,51
					RW	0,25	-0,01	0,95	20,21	0,55

Osnovne dendrohronološke/statističke karakteristike serija indeksa prirasta (hronologija) RW, EW i LW stabala hrasta kitnjaka date su u tabeli 2. Procedura autoregresionog modelovanja pojedinačnih indeksa prirasta uticala je

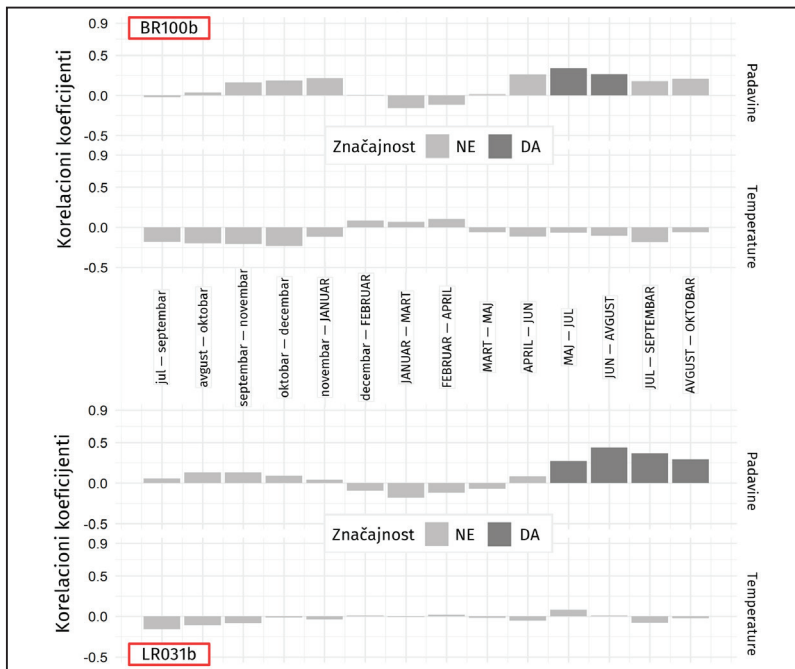
na njihovu dužinu, pa je vremenski interval koji obuhvataju rezidualne hronologije kraći za jednu kalendarsku godinu u odnosu na period kod empirijskih serija (164 i 167 indeksa prirasta za isti broj godina). Primenjenim pos-

tupcima detrendovanja i uprosečavanja umanjena je veličina koeficijenta MS kod sve tri vrste serija prirasta, a autokorelacija je skoro u potpunosti eliminisana. Utvrđeni iznosi EPS i SNR za serije indeksa prirasta RW i LW stabala prilično su veliki. Sledeći pokazatelj koji može okarakterisati jačinu zajedničkog signala u rastu jeste tzv. odnos između „šuma” i zajedničkog „signala” – SNR. Veličine SNR za obe sastojine (tabela 2) najveće su za RW hronologije i iznose skoro 26,0 (BR100a) i 20,2 (LR031b). Procenat varijanse objašnjene sopstvenim vektorima u analizi glavnih komponenti (PCA) predstavlja sledeći parametar kojim se karakterišu stanišne hronologije. Veličine varijanse objašnjene 1. sopstvenim vektorom (prvim vektorom u analizi glavnih komponenti) – PC1 najveće su, takođe, kod RW hronologija, pa zatim kod LW i, na kraju, EW hronologija.

Dobijeni rezultati pokazuju da su prosečne veličine svih parametara (MMS, AC1, EPS, SNR i PC1) za utvrđeni zajednički period veoma bliske kod RW i LW master hronologija, te je za dalju analizu uticaja klimatskih elemenata na rast i prirast stabala hrasta kitnjaka na području NP „Đerdap” odabrana rezidualna RW hronologija.

3.2 Zavisnost klime i prirasta stabala hrasta kitnjaka / Climate-radial growth relations of Sessile oak trees

U svrhu sagledavanja zavisnosti prirasta stabala hrasta kitnjaka od klime utvrđeni su, najpre, korelacioni koeficijenti između sezonskih (različiti tromesečni vremenski periodi) podataka o temperaturi i padavinama i master hronologija radijalnog prirasta kitnjaka u obe ovde istraživane sastojine na području NP „Đerdap”, po instrukcijama i na način kako su to sproveli Stajić & Kazimirović (2018).

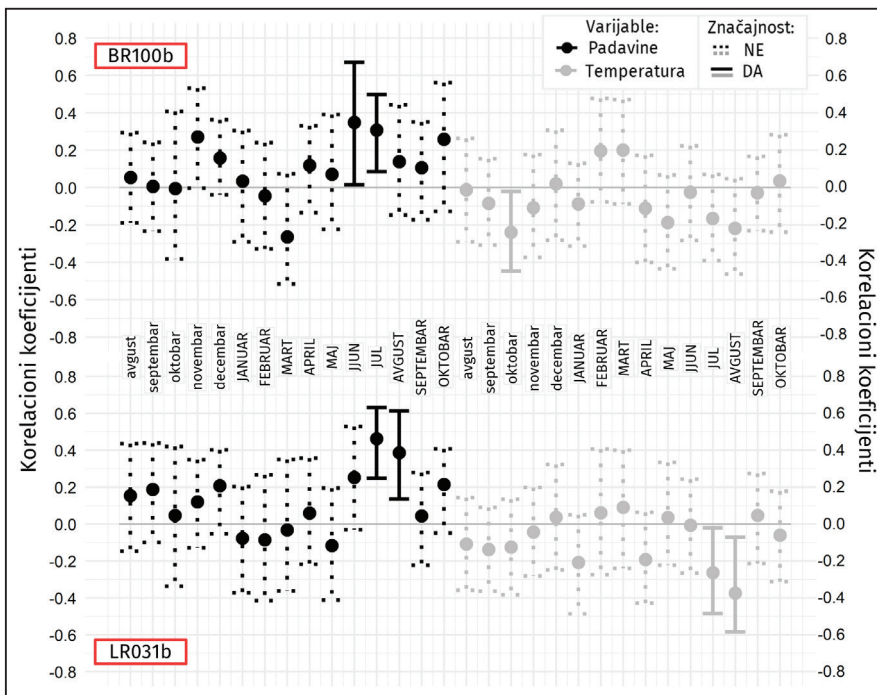


Grafikon 3. Korelacioni koeficijenti između sezonskih (tromesečnih) klimatskih parametara i stanišnih hronologija radijalnog prirasta za sastojine BR100a i LR031b. Detaljan opis oznaka i značenje skraćenica dati su u tekstu / **Figure 3.** The correlation between the seasonal (three-months) climate parameters and growth indices of residual site chronology for BR100a i LR031b stands. A detailed description of the marks and a meaning of the abbreviations are given in the text

Rezultati korelacione analize sezonskih (tromesečnih) klimatskih podataka i hronologija radialnog prirasta lokaliteta BR100a i LR031b prikazani su na grafikonu 3. Tom prilikom razmatran je uticaj ukupno 14 tromesečnih perioda, koji pokrivaju period od avgusta prošle godine do oktobra tekuće godine. S tim u vezi, meseci iz prethodne godine napisani su malim, a meseci iz tekuće godine velikim slovima. Veličine korelacionih koeficijenata predstavljene su stubićima obojenim u dve nijanse sive boje, od kojih ona tamnija označava iznose koji se statistički signifikantno razlikuju od nule ($p < 0,05$). Dobijeni rezultati pokazuju postojanje statistički značajnog pozitivnog uticaja uvećanih padavina na radialni prirast kitnjaka na obama lokalitetima. Sa aspekta iznosa padavina, statistički signifikantna tromesečja koja utiču na značajno povećanje godišnjih iznosa prirasta stabala kitnjaka i iznosi korelacionih koeficijenata u tim periodima u sastojini BR100a

jesu maj–jul (0,34) i jun–avgust (0,27), a u sastojini LR031b jesu: maj–jul (0,27), jun–avgust (0,44), jul–septembar (0,37) i avgust–oktobar (0,29). Kod obe master hronologije nisu utvrđeni periodi u kojima je korelacija između njihovih vrednosti i sezonskih podataka o temperaturi bila statistički značajna (grafikon 3).

Uticaj klimatskih uslova u pojedinačnim mesecima na iznose prirasta stabala kitnjaka na oba lokaliteta analiziran je korelacionom analizom u kojoj su kao varijable uzeti mesečni podaci o temperaturi i padavinama u periodu od avgusta prethodne godine do oktobra tekuće godine (grafikon 4). Korelacije (korelacioni koeficijenti) prikazane su pomoću vertikalnih linija koje spajaju donje i gornje veličine koeficijenata (r_{xy}), pri čemu su srednji iznosi predstavljeni krugovima odgovarajuće boje. Crnim linijama prikazani su rezultati vezani za padavine, a sivim za temperaturu. Kod signifikantnih iznosa korelacije ($p < 0,05$) vertikalne linije su pune, a ukoliko



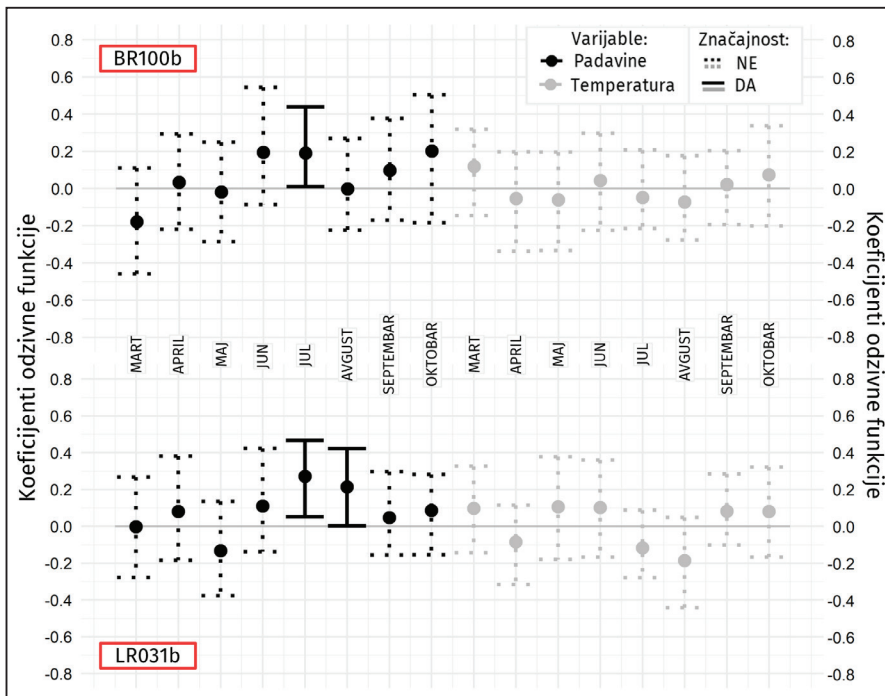
Grafikon 4. Korelacioni koeficijenti između mesečnih klimatskih podataka i rezidualnih stanišnih hronologija hrasta kitnjaka za lokalitete BR100a i LR031b / **Figure 4.** The correlation between the monthly climate parameters and growth indices of residual site chronologies for BR100a i LR031b

se radi o statistički beznačajnim koeficijentima, linije su isprekidane. Označavanje meseci je identično kao i na prethodnom grafikonu. Dobijeni rezultati pokazali su da postoji statistički značajan pozitivan efekat povećanih padavina u junu ($r_{xy} = 0,35$) i julu ($r_{xy} = 0,31$) na lokalitetu BR100a i u julu ($r_{xy} = 0,46$) i avgustu ($r_{xy} = 0,39$) tekuće sezone rasta na lokalitetu LR031b na veličinu ostvarenog godišnjeg radialnog prirasta. Pored toga, nije utvrđeno postojanje statistički značajnog uticaja padavina iz prethodne godine na veličinu prirasta tekuće godine. Takođe, nije utvrđen ni statistički negativan uticaj povećanih iznosa ovog klimatskog faktora na prirast kako u mesecima tekuće tako i u mesecima prethodne godine.

Iznosi srednjih mesečnih temperatura tekuće godine nisu pokazale značajan nivo slaganja sa prirastom tekuće godine ostvarenim u sastojini BR100a, te nije zabeležen ni negativan ni

pozitivan uticaj temperature. S druge strane, u sastojini LR031b utvrđeno je da visoke temperature tokom jula ($r_{xy} = -0,26$) i avgusta ($r_{xy} = -0,37$) tekuće godine imaju značajan negativan efekat na veličinu prirasta te godine. Za razliku od padavina, utvrđen je statistički negativan uticaj povišenih mesečnih temperatura iz prethodne godine (konkretno u oktobru, $r_{xy} = -0,24$) na veličinu prirasta u tekućoj godini, ali samo za kitnjak sa lokaliteta BR100a.

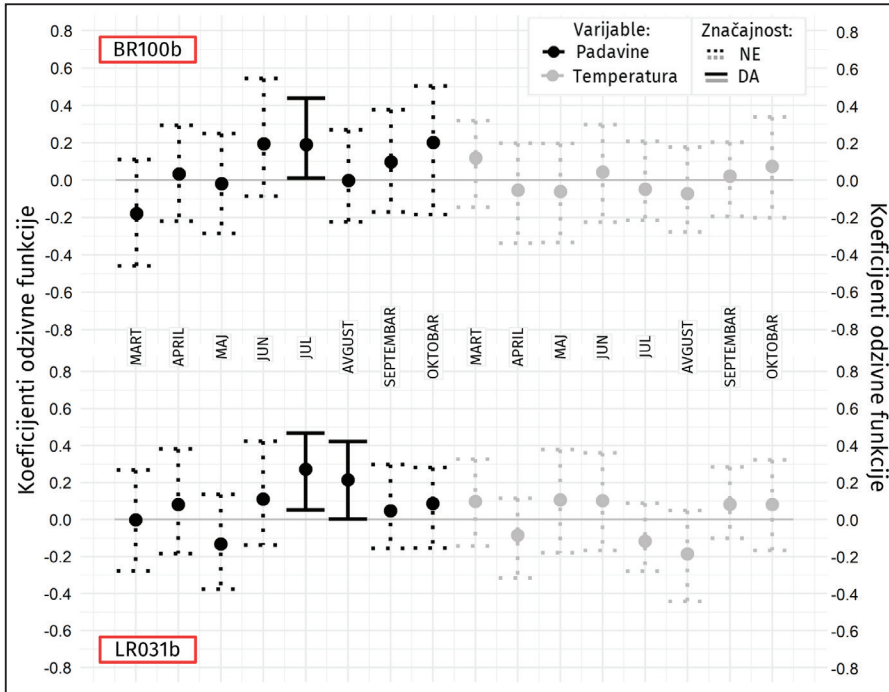
Nakon utvrđene zavisnosti između obe master hronologije i srednjih mesečnih temperatura i suma padavina, analizirana je i priroda njihove veze i sa iznosima standardizovanog indeksa padavina i potencijalne evapotranspiracije – SPEI. Rezultati korelacione analize između indeksa radialnog prirasta i iznosa SPEI integrisanog za tri meseca (SPEI3) prikazani su na grafikonu 6. Izračunati koeficijenti korelacije označeni su na osnovu središnjeg meseca iz tromesečnog



Grafikon 5. Koeficijenti odzivnih funkcija između stanišnih hronologija radialnog prirasta stabala kitnjaka i mesečnih padavina i temperature i u sastojinama BR100a i LR031b. Punom linijom označeni su meseci sa značajnim koeficijentima / **Figure 5.** Response coefficients calculated between residual chronologies and monthly temperature and precipitation. Filled bars indicate months with significant response coefficients

perioda za koji je SPEI3 izračunavan. Prilikom označavanja značajnosti koeficijenta korelacije korišćena je notacija uspostavljena na prethodnom grafikonu. Dobijeni rezultati pokazali su da

postoji statistički značajan pozitivan efekat iznosa SPEI3 za jul, avgust, septembar i oktobar na veličinu ostvarenog radijalnog prirasta stabala kitnjaka na oba lokaliteta.



Grafikon 6. Korelacioni koeficijenti između SPEI izračunatih za tri meseca sa srednjim mesecima od avgusta prethodne godine do oktobra tekuće godine i master hronologija radijalnog prirasta kitnjaka u sastojinama BR100a i LR031b. Punom linijom označeni su meseci sa značajnom korelacijom / **Figure 6.** The correlation coefficients between Standardized Precipitation-Evaporation Index (SPEI) of 3-month seasons and residual site chronologies for BR100a and LR031b stands

4. DISKUSIJA / DISCUSSION

4.1 Ocena kvaliteta empirijskih serija i hronologija radijalnog prirasta, prirasta kasnog i prirasta ranog drveta / Quality assessment of empirical series and chronologies of radial increment, late wood increment and early wood increment

Početni deo svakih istraživanja veze između prirasta pojedinih šumskih vrsta drveća i klimatskih elemenata odnosi se na potrebu definisanja veličine i kvaliteta uzorka i, shodno tome, kompletiranje definitivnog (konačnog)

uzorka, odnosno dendrohronološkog materijala. Kao prikladan „dendrohronološki materijal” mogu se koristiti serije radijalnog prirasta stabala, odnosno serije širina godova (što je najčešći slučaj), ali i prirasta komponenti godova – prirast ranog i prirast kasnog drveta, ali i gustina drveta, debljina ćelijskih zidova, stabilni izotopi i drugi parametri. Stoga su, pored merenja ukupnih veličina radijalnog prirasta (RW), merene i veličine prirasta ranog (EW) i kasnog (LW) drveta.

Rezultati analize kvaliteta serija prirasta sve tri komponente godova pokazali su, najpre, da dve uzastopne veličine prirasta LW, u proseku, značajno više osciliraju u poređenju sa prosečnim iznosom osciliranja dve uzastopne veličine prirasta RW i EW, koji međusobno pokazuju sličan način variranja iznosa od goda do goda. Utvrđeni prosečni iznosi variranja veličina LW, EW i RW ukazuju da iznos MS spada u kategoriju visokih (LW) i srednjih (RW, EW) prema Grissino-Mayer (2001). Utvrđene veličine tri parametra (Glk , r_{xy} i t_{bp}), definisanih u svrhu pokazatelja međuzavisnosti serija radialnog prirasta, veoma su slične za RW i LW i sa iznosima koji pokazuju da su u ovim serijama u vrlo zadovoljavajućoj meri prisutni zajednički trendovi prirasta stabala. S druge strane, iznosi parametara Glk , r_{xy} i t_{bp} za serije prirasta EW prilično su niski, s jasnim naznakama nedovoljnog nivoa podudarnosti serija prirasta ove komponente goda i nepostojanja dovoljnog zajedničkog signala u rastu stabala hrasta kitnjaka u obe sastojine. Posebno je izražen visok stepen međuzavisnosti serija RW, gde su utvrđene prosečne veličine interserijskih koeficijenata korelacije širina godova (0,74 i 0,75), koje su, prema Grissino-Mayer (2001), na gornjem pragu granice u kojima se nalaze iznosi ovih pokazatelja interserijske korelacije većine hronologija (0,550–0,75). Kod ukupne veličine prirasta (RW) i prirasta kasnog drveta (LW) konstatovano je izraženo prisustvo autokorelacije prvog reda (AC1). Shodno tome, „prečišćavanjem” prvobitnog uzorka (ukupnog broja bušenih stabala i analiziranih serija prirasta), i odbacivanjem „nepodobnih”, definitivan uzorak za dalja dendrohronološka istraživanja iznosio je ukupno 68 serija prirasta.

Nakon uspostavljanja lokalnih/master/stanišnih hronologija za oba lokaliteta (BR100a i LR031b) i sprovedenih postupaka standardizacije i uprosečavanja serija prirasta (tzv. robusno uprosečavanje) konstatovano je umanjeње srednjeg stepena senzitiviteta (MS) kod hronologija za oba staništa. Značajno veće iznose MS imaju LW, pa RW hronologije, dok je kod EW

zabeležen minimalan stepen variranja indeksa prirasta. Primenom odgovarajućeg postupka autoregresionog modelovanja, iz standardizovanih indeksa uklonjeno je neželjeno svojstvo autokorelacija vremenskih serija, te su poželjno niski iznosi AC1 registrovani kod LW i RW hronologija i koji se statistički značajno ne razlikuju od nule. Stepem izraženosti zajedničkog populacionog signala (EPS) iznad je minimalnog praga od 0,85 samo kod LW i RW hronologija. Ukoliko međusobno uporedimo EPS kod ove dve vrste serija indeksa prirasta, evidentno je da RW hronologije imaju u proseku za 0,02 veće iznose, što je zanemarljivo. Nasuprot tome, veličina EPS kod EW hronologija ni u jednoj sastojini ne dostiže nivo koji odgovara usvojenom pragu, što ponovo ukazuje na činjenicu da u ovom delu prirasta ne postoji izražena zajednička reakcija na promene uslova za rast. Dobijeni rezultati pokazali su da je na oba lokaliteta prisustvo „signala” prema „šumu” – koeficijenta SNR – jače izraženo kod hronologija RW u odnosu na LW hronologije. Shodno prethodnom, može se zaključiti da utvrđene stanišne LW hronologije i RW hronologije poseduju visok nivo kvaliteta, da su definisane serije indeksa prirasta u dovoljnoj meri očišćene od neklimatskih uticaja, te da je korišćeni prečišćeni i homogenizovani uzorak dendrohronološkog materijala dovoljan da se „uhvati” željeni „signal”, koji reprezentuje zajednički varijabilitet prisutan u rastu hrasta kitnjaka u datim stanišnim uslovima. Iako LW hronologije pokazuju veću senzitivnost na promene, preostali analizirani parametri pokazali su da RW hronologije ipak imaju nešto povoljnije karakteristike, posebno veće prisustvo „signala” u odnosu na „šum”. Imajući u vidu sve navedeno, za dalja proučavanja prostornog variranja i dendrokološke analize korišćene su RW rezidualne hronologije.

4.2 Ocena relacija između klime i prirasta stabala hrasta kitnjaka / Assessment of the relationship between climate and increment of the oak trees

S obzirom na to da su istraživanja veze između prirasta hrasta kitnjaka i klime veoma retka u

Srbiji, a imajući u vidu da je sama priroda veoma uslovljena pozicijom i klimom lokaliteta na kojem se vrše istraživanja, ali i mnoštvom drugih utičućih faktora (Radaković, 2024), u cilju sticanja što vernijih saznanja o dendroklimatološkoj reakciji ove vrste drveća u Srbiji, uticaj klime na prirast stabala hrasta kitnjaka istražen je na bazi: 1) korelacije između radijalnog prirasta i sezonskih podataka o padavinama i temperaturi; 2) korelacije između radijalnog prirasta i mesečnih podataka o padavinama i temperaturi; 3) tzv. odzivne funkcije i 4) indeksa suše SPEI.

4.2.1 Padavine i prirast stabala hrasta kitnjaka / Radial increment-precipitation relations of sessile oak trees

Rezultati primene korelacione analize između prirasta i sezonskih (tromesečnih) padavina pokazali su da prisustvo veće količine padavina tekuće godine u kasno proleće / rano leto i u najtoplijem periodu leta u sastojini BR100a i u kasno proleće / rano leto, u najtoplijem periodu leta, u kasno leto i kasno leto / ranu jesen u sastojini LR031b, rezultira značajnim povećanjem prirasta hrasta kitnjaka. Uticaj padavina iz prethodne godine nije zabeležen. Da padavine u letnjim mesecima, a pogotovu u onom najtoplijem (julu) opredeljujuće utiču na prirast kitnjaka, pokazali su rezultati korelacije između master hronologija i podataka o padavinama na mesečnom nivou. Tako, najveći statistički značajan pozitivan uticaj na prirast tekuće godine imaju obilnije padavine u junu i julu (BR100a) i julu i avgustu (LR031b). Dakle, smanjenje količine padavina u julu značajno umanjuje prirast, a time i vitalnost hrasta kitnjaka u datoj godini, dok je pozitivan uticaj uvećanih junskih i avgustovskih padavina opcioni i zavisi od staništa.

Imajući u vidu da su padavine i temperatura vazduha u međusobnoj korelaciji (veća temperatura – manje padavine, i obrnuto), što u značajnoj meri može modifikovati relacije između klime i prirasta, „... ovaj problem se uspešno može rešiti transformacijom padavina i

temperature u nove nezavisno promenljive – nekorelisane veličine koje se zovu sopstveni vektori ili glavne komponente. Ovakav metod korišćenja novoformiranih ortogonalnih klimatskih podataka u regresionim analizama u cilju detekcije zavisnosti prirasta od klime naziva se tzv. analiza odzivne funkcije, engl. response function analysis...” (Fritts, 1976, cit. u Stajić & Kazimirović, 2018). U suštini, analize odzivnih funkcija jesu višestruke regresione analize koje koriste glavne komponente mesečnih klimatskih podataka da bi se izvršila procena indeksiranih veličina radijalnog prirasta (Fritts & Xiangding, 1986). Nakon primene ovog metodološkog pristupa i dekorelacije klimatskih parametara potvrđeno je da na rast hrasta kitnjaka u sastojinama na oba staništa najveći pozitivni uticaj imaju uvećane količine padavina u mesecu julu tekuće godine, dok na povećanje padavina u mesecu avgustu značajnim uvećanjem prirasta reaguje samo hrast na staništu *Quercus-Fagetum* Glišić 1971.

4.2.2 Temperatura i prirast stabala hrasta kitnjaka / Radial increment-temperature relations of sessile oak trees

Relacije između sezonskih podataka o temperaturi i prirasta hrasta kitnjaka razmatrane su za ukupno 14 tromesečnih perioda, koji pokrivaju vremenski okvir od avgusta prethodne godine do oktobra tekuće vegetacione sezone. Dobijeni rezultati primenjene korelacione analize pokazali su da kod hrasta kitnjaka koji raste na ova dva staništa nisu utvrđeni periodi godine u kojima je temperatura značajno uticala na veličinu ostvarenog prirasta. Ipak, to ne znači a priori da temperaturni režim nije značajno uticao na kolebanja u prirastu, nego da je moguće da je priroda ovog uticaja „maskirana” postupkom sezonalizacije podataka. Generalno, kada se podaci analiziraju na nivou tromesečnih perioda, postoji realna mogućnost da jedan mesec ili dva meseca sa manje izraženim iznosima klimatskih elemenata „prikriju” efekte uticaja klime iz trećeg meseca.

Analizom uticaja temperature na mesečnom nivou i prirasta kitnjaka potvrđeno je da je ovaj klimatski elemenat od daleko manjeg uticaja na formiranje prirasta nego padavine. Ipak, primenom ovog metodološkog pristupa može se uočiti značajan uticaj povišene temperature u julu i avgustu na rast i vitalnost hrasta kitnjaka na staništu *Quercus-Fagetum* Glišić 1971. Evidentno je da u takvim slučajevima kombinacije visokih letnjih temperatura utiču na vodni deficit i pojavu suše, na koju stabla reaguju zatvaranjem stoma i inhibicijom fotosinteze. Hrast koji raste na staništu *Quercetum montanum tilietosum tomentosae* Mišić 1997 još uvek ne pokazuje značajne promene u prirastu pod uticajem varijacija temperature u prethodno navedenim najtoplijim mesecima godine, ali su njegov rast i uspevanje ugroženi pojavom natprosečnih temperatura iz prethodne godine (tačnije meseca oktobra).

Negativan efekat visokih julskih temperatura na oba ovde analizirana staništa ili avgustovskih na jednom staništu, na prirast kitnjaka u tekućoj godini nije konstatovan primenom tzv. odzivnih funkcija. Ova činjenica jednim delom relativizuje prethodne zaključke i pokazuje da je hrast kitnjak u ovde analiziranim zajednicama još uvek zadovoljavajuće otporan na temperaturne oscilacije, ali da su ipak uočeni negativni predznaci početka umanjavanja prirasta i vitalnosti izazvani varijacijama ovog klimatskog elementa. Ono što je takođe važno napomenuti jeste da se primenom ovog metodološkog postupka može zaključiti da je uticaj temperature iz prethodne godine na veličinu prirasta tekuće godine ipak minoran i statistički beznačajan.

4.2.3 SPEI i prirast stabala / Radial increment -SPEI relations

Prema brojnim autorima (Levanič et al., 2013; Lévesque et al., 2013; Martin-Benito et al., 2013), primena indeksa suše može često obezbediti bolji uvid u prirodu reakcije stabala neke vrste drveća na promenu klimatskih elemenata nego primena samo podataka o padavinama i temperaturi (cit. u Stajić et al.,

2020). Iz tog razloga, za dalju analizu uticaja vremenskih uslova na rast kitnjaka na području severoistočne Srbije, pored padavina i temperature, korišćen je i standardizovani indeks suše SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010). Dobijeni rezultati pokazali su da SPEI3 ima prilično veće iznose koeficijenta korelacije i da daleko bolje korespondira sa veličinama prirasta nego mesečni podaci o padavinama i temperaturama. Npr. koeficijent korelacije između veličina SPEI3 u periodu jul–septembar iznosi 0,42 (BR100a) i čak 0,62 (LR031b). Takođe, jako visok iznos koeficijenta korelacije (0,55) može se uočiti kod SPEI3 za period avgust–oktobar na staništu LR031b. Sledeći prethodno rezonovanje, može se reći da je rast hrasta kitnjaka na ova dva lokaliteta u veoma jakoj korelaciji sa iznosima SPEI3 u najtoplijem periodu leta i u periodu kasno leto / rana jesen, ali i da radikalni prirast kitnjaka u severoistočnoj Srbiji ima značajnu pozitivnu korelaciju i sa veličinama SPEI3 u drugim delovima vegetacionog perioda: u kasno proleće / rano leto i u jesen. To praktično znači da sa povećanjem iznosa SPEI3 u letnjim i ranim jesenjim mesecima kod hrasta koji raste u ovde analiziranim stanišnim uslovima dolazi do formiranja širih prstenova prirasta.

4.3 Komparacija dobijenih rezultata sa rezultatima drugih istraživanja reakcije hrasta kitnjaka na varijacije padavina i temperature / Comparison of the obtained results with the results of other researches on the reaction of the Sessile oak to variations in precipitation and temperature

U pogledu sagledavanja uticaja padavina na prirast hrasta kitnjaka može se reći da su rezultati ovih istraživanja u saglasju sa rezultatima većine istraživanja u zemljama na području Balkanskog poluostrva, koji oslikavaju reakciju stabala ove vrste drveća u zavisnosti od količine padavina. Konstatovana dominirajuća zavisnost tokova rasta i prirasta hrasta kitnjaka od količine padavina nešto je što je čak karakteristično za rast hrasta kitnjaka u ovom

delu Evrope (Nechita & Popa, 2011; Popa et al., 2013; Stajić et al., 2015; Zafirov & Kostov, 2019; Radaković & Stajić 2021; Mészáros et al., 2022). U tom smislu, Roibu et al. (2020) konstatuju da su hrastovi, prema rezultatima većine studija veze između klime i rasta i prirasta ove vrste drveća u Evropi, generalno jako senzitivni prema padavinama, koje predstavljaju glavni limitirajući faktor koji određuje njihov rast i razvoj. U načelu, da debljinski, odnosno radialni prirast u toku letnjih meseci, opšte uzevši, više zavisi od vlažnosti zemljišta i padavina nego što zavisi od temperature, konstatovao je Holmsgaard još 1955. godine (Stamenković & Vučković, 1988). Kada govorimo o uticaju padavina na rast kitnjaka, ovde utvrđeni dominirajući pozitivan uticaj izraženijih letnjih padavina na veličinu prirasta hrasta kitnjaka konstatovan je i prilikom ovakvih istraživanja u Bugarskoj, Rumuniji, Mađarskoj i Turskoj. Razlika je većinom u tome što su količine padavina u junu značajnije za uspešan rast hrastova u ovim zemljama nego julske padavine koje su utvrđene za kitnjak u severoistočnoj Srbiji. Da povećane padavine u mesecu junu najznačajnije utiču na uvećanje prirasta stabala kitnjaka i njihovu vitalnost, utvrđeno je u Rumuniji, u zapadnom (Popa et al., 2013) i severozapadnom delu Karpatskih planina (Nechita et al., 2017). Pored toga, za hrastove na malim nadmorskim visinama i jugozapadnim ekspozicijama u severnoj Mađarskoj Mészáros et al. (2022) utvrdili su postojanje jakih relacija između prirasta kitnjaka i padavina u mesecu junu tekuće godine. Dakle, visoka količina padavina u ovim periodima favorizuje radialni prirast, dok ga niska smanjuje.

U načelu, relacije između prirasta hrastova i temperature u najvećem delu godine negativnog su predznaka, osim u specifičnim delovima godine ili područjima, kako su to npr. utvrdili Basoum et al. (2015) detektujući pozitivnu reakciju stabala hrasta u Francuskoj na uticaj natprosečnih majskih temperatura. Sumirajući rezultate ovde analiziranih metoda za sagledavanje prirode prirasne reakcije

hrasta kitnjaka sa područja Đerdapa može se uočiti da postoji daleko slabiji uticaj temperature nego padavina na prirast ove vrste drveća u obe sastojine. To odgovara zaključcima brojnih istraživanja dendroklimatološke reakcije hrastova na Balkanskom poluostrvu i u Evropi, o čemu je već bilo govora. Utvrđena činjenica da povišene temperature u letnjim mesecima, a naročito u julu, negativno utiču na ostvareni prirast kitnjaka na toplijim staništima ovog dela Srbije jedna je od odrednica dendroklimatološkog ponašanja hrastova u Evropi, kao što je to utvrđeno u Poljskoj (Cedro, 2007; Kalbarczyk et al., 2018), Moldaviji (Roibu et al., 2020), Estoniji (Läänelaid et al., 2008), Rumuniji (Nechita & Popa, 2011), Mađarskoj (Kern et al., 2013, 2009, Mészáros et al., 2022) i u drugim zemljama.

Dendroklimatološko-dendroekološki u Srbiji su najviše istraživani hrastovi, i to kitnjak, lužnjak i cer. Što se tiče kitnjaka, na području NP „Fruška gora” u veštački podignutoj sastojini hrasta kitnjaka na dubokom, kvalitetnom zemljištu Stajić et al. (2015) konstatovali su da su rast i prirast kitnjaka više pod uticajem padavina nego temperature vazduha. Ovde utvrđeni statistički pozitivan uticaj izraženijih letnjih padavina na veličinu prirasta kitnjaka na području Đerdapa nije konstatovan u istraživanjima Stajić et al. (2015). Ali, zato su detektovali značajan negativan uticaj viših temperatura u avgustu na prirast kitnjaka. Prethodne činjenice mogu se objasniti veoma kvalitetnim staništem (vrlo duboko, dobro aerobno i vodom snabdeveno zemljište), te je hrast tako imao povoljne uslove za neometan rast i bio je „u stanju da izdrži” ponekad nepovoljnije uslove vlažnosti i povećane temperature u letnjim mesecima i da ne reaguje umanjnjem prirasta i vitalnosti stabala. Značajan pozitivan uticaj padavina na veličinu prirasta u tekućoj godini prethodni autori su konstatovali samo za uvećane iznose padavina iz perioda septembar–oktobar prethodne godine. Radaković & Stajić (2021) utvrdili su za hrast kitnjak na području Nastavne baze Šumarskog fakulte-

ta „Majdanpečka domena” da su padavine u junu i julu glavni stimulatívni faktor za uspešan rast kitnjaka na tom području. Prethodni au-

tori su konstatovali, takođe, da na ovom području nije utvrđen nikakav značajniji uticaj temperature na formiranje prirasta kitnjaka.

5. ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Rezultati istraživanja reakcije hrasta kitnjaka u dve sastojine na toplijim staništima sa područja NP „Đerdap” pokazale su da je ova vrsta drveća u analiziranim stanišnim uslovima senzitivna prema iznosima padavina u letnjim mesecima na način da veće količine padavina u ovim mesecima, a naročito u julu, dovode do formiranja značajno većih godišnjih iznosa prirasta. I obrnuto – da vlažniji uslovi posebno pogoduju kitnjaku na ovakvim staništima, gde nedostatak padavina u kombinaciji sa visokom evapotranspiracijom može značajno da umanjí prirast i stvori uslove za pojavu devitalizacije stabala, pokazali su i rezultati primene SPEI indeksa suše. Uočene početne, blago zabrinjavajuće naznake o manje uspešnom rastu i smanjenju vitalnosti stabala i šuma ove vrste drveća u današnje vreme, koje karakterišu umanjene padavine i izraženije temperature u odnosu na višedecenijske proseke za ove kli-

matске elemente, delom su ublažene utvrđenim rezultatima koji pokazuju da je variranje prirasta kitnjaka mnogo manje uslovljeno varijacijama temperature nego padavina. To pokazuje da je hrast čak i na toplijim staništima još uvek dovoljno otporan na negativni uticaj nateprosečnih temperatura u letnjim mesecima.

Ovde dobijeni rezultati imaju preliminarni karakter, imajući u vidu da je cilj ovog rada bilo dobijanje osnovnih saznanja o dendroekološkom odzivu hrasta kitnjaka na dva lokaliteta u okviru područja NP „Đerdap”. U svrhu donošenja mnogo detaljnijih zaključaka o dendroklimatološkoj reakciji hrasta kitnjaka u ovakvim, ali i u drugim stanišnim uslovima neophodna su dodatna istraživanja, koja će proširiti postojeća saznanja o uticaju variranja klime na rast i prirast ove vrste i obogatiti spektar dobijenih rezultata.

Literatura / References

- Amoroso, M. M., Baker, P. J., Daniels, L. D., & Camarero, J. J. (2017). Introduction. In *Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis). Springer International Publishing.
- Baillie, M. G. L., & Pilcher, J. R. (1973). A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33, 7–14.
- Barsoum, N., Eaton, E. L., Levanić, T., Pargade, J., Bonnart, X., & Morison, J. I. L. (2015). Climatic drivers of oak growth over the past one hundred years in mixed and monoculture stands in southern England and northern France. *European Journal of Forest Research*, 134, 33–51. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0831-5>
- Briffa, K. R. (1984). *Tree-climate relationships and dendroclimatological reconstruction in the British Isles* [Doctoral dissertation]. University of East Anglia.
- Cedro, A. (2007). Tree-ring chronologies of downy oak (*Quercus pubescens*), pedunculate oak (*Q. robur*), and sessile oak (*Q. petraea*) in the Bielinek Nature Reserve: Comparison of the climatic determinants of tree-ring width. *Geochronometria*, 26, 39–45. <https://doi.org/10.2478/v10003-007-0005-2>
- Cherubini, P., Gärtner, H., Esper, J., Dobbertin, M. K., Kaiser, K. F., Rigling, A., Treydte, K., Zimmermann, N. E., & Bräker, O. U. (2004). Jahrringe als Archive für interdisziplinäre Umweltforschung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 155, 162–168. <https://doi.org/10.3188/szf.2004.0162>
- Cook, E. R. (1985). *A time-series analysis approach to tree-ring standardization* [Doctoral dissertation]. University of Arizona.
- Cook, E. R., & Peters, K. (1981). The smoothing spline: A new approach to standardizing forest

- interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin*, 41, 45–53.
- Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Copenheaver, C. A., & Abrams, M. D. (2003). Dendroecology in young stands: Case studies from jack pine in northern lower Michigan. *Forest Ecology and Management*, 182, 247–257. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00049-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00049-5)
- Dukić, V., Mirković, M., Stajić, B., Petrović, D., Kazimirović, M., & Bilić, S. (2022). Comparative analysis of the influence of climate factors on the radial growth of autochthonous pine species (*Pinus spp.*) in central Bosnia and Herzegovina. *Šumarski list*, 146(7–8), 319–331. <https://doi.org/10.31298/sl.146.7-8.4>
- Eckstein, D., & Bauch, J. (1969). Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologieschen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 88(4), 230–250.
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. The Blackburn Press.
- Fritts, H. C., & Xiangding, W. (1986). A comparison between response-function analysis and other regression techniques. *Tree-Ring Bulletin*, 46, 31–46.
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program Cofecha. *Tree-Ring Research*, 57, 205–221.
- Holmes, R. L. (1994). *Dendrochronology program library: User's manual (November update)*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona.
- Holmes, R. L., Adams, R. K., & Fritts, H. C. (1986). *Procedures used in the chronology development work, including user's manual for Cofecha and Arstan*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona.
- Kalbarczyk, R., Ziemiańska, M., & Machowska-Molik, A. (2018). Dendroclimatological analysis of radial growth of old-growth oak (*Quercus robur* L.) on the Oder River floodbank in the city of Wrocław, south-western Poland. *Drvna Industrija*, 69(2), 149–161. <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1745>
- Kern, Z., Grynaeus, A., & Morgos, A. (2009). Reconstructed precipitation for southern Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary) back to 1746 AD based on ring widths of oak. *Időjárás*, 113, 299–314.
- Kern, Z., Patkó, M., Kázmér, M., Fekete, J., Kele, S., & Pályi, Z. (2013). Multiple tree-ring proxies (earlywood width, latewood width and $\delta^{13}C$) from pedunculate oak (*Quercus robur* L.), Hungary. *Quaternary International*, 293, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.05.037>
- Läänelaid, A., Sohar, K., & Meikar, T. (2008). Present state and chronology of oaks in an oak forest in Saaremaa Island, Estonia. *Baltic Forestry*, 14(1), 34–43.
- Levanič, T., Popa, I., Poljanšek, S., & Nechita, C. (2013). A 323-year-long reconstruction of drought for SW Romania based on black pine (*Pinus nigra*) tree-ring widths. *International Journal of Biometeorology*, 57, 703–714. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0596-9>
- Lévesque, M., Saurer, M., Siegwolf, R., Eilmann, B., Brang, P., Bugmann, H., & Rigling, A. (2013). Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch. *Global Change Biology*, 19, 3184–3199. <https://doi.org/10.1111/gcb.12268>
- Martin-Benito, D., Beeckman, H., & Cañellas, I. (2013). Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research*, 132, 33–45. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0652-3>
- Mészáros, I., Adorján, B., Nyitrai, B., Kanalas, P., Oláh, V., & Levanič, T. (2022). Long-term radial growth and climate-growth relationships of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus cerris* L. in a xeric low elevation site from Hungary. *Dendrochronologia*, 76, 126014. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.126014>
- Nechita, C., & Popa, I. (2011). Dendrochronology of oak species in Vaslui region, tree-ring growth responses to climate. *Analele Universității din Oradea*, 17, 503–510.
- Nechita, C., Popa, I., & Eggertsson, O. (2017). Climate response of oak (*Quercus* spp.), an evidence of a bioclimatic boundary induced by the Carpathians. *Science of The Total Environment*, 599–600, 1598–1607. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.118>
- Popa, I., Leca, S., Crăciunescu, A., Sidor, C., & Badea, O. (2013). Dendroclimatic response variability

- of *Quercus* species in the Romanian Intensive Forest Monitoring Network. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41, 326–332.
- Radaković, N. (2014). *Radijalni prirast hrasta kitnjaka (Quercus petraea agg. Ehrendorfer 1967) i njegova zavisnost od temperature vazduha i količine padavina na području Nacionalnog parka Đerdap* [Master thesis]. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- Radaković, N., & Stajić, B. (2021). Climate signals in earlywood, latewood, and tree-ring width chronologies of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) from Majdanpek, north-eastern Serbia. *Drvena Industrija*, 72, 79–87. <https://doi.org/10.5552/drvind.2021.2016>
- Radaković, N. (2024). *Dendroklimatološka istraživanja u sastojinama hrasta kitnjaka (Quercus petraea agg. Ehrendorfer 1967) na području severoistočne Srbije* [Doktorska disertacija]. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- Schweingruber, F. H. (1983). *Der Jahrring*. Verlag Paul Haupt.
- Stajić, B. (2010). *Karakteristike sastojinske strukture i rasta stabala u mešovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području Nacionalnog parka Đerdap* [Doktorska disertacija]. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- Stajić, B. (2014). Dendrohronološka istraživanja u veštački podignutoj sastojini hrasta kitnjaka na području Fruške gore. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 109, 149–168.
- Stajić, B., Vučković, M., & Janjatić, Ž. (2015). Preliminary dendroclimatological analysis of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in "Fruška Gora" National Park, Serbia. *Baltic Forestry*, 21(1), 83–95.
- Stajić, B., & Kazimirović, M. (2018). The influence of temperature and precipitation on the increment of black pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold): A case study from the area of Mt. Rudnik. *Glasnik Šumarskog fakulteta – Bulletin Faculty of Forestry Belgrade*, 118, 143–164. <https://doi.org/10.2298/gsf1818143s>
- Stajić, B., & Vučković, M. (2023). *Rast i proizvodnost šuma* (1st ed.). Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I., Angulo, M., & Kenawy, E. A. (2010). A new global 0.5° gridded dataset (1901–2006) of a multiscalar drought index: Comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 1033–1043. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1224.1>
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 201–213.
- Zafirov, N., & Kostov, G. (2019). Main stress factors in coppice oak forests in Western Bulgaria. *Silva Balcanica*, 20, 37–52. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.8234369>
- Zang, C., & Biondi, F. (2015). Treeclim: An R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 38, 431–436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>

Summary

Although oaks are one of the dendrochronologically/dendroecologically most studied tree species in Europe, one of the regions where such research has not been carried out much is the area of Serbia. Therefore, the main goal of this study is to analyze and determine the nature of the dependence between the radial growth of the oak trees on the air temperature and the amount of precipitation in two stands in warmer site conditions in the Đerdap National Park.

Stand BR100a is located in Management Unit "Boljetinska reka", compartament 100, stand a, and stand LR031b in MU "Leva reka", compartament 31, stand b. BR100a is located at approximately 395 m above sea level, on a southern slope and classified as *Quercetum montanum tilietosum tomentosae* Mišić 1997, and LR031b belongs to the community *Querco-Fagetum* Glišić 1971 and is located at approximately 590 m above sea level, on a south/southwestern exposure.

In order to analyze the radial increment, define master chronologies, and determine the common signal in the growth of the Sessile oak and the dependence of the increment on the climate elements, the dominant trees of this species were cored (20 trees in BR100a and 18 trees in LR031b), with two cores from each tree at the height of 1.3 m. Measurements of the total size of radial growth (RW), early- (EW) and late-wood growth (LW) were made. Standard dendro-chronological-statistical indicators were used to quantify the level of agreement between the tree's growth pattern within the sample, and generally the quality of the sample, both for empirical and a series of growth indices of all increment components (chronologies).

To assess the influence of temperature and precipitation on the growth of this tree species four methodological approaches were used: (1) correlations between three-month (seasonal) temperature and precipitation values with residual chronology, (2) correlations between monthly temperatures and precipitation with residual chronology, (3) the so-called response functions and (4) correlation between SPEI drought index with residual chronology.

The research results on the reaction of the sessile oak from two stands in the NP "Đerdap" showed that this tree species in warmer sites is sensitive to the amount of precipitation in the summer months, when higher amounts of precipitations, especially in July, lead to the formation of significantly higher annual radial increment amounts and vice versa. The results of the application of the SPEI drought index also showed that wetter abundance is especially favourable for the Sessile oak in such site conditions, where the lack of precipitation in combination with high evapotranspiration can significantly reduce growth and create conditions for the occurrence of devitalization of trees. The observed initial, slightly alarming indications of less successful growth and reduction in the vitality of trees and forests of this tree species nowadays when there are reduced precipitation and more pronounced temperatures compared to the multi-decade averages, are partly mitigated by the results showing that the variations of growth sessile oak are much less affected by temperature variations than precipitation. Such observation indicates that oak, even in warmer sites, is still sufficiently resistant to the negative impact of above-average temperatures in the summer months. Expectedly, it was determined that a stronger climate signal was detected in the total size of the radial increment and the increment of LW than in the increment of EW.

The obtained results have a preliminary character, bearing in mind that the goal of this work was to acquire basic knowledge about the dendroecological response of the oak in two localities within the area of NP "Đerdap". In order to make much more detailed conclusions about the dendroclimatological reaction of the oak trees in these, but also in other site conditions, additional research is necessary, which will expand the existing knowledge about the influence of climate on the growth of this tree species and enrich the spectrum of the obtained results.

Key words: climate influence, Đerdap, radial increment, Sessile oak