

Konstrukcija dugoročne kronologije širina godova pomoću subfosilnih uzoraka hrasta lužnjaka

Knatek, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:350757>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

DIPLOMSKI STUDIJ
UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S LOVNIM GOSPODARENJEM

TONI KNATEK

KONSTRUKCIJA DUGOROČNE KRONOLOGIJE ŠIRINA GODOVA
POMOĆU SUBFOSILNIH UZORAKA HRASTA LUŽNJAKA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, rujan 2023.

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

**KONSTRUKCIJA DUGOROČNE KRONOLOGIJE ŠIRINA GODOVA
POMOĆU SUBFOSILNIH UZORAKA HRASTA LUŽNJAKA**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem

Predmet: Uzgajanje šuma II

Ispitno povjerenstvo:

1. izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac
2. Akademik prof. dr. sc. Igor Anić
3. izv. prof. dr. sc. Vinko Paulić
4. doc. dr. sc. Damir Ugarković (zamjenski član)

Student: Toni Knatek

JMBAG: 0068233577

Datum odobrenja teme: 05. 05. 2023.

Datum predaje rada: 25. 09. 2023.

Datum obrane rada: 27. 09. 2023.

Zagreb, rujan 2023.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Konstrukcija dugoročne kronologije širina godova pomoću subfosilnih uzoraka hrasta lužnjaka
Title	Construction of the long-term tree ring width chronology of subfossil european oak trees
Autor	Toni Knatek
Adresa autora	Kolodvorska 4, 34350 Čaglin
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv. prof. dr. sc Stjepan Mikac
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Domagoj Trlin mag. ing. silv. Karla Agičić univ. bacc. ing. silv. Josip Ćosić univ. bacc. ing. silv. Leo Emanović
Godina objave	2023.
Obujam	Broj stranica: 23 Broj slika: 13 Broj tablica: 3 Broj navoda literature: 14
Ključne riječi	subfosilno drvo, recentno drvo hrasta, abonos
Key words	Subfossil wood, recent oak wood, abonos
Sažetak	U ovom radu će se analizirati starosna struktura i širina godova prikupljenih uzoraka subfosilnog hrasta lužnjaka i drugih vrsta (brijest, jasen). Uzorci će se pripremiti i analizirati u dendrokronološkom laboratoriju te će se napraviti usporedba sa postojećim kronologijama subfosilnih hrastova iz Europe. Cilj istraživanja je napraviti prvu dugoročnu kronologiju hrasta za područje srednje Posavine te obzirom na rezultate rekonstruirati klimatske i hidrološke parametre.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	5
2.1. Geografski položaj	5
2.4. Klimatske prilike	5
3. METODA RADA.....	6
3.1. Prikupljanje uzoraka	6
3.2. Priprema i obrada uzoraka	8
4. REZULTATI.....	10
4.1 Statistički podaci	10
4.2. Starost istraživanih objekata	12
4.3. Širine godova	13
4.4. Povijesna rekonstrukcija sječa hrastovih šuma	14
4.5. Kronologija dobivenih serija	15
4.6. Izrada dugoročne regionalne kronologije	18
4.7. Korelacije s klimatskim čimbenicima	20
5. RASPRAVA.....	21
6. ZAKLJUČAK	22
7. LITERATURA.....	23

PREDGOVOR

S ponosom i trunkom nostalgije pišem ovaj predgovor kako bih označio kraj fakultetskog obrazovanja. Ovim putem želim zahvaliti mentoru izv. prof. dr. sc. Stjepanu Mikcu na pomoći i danonoćnoj dostupnosti i ažurnosti prilikom izrade diplomskog rada te ujedno cijelog fakultetskog obrazovanja. Također se želim zahvaliti svima koji su na bilo koji način sudjelovali u izradi diplomskog rada. Velike zahvale također idu svim kolegicama i kolegama povodom kraja našeg zajedničkog školovanja. Ova faza naših života donijela je brojne izazove, ali i trajne, neizbrisive trenutke sa brojnih terenskih nastava, stručnih praksi i vanškolskih druženja koja su nerijetko rezultirala manjkom sna. Hvala i svim prijateljima koji su oduvijek bili uz mene i jedna od najvećih podrški tokom svih razdoblja života.

Za sam kraj želim se zahvaliti svojoj obitelji, a ponajviše bratu Valentinu na iskazanom povjerenju i podršci.

1. UVOD

Dendrokronologija je znanost koja proučava godove stabala i njihovu ovisnost o klimatskim, hidrološkim, (mikro)reljefnim ili sastojinskim čimbenicima. Neke od poznatijih grana dendrokronologije su dendroklimatologija, dendroekologija, dendroarheologija i dendrogeomorfologija. U dendrokronologiji prilikom uzorkovanja najčešće se uzimaju uzorci živih stabala.

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) je najviše istraživana vrsta drveća koja je ujedno i najzastupljenija radi iznimno velike gospodarske važnosti. Dosadašnja istraživanja pokazuju kako se pomoću kronologija hrasta precizno mogu odrediti sušni periodi u povijesti (Raffalli-Deelerce et al. 2004, Čufar et al. 2008) te time bolje razumjeti okolišni uvjeti koji pogoduju rastu i razvoju nizinskih (hrastovih) šuma.

Fiziološka zrelost hrasta iznosi u prosijeku oko 300 godina stoga rijetko nalazimo starija stabla od navedenog u količini koja bi bila dovoljna za razumijevanje populacije ove vrste. Stoga da ne budemo ograničeni sa fiziološkom dobi stabala potražujemo uzorke arheološkog drveta (kuće, mostovi, crkve, subfosilno drvo) s kojima se bavi dendroarheologija čiji je zadatak produživanje kronologije živih stabala. Područje uz rijeku Savu bilo je naseljeno od davnina pa su tako poznata nalazišta iz antičkog doba na području Vinkovaca (Cibalae), Ščitarjevo (Andautonija), Sisak (Siscia), Slavonski brod (Marsonia) te druge. U to vrijeme Sava je povezivala istočni i zapadni dio Rimskog carstva (Buzov i Lalošević 2015, Buzov 2011). Također je bila i prirodna prometnica kroz gustu i neprohodnu prašumu i močvaru. Naselja uz rijeku Savu gradila su se na povišenim pozicijama, tzv. gredama.

Za vrijeme turskih osvajanja rijeka Sava je postala simbol granice između austrijskog i turskog carstva, odnosno između istoka i zapada. Obnova i repulacija posavskih sela nastupa nakon protjerivanja Turaka s ovih prostora, ali intenzivirala se tek u drugoj polovici 19. stoljeća nakon ukidanja Vojne krajine.

Tipična posavska kuća (hiža, iža ili čardak) bila je prizemnica ili katnica koje su seoski graditelji gradili horizontalnim slaganjem hrastovih planjki i njihovim spajanjem drvenim klinovima, moždenjacima (Salopek et al. 2006). Postojala su dva načina spajanja– stariji hrvatski vez ili noviji njemački vez, tzv. „njemački ćošak“.

Građevni materijal sastojao se od hrastovih planjki (tesane ili piljene daske) koje su izrađivane u šumi neposredno nakon sječe stabala. Sječa je u to vrijeme obuhvaćala prašumske sastojine i stara stabla hrasta lužnjaka uglavnom u blizini naselja zbog olakšanog transporta dobivenog građevnog materijala. Znanost koja se bavi proučavanjem povijesne građe drvenastih vrsta sa ciljem stvaranja dugoročnih kronologija naziva se dendroarheologija.

Dendroarheologija je proučavanje povijesnog i arheološkog drva iz različitih izvora kao što su subfosilni uzorci, građevne konstrukcije, arheološko drvo i dr. (Slika 1).



Slika 1. Uzorci drva iz različitih izvora od subfosila do glazbenih instrumenata (preuzeto iz: Tegel i dr. 2022)

Dendroarheološka istraživanja temelje se na analizama godova, anatomiji i drugim morfološkim i kemijskim karakteristikama drva. U osnovi dendroarheologija se temelji na principima dendrokronologije (od starogrčkog: dendron (stablo), khronos (vrijeme), -logia (proučavanje)), gdje se svaki pojedini god stabla može se precizno datirati u kalendarsku godinu budući da su godišnje varijacije u širinama godova usko povezane s godišnje varijacije u vremenskim uvjetima, što omogućuje usklađivanje uzoraka širine godova različitih stabala unutar regije.

Dendrokronologija je interdisciplinarno područje znanosti (ekologije, klimatologije, paleologije, okoliša, geofizike, antropologije, arheologije) koje omogućava dobivanje dugoročnih podataka o klimi, okolišu i raznim događajima iz godova drveta. Prikupljanjem uzoraka iz živih i mrtvih stabala te iz arheoloških nalazišta (stare kuće, subfosili) mogu se stvoriti duge kronologije (i do 1000. godina) koje služe kao "proxy" za rekonstrukcije klime i analize promjena u okolišu. (proxy - su sačuvane fizičke karakteristike prošlosti koje se nalaze u izravnim meteorološkim mjerenjima i omogućuju znanstvenicima rekonstrukciju klimatskih uvjeta tijekom duljeg razdoblja povijesti Zemlje). Prednost dendrokronologije je u tome što su klimatski signali i prošli događaji (poplave, suše, požari, bolesti, odumiranja) jasno vidljivi u godišnjim prirastima - godovima stabala, za razliku od drugih metoda kao što su bušotine, sige, palionološke analize i sl. Štoviše, godovi stabala reagiraju na višestruke klimatske učinke (temperatura, vlaga, naoblaka, sunčevo zračenje, poplave, podzemne vode), tako da se mogu proučavati različiti aspekti klime (ne samo temperatura). Takvi podaci su od velikog značaja za razumijevanje utjecaja klime na različitim razinama od pojedinog stabla, vrste pa do čitavog ekosustava kao i njihovih odgovora na klimatske promjene. Prednost dendrokronologije u odnosu na ostale metode je mogućnost precizne rekonstrukcije klimatskih prilika na rezoluciji od jednog mjeseca do jedne godine nekoliko stoljeća pa čak i do 1000. godina unatrag.

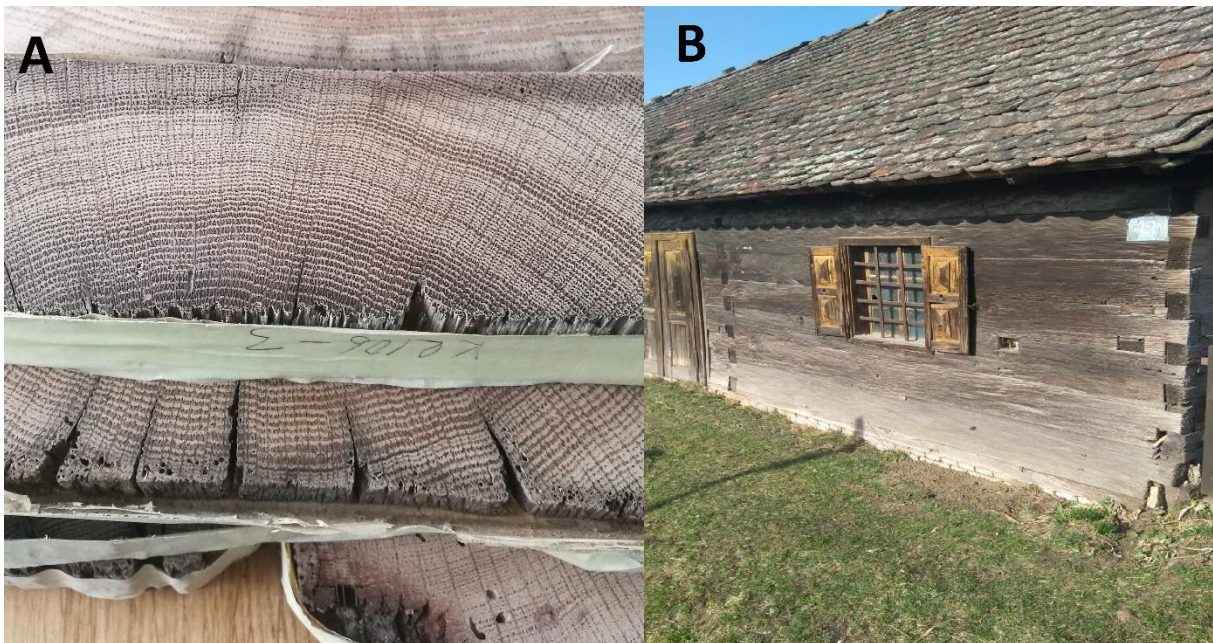
Osim rekonstrukcija klime istraživači primjenjuju principe dendrokronologije kako bi riješili ekološka pitanja i probleme vezane uz globalne promjene u okolišu. U ovom se slučaju dendrokronologija koristi za istraživanje razvoja i sukcesije šuma, režima elementarnih nepogoda (poplava, suša, požara, štetni insekata, vjetroizvale i dr.), ekotonske dinamike i odumiranja šuma. Drugim riječima pomoću dendrokronologije možemo precizno rekonstruirati ekstremne događaje u okolišu (poplave, suše, požari, štetni insekti, vjetroizvale i dr.) što nam omogućuje bolju procijenjen ranjivosti i otpornosti ekosustava i pojedinih vrsta na takve događaje ali i buduće predviđanje rizika. Također pomoću dobivenih baza podataka mogu se razviti modeli predviđanja budućeg utjecaja na navedene sektore. Svrha stvaranja dugoročnih kronologija na regionalnoj razini je upravo popunjavanje nedostataka u podacima kako bismo bolje razumjeli klimatske promjene i varijabilnosti klime daleko u prošlost.

Na području Posavine postoje mnogobrojni izvori arheološkog i subfolsinog drva hrasta i drugih nizinskih vrsta drveća koji se mogu koristiti kao izvori podataka za rekonstrukciju prošlih uvijete klime i pripadajućih klimatskih čimbenika kao što su stare posavske kuće i subfosilni hrastovi.

Subfossilno drvo ili abonos je vrsta drveta koja je nekada u davnoj prošlosti rasla uz obale velikih rijeka, u ovom slučaju rijeke Save. Mijenjanjem meandra rijeke i urušavanjem obale, stabla su se našla na dnu rijeke te su prekrivena slojem pijeska, šljunka i vodenog mulja u vodenom mediju te su stabla zbog anoksičnih uvjeta izložena usporenom procesu humifikacije.

Riječ subfossilno govori da je drvo potencijalno dugo vremena sačuvano ali bez promjene drvene strukture odnosno nije došlo do prave fosilizacije. Abonos dolazi od grčke riječi ébenos što označava tvrdo i teško drvo. Vrsta koju najčešće nalazimo u subfossilnom stanju je hrast, no mogu se naći i vrste poput brijest, jasena, smreke i dr. Abonos spada u skupinu čvrstih, izdržljivih i skupocjenih drva te je to razlog njegove izrazite cijenjenosti. Zbog dugog ležanja abonosa u vodi dolazi do reakcije tanina u drvetu i željeza u vodi što daje abonosu specifičnu tamnu boju. Uzorkovanja abonosa zahtijevaju veliki istraživački napor i značajnu tehnološku pomoć pri vađenju uzoraka s dna rijeke Save.

Lakše dostupan povijesni materijal predstavljaju stare posavske kuće do kojih se ipak može jednostavnije doći. Stoga u ovom istraživanju smo se usredotočili na uzimanje uzoraka iz starih kuća na području srednje Posavine koje su uglavnom građene od starih hrastova a još uvijek su dovoljno očuvane da bi mogle poslužiti za stvaranje dugoročnih kronologija.

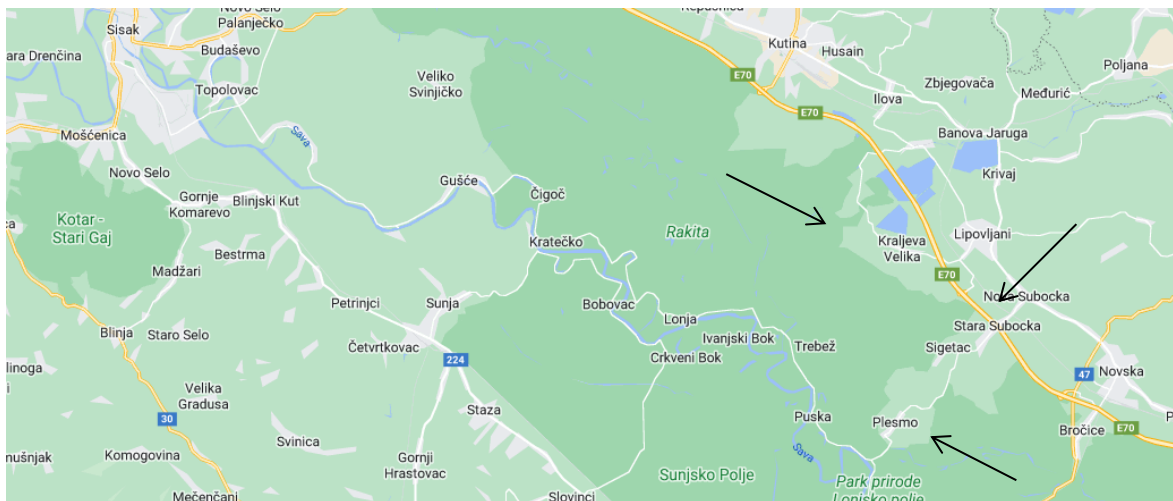


Slika 2. Stare posavske kuće

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Geografski položaj

Istraživanje je provedeno u središnjem dijelu Parka prirode Lonjsko polje u selima Krapje i Drenov Bok te Plesmu, Staroj Subockoj i Kraljevoj Velikoj koji se nalaze u rubnom području izvan granica Parka. Istraživano područje u ekološkom smislu predstavlja porječje rijeke Save gdje su šume kroz povijest bile značajno utjecane poplavama ali i ekstremnim sušama.



Slika 3. Geografski položaji lokacija uzorkovanja (izvor:<https://www.google.com/maps/>)

2.4. Klimatske prilike

Podaci o klimatskim prilikama odnose se na meteorološku postaju Kutina (114 m n. v.). Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 11,2° C, dok najtopliji mjesec srpanj odnosno srednja ljetna temperatura iznosi 20,7° C. Najhladniji mjesec je siječanj u kojem srednja zimska temperatura iznosi 1,1° C. Klima je kontinentalna, s umjerenim srednjim temperaturama. Kontinentalna klima karakteristična je po ostrim i hladnim zimama te po relativno suhim i vrućim ljetima s malo padalina.

3. METODA RADA

3.1. Prikupljanje uzoraka

Uzorkovano je ukupno 6 objekata od kojih su 2 kuće u dobrom stanju, 2 ruševine i 2 hrpe dasaka spremne za restauraciju/rekonstrukciju. Od opreme na terenu korišteno je Presslerovo svrdlo i plastične slamke za spremanje uzoraka. Svrdlo je montirano na električnu bušilicu kako bi se olakšalo prikupljanje uzoraka (Slika 4).



Slika 4. Prikupljanje uzoraka sa starih posavskih kuća

Sukladno tome i uzorkovanje je obavljeno na tri načina. Prvi način bio je uzimanje uzoraka iz zidnih planjki ili greda onih kuća koje su još u dobrom stanju i u kojima se stanuje. Drugi način obuhvaća one kuće koje su u ruševnom stanju ili su srušene te nije moguća restauracija istih pa su se uzorci uzimali prerezivanjem motornom pilom. Treći način je uzimanje uzoraka također motornom pilom na lokalitetima gdje su vlasnici pripremili stare planjke za restauraciju.

Princip rada je da se buši se do $\frac{2}{3}$ ukupnog promjera stabla. Nakon vađenja izvlakačem iz borera svrdla uzorci su stavljani u plastične slamčice koje su označavane lokalitetom i rednim brojem. Tokom uzimanja uzorka Presslerovim svrdlom (1. način) ostaje otvor promjera 5 mm koji se zatvara smjesom ljepila i piljevine, a prilikom uzimanja uzoraka motornom pilom (2. i 3. način) nije nastajala šteta jer su planjke skraćene za maksimalno 5 cm ili se pak radilo o već trulim daskama koje nisu upotrebljive.



Slika 5. Rubovi (završeci) hrastovih planjki na kojima je izvršeno uzorkovanje

3.2. Priprema i obrada uzoraka

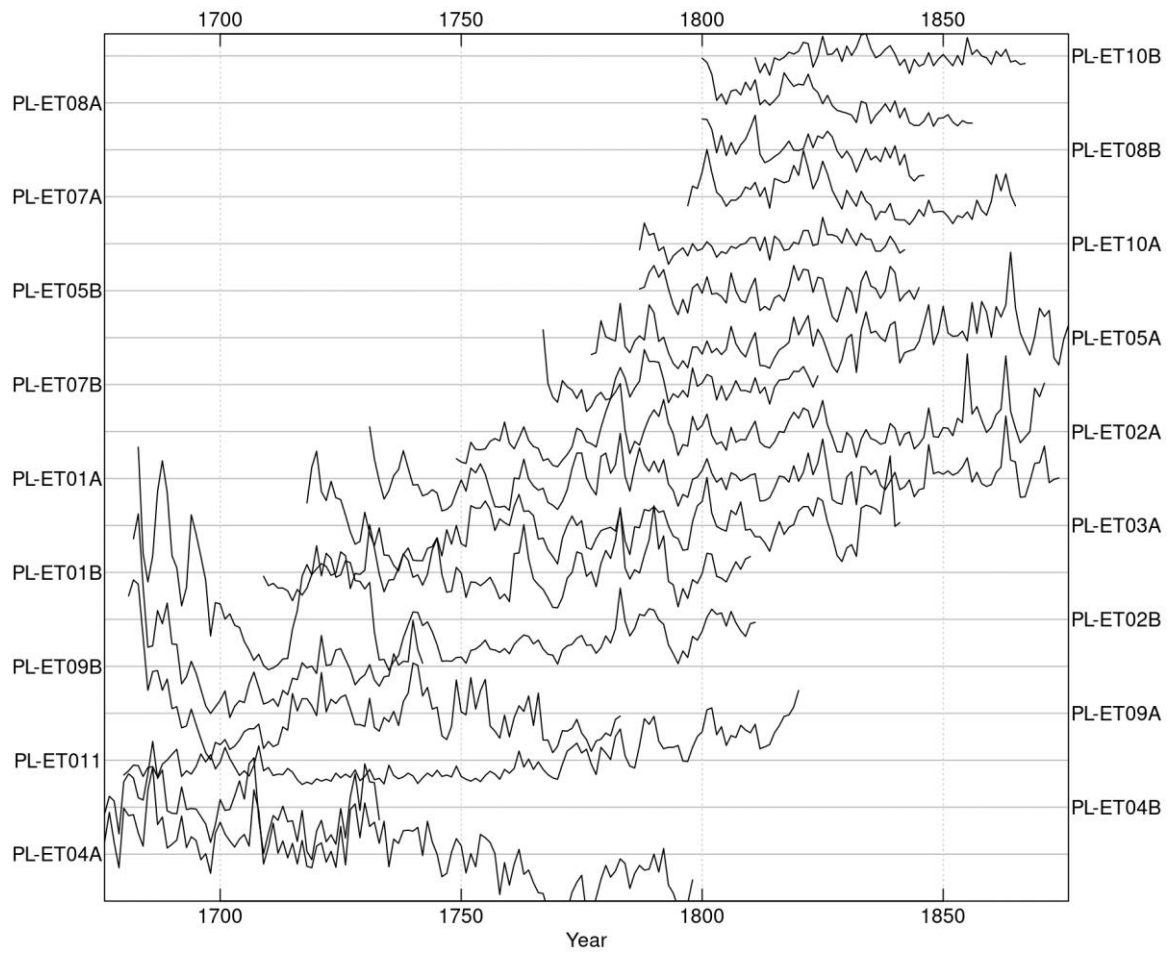
Uzorci su prebačeni u Laboratorij za dendroekologiju Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije gdje su gdje su pripremljeni za daljnju analizu. Uzorci su brušeni brusnim papirom različitih granulacija, počevši od manje do postupno veće granulacije u svrhu lakšeg uočavanja granice godova.

Potom su uzorci skenirani pomoću sustava *ATRICS* (Advanced Tree Ring Image Capturing System) sa automatiziranim mjernim stolom i digitalnom kamerom (Levanič 2008). Na tako dobivenim kompozitnim fotografijama izvršena je izmjera širina godova koristeći program *CooRecorder* (<http://www.cybis.se/dendro/>).

Usporedba i sinkronizacija dobivenih vrijednosti širina godova te datiranje izmjerenih serija u individualnu kronologiju provedeno je kombinacijom vizualne i statističke metode koristeći programe *TSAP-Win*TM (<http://www.rinntech.de/content/>). Kvaliteta datiranja je statistički provjerena koristeći program *COFECHA* (Holmes 1983).

Za usporedbu kronologije sa živućim stablima hrasta lužnjaka te stvaranje jedinstvene kronologije hrasta lužnjaka upotrijebljena je kronologija iz sekundarne prašume Prašnik s područja Stare Gradiške duljine 285 godina (Mikac et al. 2018).

Određivanje starosti istraživanih objekata provelo se na način da se posljednjoj godini svake pojedine kronologije (podacima o prirastu svakog pojedinog lokaliteta/objekta) pridoda još broj godova bjeljike drveta koji prema nekim istraživanjima iznosi 4-21 godinu (Rybníček et al. 2006, Sohar et al. 2010). Naime, svim uzorcima (drvenim planjkama) nedostaje barem bjeljika jer je to dio drveta koji se pri izradi drvnog materijala uklanjao zbog svoje podložnosti truleži. Za ovu priliku procijenjeno je da bi trebalo pridodati što veći broj godova bjeljike jer tesanjem se zadiralo i u samu srž debla kako bi planjke bile što kvalitetnije izrađene. Stoga je dodavano 20 godova. Treba napomenuti kako se ovim načinom može utvrditi maksimalna moguća starost objekata.



Slika 6. Primjer datiranja serija uzoraka širina godova s lokaliteta Plesmo. Oznake PL (lokalitet: Plesmo), broj uzorka (02) te parovi očitavanja A, B.

4. REZULTATI

4.1 Statistički podaci

Od ukupno prikupljenih 100 uzoraka obrađeno je i kvalitetno datirano 84 serije širina godova. Naime, neki su uzorci skenirani i mjereni u dvije ravnine, a neki su izbačeni iz analize zbog nepoklapanja trendova rasta sa prosjekom kronologije. Dobiveni raspon kronologije nakon datiranja svake pojedine serije iznosi 317 godina te pokriva razdoblje od 1551. do 1867. godine.

Tablica 1. 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

Prosječna razina osjetljivosti (MS) (eng. Mean sensitivity) je pokazatelj koji se 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 između stabala.

Autokorelacija prvog reda (AC1) (the first-order autocorrelation) još je poznata i kao serijska korelacija. Općenito, predstavlja utjecaj prethodnog niza podataka na promatrane podatke.

Prosječna korelacija između serija je 0.52 što je zadovoljavajuće s obzirom da se ne zna podrijetlo drvene građe, ali je za pretpostaviti da potječe iz obližnjih šuma u blizini istraživanih lokaliteta.

Prosječna starost uzoraka iznosi 118 godina što predstavlja dovoljno dugačak niz za kvalitetno datiranje pojedinih serija godina u jedinstvenu kronologiju.

Prosječna osjetljivost iznosi 0.20 što ukazuje da su uzorci dovoljno dobri za buduće analize klimatske osjetljivosti a autokorelacija prvog reda (AC1) iznosi u prosjeku 0.66 što pak ukazuje da je rast stabala hrasta značajno ovisan o uvjetima prethodne godine (Tablica 2).

Tablica 2. Osnovni statistički podaci datiranih serija

Series	First	Last	Span	Corr	Mean	Median	SD	Skew	Sens1	Sens2	Gini	AC1
1	1660	1774	115	0,73	1,93	1,91	0,47	0,20	0,23	0,23	0,14	0,31
2	1638	1761	124	0,55	2,04	1,91	0,53	0,79	0,20	0,20	0,14	0,46
3	1684	1758	75	0,54	1,60	1,58	0,65	0,86	0,24	0,23	0,22	0,72
4	1719	1777	59	0,59	2,17	2,13	0,60	0,34	0,21	0,21	0,15	0,52
5	1684	1804	121	0,68	1,96	1,89	0,55	0,40	0,22	0,22	0,16	0,48
6	1637	1740	104	0,58	2,06	1,94	0,54	0,77	0,20	0,21	0,14	0,46
7	1671	1790	120	0,10	1,09	0,89	0,55	1,55	0,19	0,19	0,26	0,82
8	1682	1746	65	0,45	2,03	2,00	0,47	0,38	0,21	0,20	0,13	0,38
10	1668	1765	98	0,52	2,09	1,99	0,63	0,58	0,18	0,18	0,17	0,66
13	1616	1721	106	0,49	1,98	1,77	0,62	1,41	0,21	0,22	0,16	0,56
17	1628	1701	74	0,24	1,13	1,10	0,49	0,93	0,34	0,34	0,23	0,42
602	1630	1781	152	0,33	1,03	0,93	0,57	3,22	0,22	0,25	0,26	0,57
11	1652	1766	115	0,77	1,35	1,29	0,50	1,03	0,22	0,23	0,20	0,64
605	1755	1782	28	0,66	3,66	3,95	1,41	-0,28	0,17	0,16	0,22	0,76
607	1702	1785	84	0,45	1,52	1,39	0,79	2,63	0,22	0,23	0,24	0,78
609	1684	1775	92	0,21	1,15	1,14	0,39	0,34	0,14	0,14	0,19	0,83
610	1731	1823	93	0,71	1,23	1,19	0,52	0,58	0,28	0,27	0,24	0,65
611	1653	1787	135	0,49	0,91	0,89	0,47	0,44	0,20	0,21	0,29	0,78
612	1666	1754	89	0,20	1,14	1,15	0,33	0,13	0,19	0,19	0,17	0,65
613	1637	1731	95	0,67	1,32	1,28	0,36	0,46	0,22	0,22	0,16	0,44
614	1648	1732	85	0,68	1,54	1,51	0,44	0,27	0,22	0,21	0,16	0,49
615	1709	1839	131	0,42	1,14	1,11	0,35	0,54	0,18	0,17	0,17	0,68
617	1724	1833	110	0,64	1,97	1,99	0,82	0,28	0,23	0,22	0,24	0,78
9	1558	1856	299	0,50	1,28	1,22	0,63	0,70	0,18	0,17	0,27	0,89
509	1683	1752	70	0,36	2,21	2,02	0,87	0,78	0,22	0,22	0,22	0,72
514	1573	1692	120	0,29	1,50	1,51	0,72	0,25	0,23	0,22	0,27	0,81
12	1557	1752	196	0,68	1,07	0,94	0,80	5,08	0,16	0,20	0,30	0,75

18	1647	1756	110	0,58	1,70	1,35	1,15	2,26	0,22	0,22	0,31	0,83
20	1713	1817	105	0,63	0,94	0,91	0,24	0,58	0,21	0,21	0,14	0,40
22	1626	1723	98	0,61	1,91	1,94	0,48	0,39	0,17	0,17	0,14	0,61
23	1583	1686	104	0,52	1,65	1,51	0,63	0,98	0,20	0,20	0,21	0,77
24	1551	1705	155	0,69	0,78	0,65	0,48	3,02	0,21	0,24	0,27	0,68
25	1575	1710	136	0,61	1,33	1,04	0,82	2,00	0,17	0,19	0,30	0,80
14	1592	1681	90	0,42	1,47	1,35	0,66	1,06	0,15	0,15	0,24	0,84
15	1620	1734	115	0,21	0,96	0,93	0,22	0,88	0,14	0,14	0,13	0,67
16	1586	1755	170	0,61	0,89	0,88	0,31	0,42	0,16	0,16	0,20	0,82
19	1576	1681	106	0,61	1,51	1,15	0,88	1,57	0,15	0,17	0,30	0,84
21	1645	1758	114	0,68	1,15	1,10	0,35	1,30	0,17	0,17	0,16	0,65
36	1571	1748	178	0,67	1,00	0,92	0,36	1,12	0,21	0,21	0,19	0,62
37	1556	1867	312	0,54	1,60	1,47	0,56	1,98	0,16	0,16	0,18	0,76
26	1624	1749	126	0,55	1,12	1,10	0,35	0,99	0,21	0,22	0,17	0,57
27	1663	1753	91	0,71	1,47	1,28	0,62	1,01	0,27	0,29	0,23	0,55
28	1652	1768	117	0,60	1,18	1,07	0,48	2,01	0,22	0,21	0,21	0,74
29	1647	1789	143	0,26	0,98	0,95	0,40	0,99	0,16	0,16	0,22	0,83
30	1608	1730	123	0,20	1,11	1,06	0,35	0,77	0,16	0,16	0,17	0,79
31	1556	1639	84	0,65	1,41	1,41	0,32	0,77	0,16	0,16	0,12	0,55
32	1597	1655	59	0,79	1,40	1,30	0,46	0,40	0,20	0,19	0,18	0,69
33	1562	1731	170	0,62	1,27	1,18	0,57	0,81	0,18	0,18	0,25	0,83
34	1602	1702	101	0,41	0,99	0,95	0,26	1,45	0,17	0,17	0,14	0,59
35	1551	1635	85	0,90	1,49	1,23	0,87	2,86	0,17	0,18	0,25	0,73

4.2. Starost istraživanih objekata

Uspješno datirane serije kronologija prema pojedinim objektima prikazane su u tablici 2. Najstariji objekt utvrđen je u Staroj Subockoj i kreće se u rasponu od 1551 – 1789. godine. Na svim istraživanim objektima utvrđena je značajna starost drvene građe koja se proteže sve do druge polovice 16. stoljeća. Osim toga indikativno se može zaključiti da su stabla koja su korištena pri izgradnji uzorkovanih posavskih kuća nastala u 16. stoljeću.

Tablica 3. Popis lokaliteta, tip i stanje objekta te broj uzoraka

Objekt	Raspon	Duljina
Drenov Bok	1616-1804	196
Krapje 01	1630-1839	106
Krapje 02	1558-1865	135
Kraljeva Velika	1551-1817	181
Plesmo	1556-1867	131
Stara Subocka	1551-1789	209

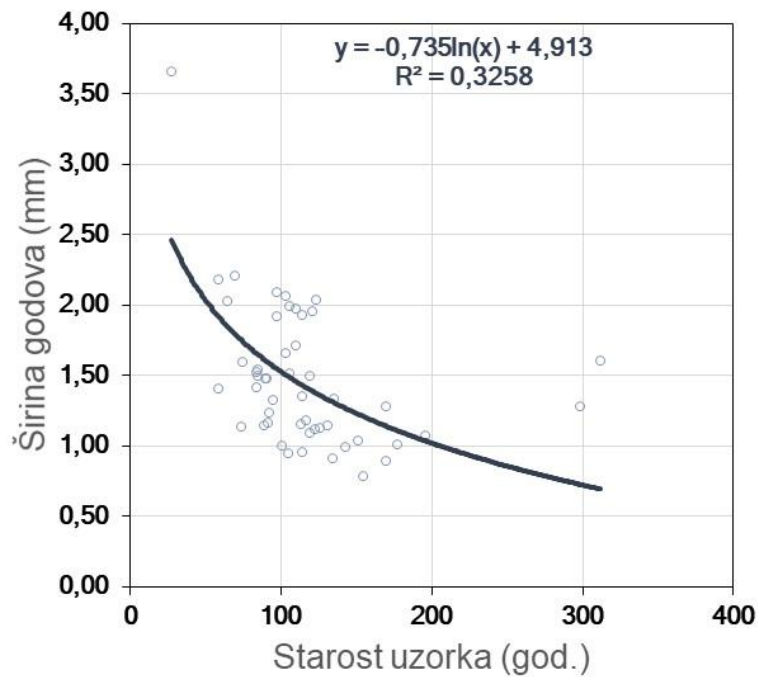
Prema navedenom principu prema kojemu bi se na posljednji god pridodalo barem 20 godova utvrđena starost objekata iznosila bi najviše 196 godina za objekt u Drenovom Boku, 160

godina za objekt Krapje-106, 133 godine za objekt Krapje-135, 181 godinu za objekt Kraljeva Velika, 131 godinu za objekt Plesmo te 209 godina za objekt Stara Subocka. Treba još jednom istaknuti da nema garancije da objekti nisu mlađi od utvrđenih starosti jer se ne zna koliko točno godova nedostaje do kore, odnosno do godine kada je stablo uistinu posječeno.

4.3. Širine godova

Prosječna širina godova svih serija uzoraka posavskih kuća iznosi 1.47 mm što je značajno manje nego u današnjim gospodarskim šumama gdje se kreće od 2 do 6 mm (Lukić 2002), ali također manje nego u prašumskoj sastojini Prašnik gdje iznosi 2.11 mm (Mikac et al. 2018). Razlog prve spomenute razlike u iznosu prosječnog prirasta je u tome što drvena građa sa istraživanih objekata potječe iz prašumskih sastojina hrasta lužnjaka gdje je bila izražena konkurencija stabala, naročito u mladosti, i gdje se nije kao u gospodarskim sastojinama moglo odabranim stablima pomagati u rastu. Zanimljivije je pitanje zbog čega postoji razlika u prirastu između uzoraka hrasta iz nekadašnjih prašuma i današnje prašume Prašnik. Ako se isključe eventualni antropogeni utjecaji koje ne možemo dokazati kao objašnjenje se nameću postupne klimatske promjene, odnosno povećanje temperature, produljenje vegetacijske sezone i veća koncentracija CO₂ (Somogyi 2008, Buntgen et al. 2011).

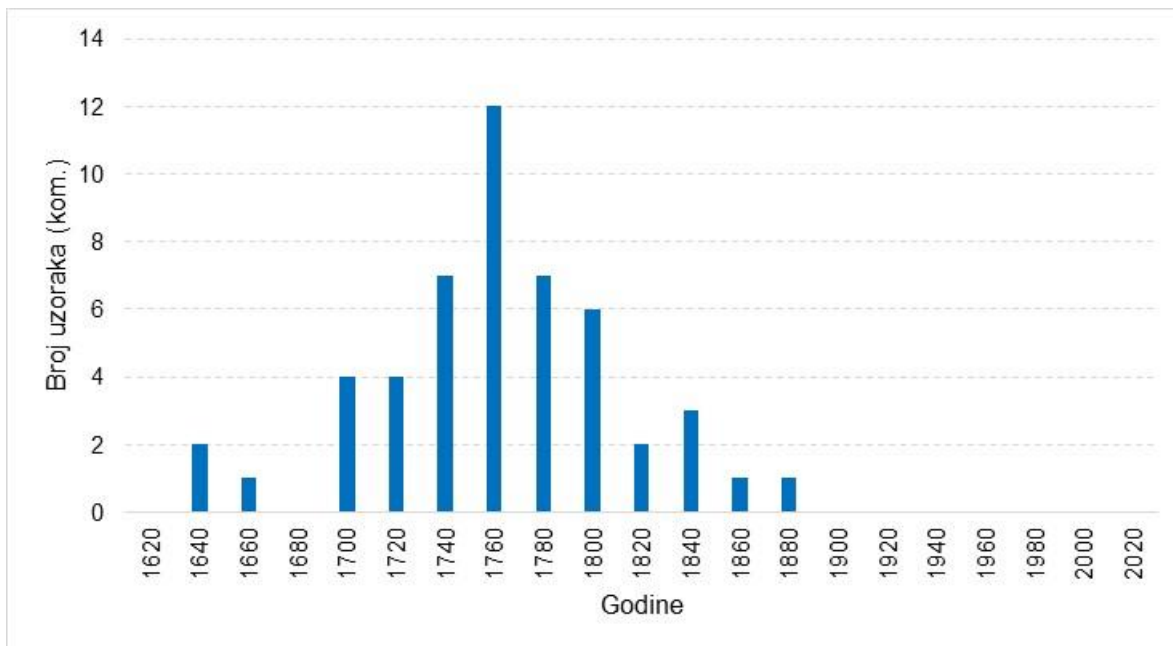
Odnos između širina godova i starosti uzoraka prikazan je na slici 7 gdje vidimo da sa povećanjem starosti značajno opada širina godova hrasta.



Slika 7. Odnos između duljine uzorka i širine godova hrasta (mm).

4.4. Povijesna rekonstrukcija sječa hrastovih šuma

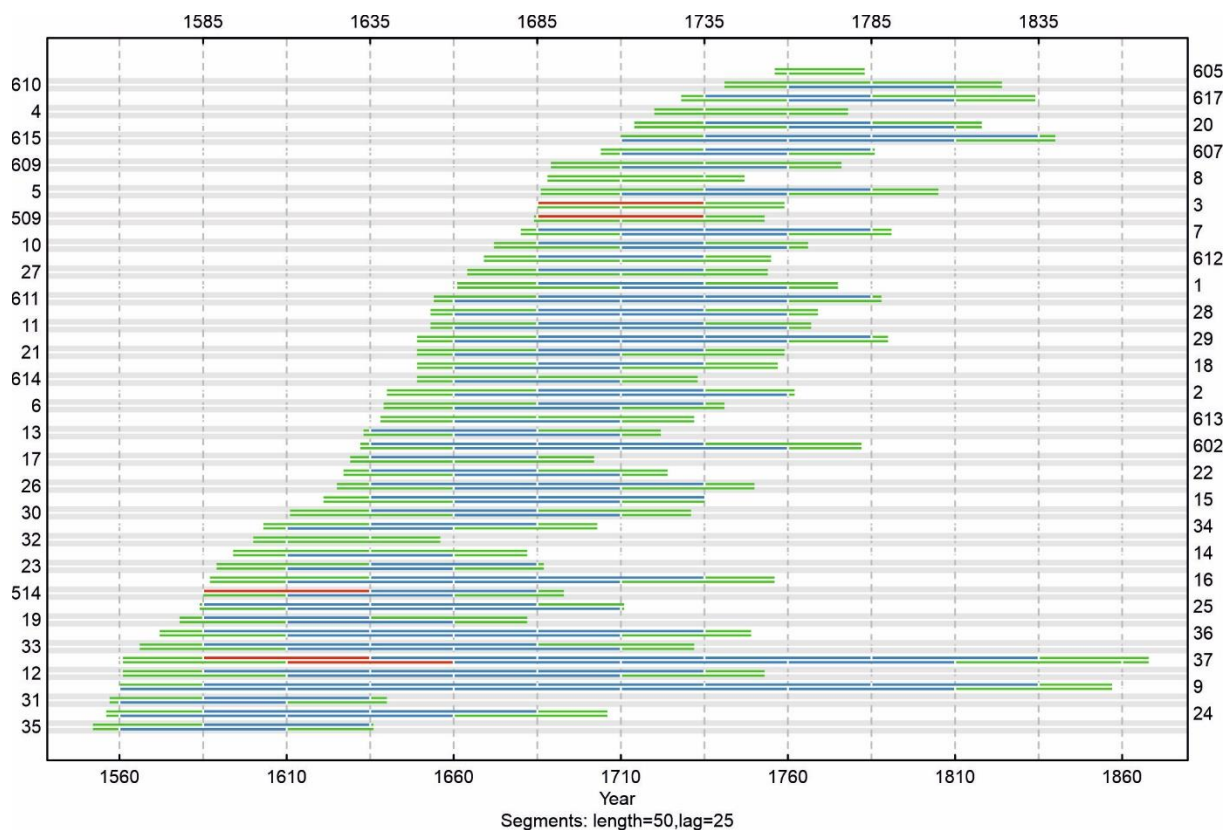
Pomoću informacija datiranih serija moguće je analizirati razdoblja kad su se posjekla stabala kojima su izgrađene uzorkovani objekti. Najviše uzoraka datira upravo u razdoblju od 1740 – 1760. godine, dakle krajem 18. stoljeća. Naravno da je vrlo teško točno utvrditi vrijeme sječe svakoj pojedinog stabla jer na uzorcima nedostaje bjelika i nemoguće je znati točnu dimenziju posječenih stabala.



Slika 8. Distribucija datiranih uzoraka prema godinama (širina klase 20. godina)

4.5. Kronologija dobivenih serija

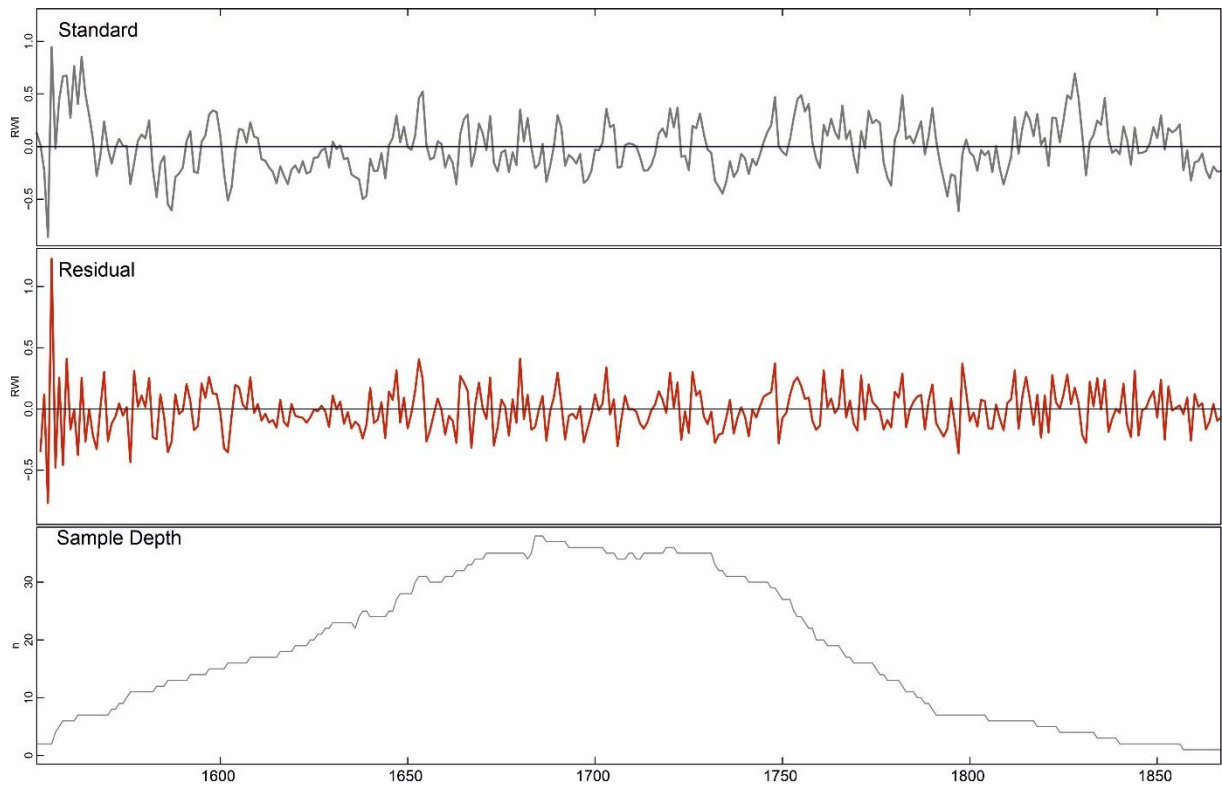
Standardizacija ili uklanjanje varijabilnosti niske frekvencije prvi je korak u analizi podataka o širini godova (TRW). Kako bi se u podacima maksimalno zadržao klimatski signal potrebno je ukloniti varijabilnosti koje su posljedica biološkog trenda rasta stabla ili gospodarskih zahvata i prirodnih nepogoda. Biološki trend rasta najočitiji je u mlađim stadijima razvoja kada stablo prirodno raste brže i ostvaruje veći radijalni prirast (juvenilno drvo).



Slika 9. Usporedba standardiziranih serija (crveno obojane su isključene iz prosječne kronologije)

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. Stoga se standardizacijom uklanjaju svi potencijalni šumovi koja nisu povezani s klimom.

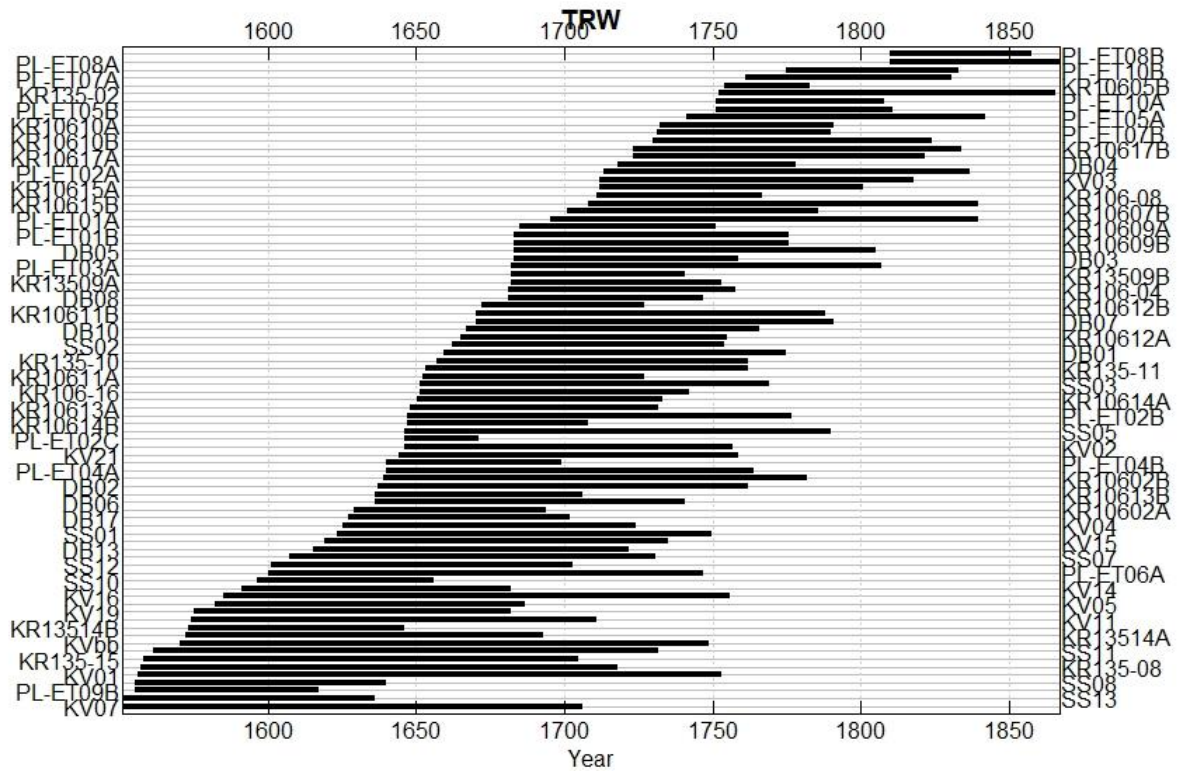
Standardizacija je provedena statističkim metodama, a za potrebe ovog istraživanja korištena je Spline funkcija (frekvencija 0,50 za period 100 godina) u programu Arstan (Cook i Krusic 2005). Prije standardizacije svaka pojedina serija (izvrtak) je stabilizirana pomoću power funkcije (Cook i Peters 1997). Rezultati tako dobivenih kronologija su prikazani na slici 10.



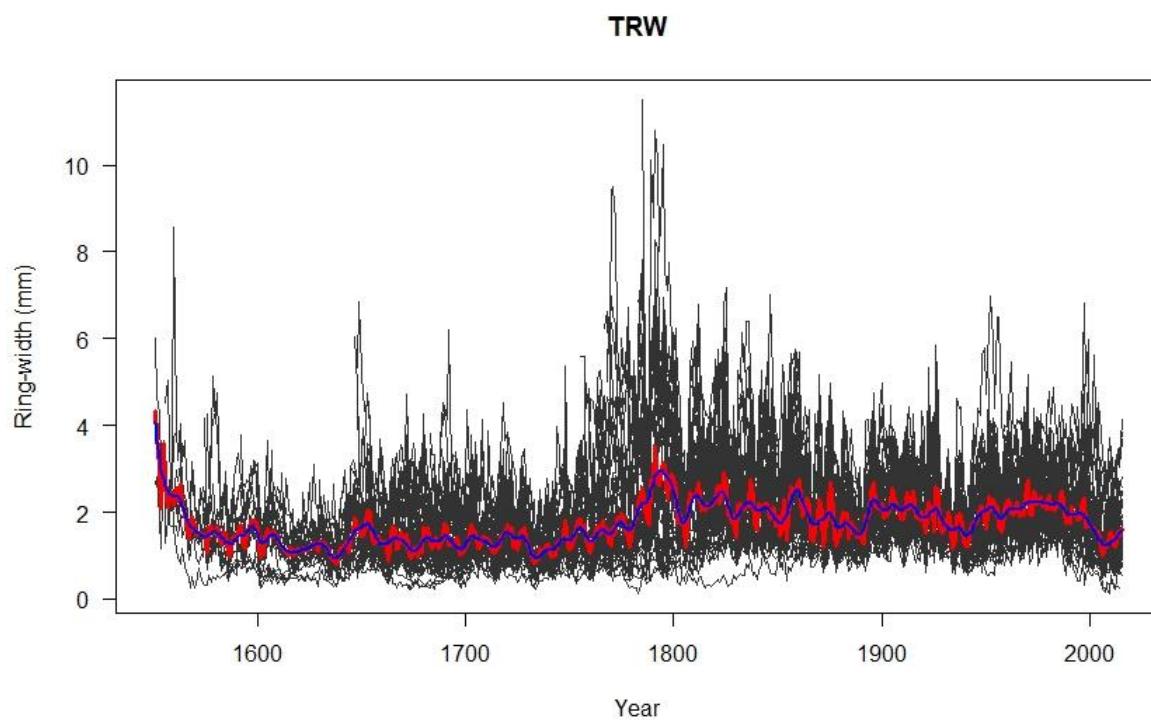
Slika 10. Standardna i rezidualna kronologija hrasta za razdoblje od 1551 – 1867. godine te broj uzoraka prema godinama (Sample Depth).

4.6. Izrada dugoročne regionalne kronologije

Dobivene serije su u konačnici spojene sa kronologijom živućih stabala hrasta lužnjaka iz sekundarne prašume Prašnik u blizini Stare Gradiške. Time je dobivena kronologija ukupne duljine 468 godina što je najdulja kronologija takve vrste u Hrvatskoj. Raspon navedene kronologije proteže se od 1551. do 2018. godine.



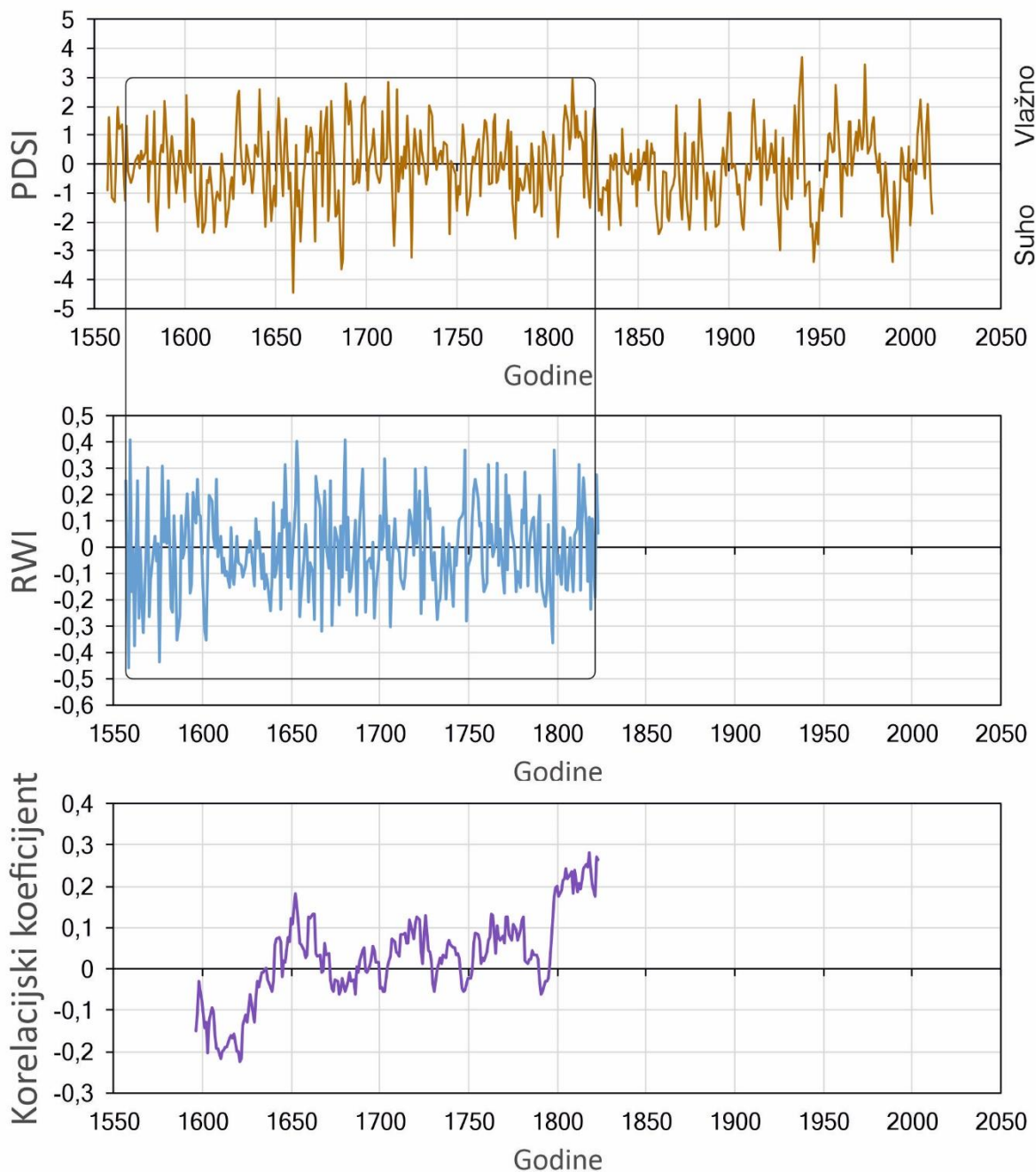
Slika 11. Prikaz duljine pojedinih serija istraživanih posavskih kuća na vremenskoj skali



Slika 12. Regionalna kronologija širina godova (TRW) hrasta lužnjaka za područje srednje Posavine (crno-pojedinačne serije; crveno-prosjek svih serija; plavo-trend rasta cjelokupne kronologije)

4.7. Korelacije s klimatskim čimbenicima

Dobivena regionalna kronologija povijesnih hrastova je korelirana sa vrijednostima Palmerovog indeksa jačine suše (PDSI) u ljeto (prosjeak lipanj – kolovoz) za razdoblje od 1557 – 1823. godine ($EPS > 0.85$) kako bismo utvrdili utjecaj suše i/ili vlage na varijabilnost rasta hrasta u promatranom razdoblju. Rezultati ukazuju da ljetne suše (JJA) nemaju značajan utjecaj na rasta stabla hrasta lužnjaka u prošlosti. Premda su korelacije niske ipak je primjetan trend povećanja korelacije između suše i rasta stabala tijekom promatranog razdoblja.



Slika 13. Analiza utjecaja suše na rasta stabala hrasta lužnjak od 17. do 19. stoljeća

5. RASPRAVA

Širina prosječnog goda uzoraka drvene građe u prosjeku je manja od širine godova današnjih hrastovih prašuma. Ukoliko se usporede dva razdoblja (1700.-1750. i 1950.-2000.) prema kojima se većina hrastova preklapa sa starosti, točnije rečeno veće su starosti. Navedeni podaci ukazuju na povećanje godišnjeg prirasta recentnih hrastovih stabala u odnosu na nekadašnje.

Razloga može biti nekoliko, no ukoliko isključimo gospodarske zahvate prvi se nameću klimatske promjene. Povećanje srednjih temperatura utječe na produljenje vegetacijske sezone što nadalje pozitivno utječe na prirast stabala. No isto tako dolazi do povećanja vjerojatnosti za napad bolesti i štetnika, između ostalog dolazi i do neposrednog povećanja mogućnosti negativnih abiotskih utjecaja (npr. orkanska nevrijemena). Stoga stabla ostvaruju veći prirast, no postaju manje rezistentna na stres što dovodi do ubrzavanja dinamike šuma. (Pretzsch i sur., 2014; Chmielewski i Rötzer, 2001).

Subfossilno drvo ili abonos je vrsta drveta koja je nekada u davnoj prošlosti rasla uz obale velikih rijeka, u ovom slučaju rijeke Save. Mijenjanjem meandra rijeke i urušavanjem obale, stabla su se našla na dnu rijeke te su prekrivena slojem pijeska, šljunka i vodenog mulja u vodenom mediju te su stabla zbog anoksičnih uvjeta izložena usporenom procesu humifikacije. Vrsta koju najčešće nalazimo u subfossilnom stanju je hrast. Zbog dugog ležanja abonosa u vodi dolazi do reakcije tanina u drvetu i željeza u vodi što daje abonosu specifičnu tamnu boju. Abonos spada u skupinu čvrstih, izdržljivih i skupocjenih drva te je to razlog njegove izrazite cijenjenosti.

Važnost ovog diplomskog rada dolazi iz toga što produžujemo dosadašnju kronologiju te ovime to postaje najduža kronologija u Hrvatskoj koja će dalje služiti za rekonstrukciju klime.

6. ZAKLJUČAK

Ovim istraživanjem dobivena je kronologija uzoraka arheološkog drveta hrasta, tj. drvene građe starih posavskih kuća u rasponu od 1551. do 1867. godine.

Dobivena kronologije spojena je sa kronologijom živućih stabala hrasta lužnjaka iz sekundarne prašume Prašnik u blizini Stare Gradiške. Time je dobivena regionalna kronologija ukupne duljine 468 godina što je najdulja kronologija takve vrste u Hrvatskoj. Raspon kronologije iznosi od 1551. do 2018. godine.

Ovakva kronologija poslužit će za rekonstrukcije klime na području nizinske Hrvatske te otkriti neke posebnosti dinamike nizinskih šuma.

7. LITERATURA

1. Anić, I., 2020: Uzgajanje šuma I. Predavanja za studente preddiplomskog studija Šumarstvo. Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 162 str.
2. Anić, I., 2021: Uzgajanje šuma II. Predavanja za studente diplomskih studija . Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 189 str.
3. Baar, J., Paschová, Z., Hofmann, T., Kolář, T., Koch, G., Saake, B., & Rademacher, P. (2020). Natural durability of subfossil oak: wood chemical composition changes through the ages. *Holzforschung*
4. Broda, M., & Hill, C. A. (2021). Conservation of waterlogged wood—past, present and future perspectives. *Forests*,
5. Buntgen et al. (2011): 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility, Vol 331 Science
6. Buzov, M. (2011): Ancient settlements along the Sava river, *Histria Antiqua*, 20/2011
7. Buzov i Lalošević (2015): Rijeka koja spaja: slika Save u duhovnoj kulturi kasnoantičkih rimskih središta; Rijeka Sava u povijesti, Zbornik radova, Slavonski Brod
8. Trlin, D., Žmegač, A., Orešković, M., izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac (2020): Dendrokronološka istraživanja starih posavskih kuća
9. Dubravec, T., (2009). Unikatni namještaj od abonosa star 6000 godina, Hrvatske šume
10. Čufar, K., De Luis, M., Eckstein, D. et al. (2008): Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree-ring series. *Int J Biometeorol* 52, 607
11. Ghavidel, A., Hofmann, T., Bak, M., Sandu, I., & Vasilache, V. (2020b). Comparative archaeometric characterization of recent and historical oak (*Quercus* spp.) wood. *Wood Science and Technology*, 54(5), 1121-1137.
12. Holmes, R. L. (1983): Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring bulletin* 43, 69–78
13. Kolář, T., & Rybniček, M. (2010). Physical and mechanical properties of subfossil oak (*Quercus* sp.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*

14. Köse, N., Kyncl, T., Wazny, T., & Akkemik, Ü. (2014). Bridging the gaps in tree-ring records: creating a high-resolution dendrochronological network for southeastern Europe
15. Levanič, T. (2007): Atrics – A New System for Image Acquisition in Dendrochronology *Tree-Ring Research* 63(Dec 2007):117-122
16. Lukić, N. (2003): Istraživanje debljinskog prirasta hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) Zagreb ; Vinkovci: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Centar za znanstveni rad u Vinkovcima
17. Mikac, S., Žmegač, A., Trlin, D. *et al.* (2018): Drought-induced shift in tree response to climate in floodplain forests of Southeastern Europe. *Sci Rep* 8, 16495
18. Pernar, N., 2017: Tlo: nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 531-534 str.
19. Raffalli-Delerce, G., Masson-Delmotte, V., J. L. Dupouey, M. Stievenard, N. Breda, J. M. Moisselin (2004): Reconstruction of summer droughts using tree-ring cellulose isotopes: a calibration study with living oaks from Brittany (western France), *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 56:2, 160-174
20. Rybníček, M., Vavrčík, H., Hubený, R. (2006): Determination of the number of sapwood annual rings in oak in the region of southern Moravia *Journal of Forest Science*, 52, 2006 (3): 141–146
21. Salopek et al. (2006): Posavska tradicijska drvena kuća - priručnik za obnovu
22. Sinković, T., Govorčin, S., Dubravac, T., Roth, V., & Sedlar, T. (2009). Usporedba tehničkih svojstava abonosa i recentnog drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šumarski list*, 133(11-12), 605-610.
23. Sohar, K., Vitas, A., Läänelaid, A. (2012): Sapwood estimates of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in eastern Baltic *Dendrochronologia* 30, 1, 2012, 49-56
24. Somogyi, Z. (2008): Recent Trends of Tree Growth in Relation to Climate Change in Hungary , *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 4 (2008) 17-27
25. Straže, A., Dremelj, M., Žveplan, E., & Čufar, K. (2018). Changes in physical properties of oak wood from historical constructions during service life. *Les/Wood*, 67(1), 5-14.
26. Trlin, D. (2021) Utjecaj klimatskih promjena na dinamiku šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* l.) I poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Hrvatskoj, Doktorski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

27. http://www.ss-drvodjeljska-zg.skole.hr/?news_id=747

28. <http://www.rinntech.de/content>

29. <http://www.cybis.se/dendro>

30. <https://www.google.com/maps>