

Usporedba ispitnih metoda za mjerenje širine goda drva duglazije (*Pseudotsuga menziesii*)

Barukčić, Andrej

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:431914>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

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



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

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

ANDREJ BARUKČIĆ

**USPOREDBA ISPITNIH METODA ZA MJERENJE ŠIRINE GODA
DRVA DUGLAZIJE (PSEUDOTSUGA MENZIESII)**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2021

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Andrej Barukčić 16.03.1998. 00682308116
NASLOV:	Usporedba ispitnih metoda za mjerenje širine goda drva duglazije (Pseudotsuga menziesii)
PREDMET:	Tehnološke karakteristike drva
MENTOR:	doc.dr.sc. Tomislav Sedlar
KOMENTOR:	doc.dr.sc. Maja Moro
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu- Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Zavod za znanost o drvu
AKAD. GOD:	2020/21
DATUM OBRANE:	
RAD SADRŽI:	Stranica: 26 Slika: 25 Tablica: 4 Navoda literature: 20
SAŽETAK: U ovom radu biti će predstavljene tri različite metode mjerenja širine goda drva duglazije u svrhu utvrđivanja točnosti mjerenja širine goda s rezistografom. Prve dvije metode su mjerenje mjernim povećalom (lupom) i mjerenje u programu CDendro i CoRecorder. To su destruktivne metode jer je potrebno ispiliti uzorke na kojima će se raditi mjerenja, a samo mjerenje je vizualno. Treća metoda je mjerenje širine goda s rezistografom. To je semi destruktivna metoda jer igla rezistografa vrlo malo prodire u drvo ne ostavljajući znatno oštećenje na drvu. S ovim radom se željela utvrditi točnost mjerenja širine godova rezistografom Resi 500.	

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 24.09.2021.

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

U Zagrebu, 24.09.2021.

vlastoručni potpis

Andrej Barukčić

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Općenito o američkoj duglaziji (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).....	1
1.2. Općenito o širini goda.....	2
2. CILJ RADA	3
3. MATERIJALI I METODE	4
3.1. Materijali.....	4
3.2. Mjerenje širine goda destruktivnim metodama	4
3.2.1. Mjerenje širine goda mjernim povećalom (lupom).....	4
3.2.2. Mjerenje širine goda obradom slike u programu CDendro i CooRecorder .	5
3.3. Mjerenje širine goda semi destruktivnim metodama	7
3.3.1. Mjerenje širine goda rezistografom IML RESI PD500.....	7
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	13
5. ZAKLJUČAK.....	24
6. LITERATURA	25

1. UVOD

1.1. Općenito o američkoj duglaziji (*Pseudotsuga menziesii*)

Američka duglazija ime je dobila po škotskom botaničaru Archibaldu Menziesu koji ju je prvi dokumentirao 1791. na otoku Vancouveru u Kanadi. Latinsko ime roda *Pseudotsuga* dolazi od riječi pseudo (lažna) i tsuga (rod srodnih stabala). Naziv duglazija dobila je po škotskom botaničaru Davidu Douglasu koji je prvi prenio sjeme u Europu. Na stranim jezicima poznata je pod nazivima Douglas fir, Oregon pine (eng.), Gewöhnliche Douglasie (njem.), pin d'Oregon, sapin de Douglas (fr.), abete di Douglas, Douglasia costiera (tal.), abeto de Douglas (špa.). Američka duglazija je prirodno rasprostranjena u zapadnom dijelu Sjeverne Amerike. U Europi se uzgaja u perivojima i parkovima, ali i za pošumljavanje. Također je rasprostranjena u Istočnoj Aziji. Duglazija je vrsta četinjače iz porodice bora (Pinaceae). Druga je najviša četinjača nakon golemog mamutovca (*Sequoia sempervirens*). Prosječno naraste 60 – 75 m u visinu (Lanzara i dr., 1978), dok deblo doseže promjer između 0,9 – 1,5 m (Wagenfuhr, 2006). Razmnožava se sjemenom.



Stablo brzo raste i gospodarski je od velikog značaja (Lanzara i dr., 1978). Duglazija je jedna od najviših stabala na planetu (Spiecker i dr., 2019). Deblo joj doseže do 20 m visine i to bez pojave grana, što upućuje na veliku čistoću debela. (Wagenfuhr, 2006). Duglazija je jedričava vrsta drva. Bjeljika je bijele do žuto-sive boje, dok je srž smeđe do crvenkasto-smeđe boje. Srčika je crvenkaste boje. Drvo duglazije se koristi u izradi namještaja, podova, ograda, mostova (Lanzara i dr., 1978), a njena struktura ju čini pogodnom za furniranje u izradi namještaja, za izradu parketa i oplata (Spiecker i dr., 2019).

Slika 1. Sastojina duglazije (BFW)

1.2. Općenito o širini goda

Širina goda predstavlja jednogodišnji prirast stabla. Jedan god sastoji se od ranog i kasnog drva. Rano drvo (proljetno drvo) je početni porozniji dio goda izgrađen od krupnijih stanica. Kasno drvo (jesenje, ljetno, pozno drvo) je gušći dio goda (1.5 – 4 puta) koji se formira nakon ranog drva, a građen je iz stanica manjeg promjera i tamnije je boje u odnosu na rano drvo.

Na širinu goda utječu ne ekološki faktori, kao što su dob stabla i upravljanje sastojinom te ekološki faktori poput temperature, oborina i sunčeve svjetlosti (García-González i Eckstein 2003). Na širinu goda također utječu uvjeti okoliša i mijenjaju svojstva kao što su debljina stanične stijenke i promjer stanične šupljine (Seo i dr. 2011). Širina goda stabla raste pri višim temperaturama (Tumajer i Trembl 2016) i pri tome se poboljšavaju neka svojstva drva (Giroud i dr. 2016). Kod raznih vrsta crnogoričnog drveća, povećanje stope rasta širine goda značajno mijenja gustoću drva, duljinu drvnih vlakanaca i kut mikrofibrila (Blanchette i dr. 2015). Udio kasnog drva je glavni čimbenik gustoće drva. Porastom širine goda kod četinjača se povećava udio ranog drva, što znači da se gustoća drva smanjuje. Kod prstenasto poroznih listača povećanjem širine goda udio kasnog drva raste, pa se samim time i gustoća drva povećava. Kod difuzno poroznih listača ovaj omjer nije definiran, zbog toga što se granica goda ne vidi jasno i ne može se sa sigurnošću odrediti. Zbog toga ne znamo dali porastom širine goda raste ili opada udio kasnog drva, pa nema pravila dali gustoća raste ili opada.

Svojstvo drva koje je također u odnosu sa širinom goda je finoća drva. Finoća drva se s jedne strane odnosi na veličinu, raspored i tok uzdužnih elemenata građe drva, a s druge strane na građu, širinu i pravilnost nizanja godova. Širina goda i pravilnost nizanja godova utječu na finoću drva. Što su godovi uži, što je njihova širina ujednačenija i što se oni pravilnije nižu, to je drvo finije. Što su godovi širi, što su razlike u širini veće, što je manja pravilnost nizanja godova, to je drvo grublje (Horvat, I. i dr., 1985).

2. CILJ RADA

U ovom radu mjerit će se širine goda drva duglazije (*Pseudotsuga menziesii*) trima različitim metodama. Dvije metode su destruktivne i vizualne. Jedna metoda se temelji na mjerenju širine goda mjernom lupom povećanja 10x, a druga metoda obradom slike u programu CDendro. Treća metoda je semi destruktivna, a izvodi se rezistografom Resi 500 uvrtaњem tankog svrdla u drvo. Detaljnom statističkom obradom rezultata usporediti će se sve tri metode. Cilj rada je odrediti točnost, odnosno ponovljivost mjerenja širine goda rezistografom Resi 500.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

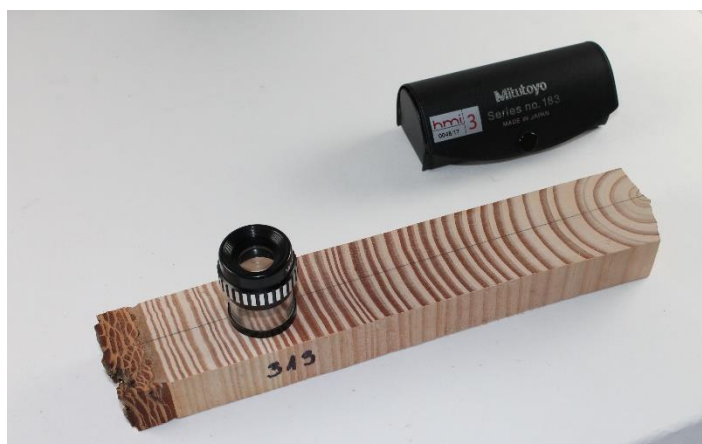
Materijali korišteni za mjerenje su uzorci američke duglazije (*Pseudotsuga menziesii*). Piljeni su tako da po dva uzorka predstavljaju jedno stablo – isječak iz ispiljenog koluta. Na početku se istraživanje sastojalo od 11 stabala – 22 uzorka od kojih je u konačnu obradu uzeto njih 20. Uzorci 6.1 i 6.3 su izuzeti iz daljnje analize zbog greške mjerenja lupom. Stabla su iz tri različita staništa. Uzorci su različitih dimenzija zbog različitih promjera stabala uzetih za uzorke.

3.2. Mjerenje širine goda destruktivnim metodama

3.2.1. Mjerenje širine goda mjernim povećalom (lupom)

Mjerno povećalo je optički instrument malih uvećanja za promatranje i mjerenje strukture drva na površini (struna). Sastoji se od zaobljene leće, osvjjetljenja zbog boljeg pregleda i mjerne skale od 2 cm.

Postupak - mjerenje se obavilo u radijalnom smjeru mjernim povećalom povećanja 10x i točnosti 0,1 mm. Najprije je bilo potrebno pripremiti uzorke za mjerenje. Uzorci su piljeni tako da po dva uzorka predstavljaju isto stablo (isječak iz ispiljenog koluta) te bi trebali imati isti broj godina. Zatim je trebalo izbrusiti uzorke zbog bolje točnosti mjerenja. Uzorci su prvo brušeni grubom, a zatim finom granulacijom. Prije samog mjerenja povuče se tanka linija od sredine srčike prema kori po kojoj će se mjeriti, tako da se što je više moguće pokušaju izbjeći greške (kvrge i pukotine). Mjerenje se obavilo od srčike prema kori s tim da se širina srčike izostavlja. Prvo se mjeri širina cijelog goda, a zatim posebno širina kasnog drva u godu. Mjerenje je vizualno, no metoda je destruktivna jer zahtjeva piljenje stabala i zatim izradu uzoraka piljenjem.



Slika 2. Mjerenje širine goda mjernim povećalom (lupom)

3.2.2. Mjerenje širine goda obradom slike u programu CDendro i CooRecorder

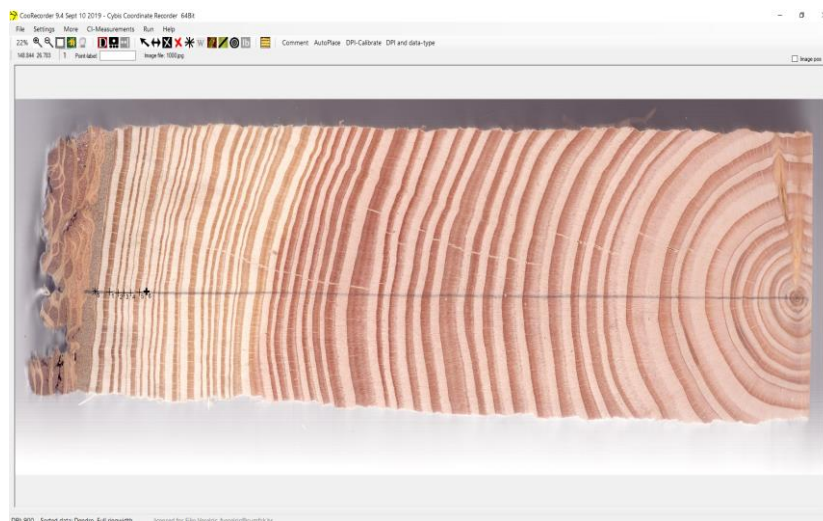
CDendro je program koji se koristi za međusobnu usporedbu uzoraka drva. CooRecorder se koristi za mjerenje širine goda pomoću standardnog uredskog skenera. Kada želimo saznati kada je neko stablo posječeno ili kada je neka drvena konstrukcija izgrađena, tada koristimo CDendro sa CooRecorderom. Nakon više godina razvoja, ovi programi su postali vrlo kompetentni, te se koriste za dendrokronologiju, istraživanje klime i šumarstva u cijelom svijetu. Programi se također koriste na sveučilištima za poučavanje dendrokronoloških metoda (4).

Dosadašnja istraživanja - CDendro je koristio Wilczynski S. (2020) za istraživanje utjecaja klime na radijalni prirast običnog bora (*Pinus sylvestris*) koji raste na suhim i močvarnim područjima u tri regije u Poljskoj. Također su Murray MP. i Leslie A. (2021) koristili CDendro za istraživanje klime, radijalnog prirasta i smrtnosti povezane sa regeneracijom četinjača zaraženih s bolešću korijena (*Armillaria ostoyae*). Cooper i dr. (2018) su koristili CDendro za istraživanje usporedbe podataka o radijalnom prirastu *Pinus contorta* na stablima koji su podlegli napadu kukaca i stablima koji su preživjeli napad u Beaverhead – Deerlodge nacionalnoj šumi (SAD – Montana) prije veće najezde kukaca na taj bor. (web of science). Sva mjerenja su napravljena standardnim dendrokronološkim metodama ukrštanja podataka, te skeniranja uzoraka i mjerenja širine godova u programu CDendro i CooRecorder.

Korištenje skenera za mjerenje – prikupljanje podataka o koordinatama sa skeniranih slika ili objekata – računalnim skenerom mogu se snimiti fotografije koje se postavljaju na vrh skenera, te se fotografije prikazuju na ekranu računala. Fotografija se može povećati da bi se bolje vidjeli zanimljivi detalji, i mogu se zapisivati koordinate tih detalja. Program CooRecorder nam omogućava da samo klikom na zanimljivu točku sa slike dobijemo koordinate ovih točaka, koje se automatski zapisuju u datoteku koju kasnije možemo analizirati s drugim programom. Za mjerenje širine godova CooRecorder ima ugrađen mehanizam za prepoznavanje uzoraka koji može automatski otkriti granice goda kada su godovi pravilni i prepoznatljivi, što može uštediti puno vremena (4).

Postupak - najprije je potrebno skenirati uzorke. Zatim se u programu kreće sa obradom slika. Mjerenje se obavilo od srčike prema kori na način da se najprije označe širine svih godova na uzorku, a zatim se istim postupkom sa drugom bojom označe širine kasnog drva. Zatim se dobiveni podaci prenose u Excel i izrađuje se graf odnosa širina ranog i kasnog drva.

Mjerenja su brza i precizna, jer se slika uzorka može povećati i namjestiti onako kako nam najbolje odgovara za pregled. Za mjerenje svih uzoraka potrebno je manje vremena nego kad se radi s lupom i znatno je lakše.



Slika 3. Mjerenje širine goda u programu CDendro i CooRecorder

Označavanje širine goda se radi s klikom miša i puno je lakše na taj način točno pogoditi granicu goda i granicu kasnog drva u samom godu. Mjerenje je vizualno, metoda je destruktivna jer zahtjeva piljenje stabla te zatim izradu uzoraka piljenjem.

3.3. Mjerenje širine goda semi destruktivnim metodama

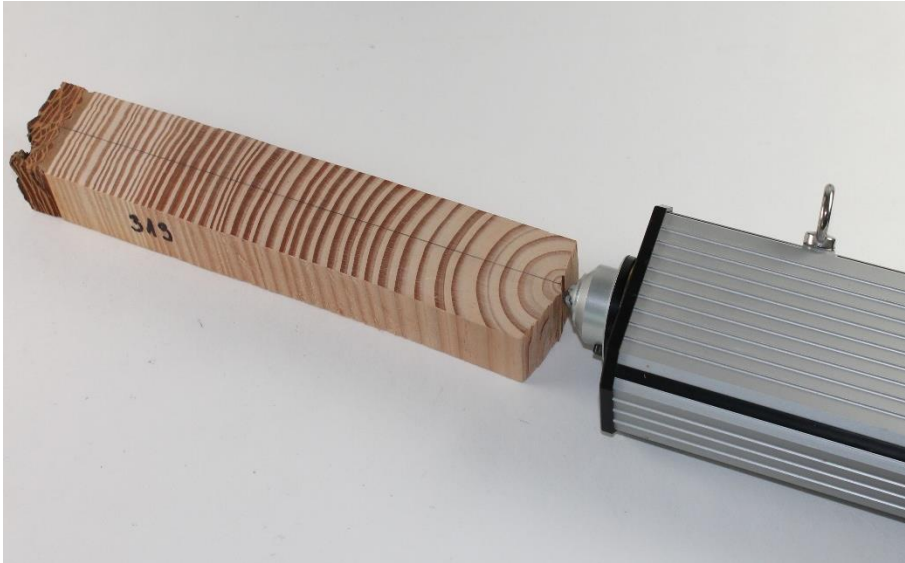
3.3.1. Mjerenje širine goda rezistografom IML RESI PD500

Dosadašnja istraživanja – rezistograf se primarno razvio za uporabu u arborikulturi za dijagnosticiranje oštećenih stabala (Krajnc i dr., 2020). Rezistograf radi na principu mjerenja otpora u funkciji dubine prodiranja. To je semi destruktivna metoda jer igla rezistografa vrlo malo prodire u drvo i ne ostavlja veliko oštećenje na drvu. Na stablima ozljeda zaliječi u roku od nekoliko mjeseci (Gao i dr. 2017). U jednom dijelu istraživanja koristili su ga Nowak i dr. (2021) u svrhu procjene mehaničkih svojstava drva semi destruktivnim metodama. Koristili su IML RESI PD – 400S. Rezistograf su koristili Krajnc i dr. za istraživanje gustoće drva (rezistografske gustoće), te su pomoću korekcijskih faktora pretvarali rezistografsku gustoću u osnovnu gustoću drva. Također su ga koristili Johnstone i dr. (2011) za procjenu gustoće drva eukaliptusa. Koristili su rezistograf IML – RESI F300S. Szewczyk i dr. (2018) su koristili IML – RESI E400 za istraživanje procjene starosti različitih vrsta drveća pomoću posebne vrste svrdla za električno bilježenje otpora. Sharapov i dr. (2018) su koristili IML – RESI PD 400 za potrebe istraživanja mjerenje utjecaja bijele i smeđe truleži na otpor bušenja drva. Sharapov i dr. (2019) također su koristili IML – RESI PD 400 za istraživanje predviđanja modula elastičnosti pri statičkom savijanju i gustoće drva pri različitom sadržaju vode i različitoj brzini posmaka svrdla tokom mjerenja otpora bušenja. Nickolas i dr. (2020) su koristili rezistograf za istraživanje primjene metode otpora bušenja na genetska istraživanja rasta, osnovne gustoće drva i debljine kore u drvu eukaliptus globulus (web of science).

Dosadašnja istraživanja pokazuju da je rezistograf uglavnom korišten za procjenu gustoće drva, starosti drva, predviđanje modula elastičnosti drva, procjenu mehaničkih svojstava drva... Međutim, još se nije provelo istraživanje točnosti izmjere širine goda pomoću rezistografa. Za istraživanje točnosti izmjere širine goda pomoću rezistografa koristili smo uređaj IML Resi 500.

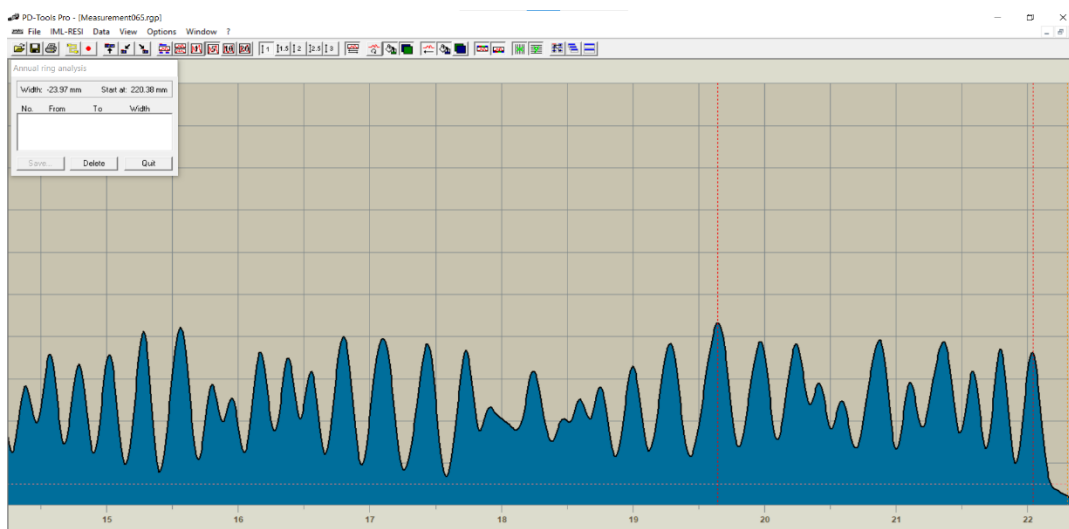


Slika 4. Rezistograf Resi PD500



Slika 5. Mjerenje širine goda rezistografom Resi PD500

Postupak – prednji adapter se prisloni na površinu koja se želi ispitati, te se lagano pritisne tako da adapter dođe u mjerni položaj. Rezistograf je potrebno čvrsto držati. Kod velikih otpora igla udara i može doći do pomaka prednjeg adaptera iz mjernog položaja. Tada rezistograf prestaje s mjerenjem i vraća iglu u kućište. Kada se sve dobro postavi pritisne se crvena tipka i rezistograf se drži čvrsto i stabilno. Kada je mjerenje gotovo igla se povlači a rezultat se sprema u memoriju. Rezultate je moguće prebaciti bežično ili preko IML RESI PD500 kabela za prijenos podataka, koji se utakne u USB utičnicu na računalo i mini USB utičnicu s prednje strane zaslona rezistografa. Kada su računalo i rezistograf povezani u programu PD – Tools pro pritisne se transmit measurements. Moguće je prenijeti sva mjerenja odjednom ili samo odabrana mjerenja.



Slika 6. PD – Tools pro

Slika 6. prikazuje program u kojem se obrađuju mjerenja širine goda rezistografom. Crvenom isprekidanom linijom označavaju se vrhovi grafa, te se nakon označavanja pojedinačnih mjerenja podaci sprema za daljnju obradu podataka. Oblik grafa kod bušenja zdravog drva ovisi o razlikama u gustoći ranog i kasnog drva, godišnjem prirastu i kutu bušenja. Najprecizniji rezultati dobiju se bušenjem pod kutem od 90° prema godovima u radijalnom smjeru. Vrhovi na grafu pokazuju visoku vrijednost otpora bušenja odnosno veliku gustoću (kasno drvo), dok padovi odgovaraju niskom otporu i niskoj gustoći (rano drvo). Drvo koje je potpuno raspadnuto ili trulo nema otpornosti na bušenje (Riggio, M. i dr., 2014, Rinn, F., 2012).

Da bi prikazali opsežnost ovog istraživanja, u tablici 1. prikazani su rezultati mjerenja širine goda (u milimetrima) u ovisnosti o udaljenosti od srčike (u mm), sa sve tri analizirane metode, za uzorak 1.1., što je tek jedna od 20 postojećih baza podataka.

Tablica 1. Originalna baza za uzorak 1.1.

	UZORAK 1.1				y - širina goda			x - udaljenost od srčike			Years
	Kd	Šg	Rezi	Dendro	Lupa	Rezistograf	Dendro				
1		2	3,72	2,032	2,000	3,720	2,032			1972	
2	0,5	2,5	3,667	2,54	4,500	7,387	4,572			1973	
3	1,8	3,7	3,774	3,584	8,200	11,161	8,156			1974	
4	2,9	4,3	4,092	4,403	12,500	15,253	12,559			1975	
5	1,9	3,6	3,402	3,641	16,100	19,239	16,2			1976	
6	5,2	7,3	3,986	7,281	23,400	26,042	23,481			1977	
7	3	7,8	6,803	7,93	31,200	31,357	31,411			1978	
8	3,4	5,5	5,315	5,504	36,700	40,711	36,915			1979	
9	1,8	9,6	9,354	9,652	46,300	48,152	46,567			1980	
10	1,5	6,7	7,441	6,773	53,000	52,191	53,34			1981	
11	3	5	4,039	4,995	58,000	57,506	58,335			1982	
12	2,4	4,5	5,315	4,629	62,500	63,990	62,964			1983	
13	4	6,7	6,484	6,717	69,200	71,697	69,681			1984	
14	4,8	7,5	7,707	7,394	76,700	76,852	77,075			1985	
15	3,7	5,9	5,155	5,898	82,600	82,114	82,973			1986	
16	3	5,8	5,262	5,786	88,400	87,004	88,759			1987	
17	2,6	5,2	4,89	5,193	93,600	92,957	93,952			1988	
18	4,8	7,4	5,953	7,422	101,000	99,229	101,374			1989	
19	2,7	5,3	6,272	5,193	106,300	103,215	106,567			1990	
20	2,2	4,4	3,986	4,431	110,700	108,583	110,998			1991	
21	2,4	4,8	5,368	4,798	115,500	112,410	115,796			1992	
22	1,6	3,7	3,827	3,64	119,200	118,097	119,436			1993	
23	5,7	8,4	5,687	8,665	127,600	125,591	128,101			1994	
24	3,1	6,3	7,494	6,293	133,900	129,471	134,394			1995	
25	2	3,4	3,88	3,33	137,300	132,979	137,724			1996	
26	1,4	2,9	3,508	2,936	140,200	136,593	140,66			1997	
27	2,1	3,8	3,614	3,781	144,000	139,941	144,441			1998	
28	2,1	3,5	3,348	3,556	147,500	142,758	147,997			1999	
29	1,4	2,5	2,817	2,512	150,000	146,744	150,509			2000	
30	2,7	4,8	3,986	4,854	154,800	151,634	155,363			2001	
31	2,4	4,6	4,89	4,742	159,400	154,026	160,105			2002	
32	0,5	1,3	2,392	1,354	160,700	156,524	161,459			2003	
33	1,5	2,8	2,498	2,851	163,500	159,394	164,31			2004	
34	1,5	2,7	2,87	2,822	166,200	161,626	167,132			2005	
35	1,1	2	2,232	2,032	168,200	164,071	169,164			2006	
36	0,9	2	2,445	2,088	170,200	168,376	171,252			2007	
37	1,9	3,8	4,305	3,754	174,000	172,787	175,006			2008	
38	1,7	4	4,411	3,979	178,000	175,763	178,985			2009	
39	1,2	3,2	2,976	3,218	181,200	177,730	182,203			2010	
40	0,6	1,6	1,967	1,637	182,800	179,165	183,84			2011	
41	0,6	1,5	1,435	1,524	184,300	181,769	185,364			2012	
42	0,6	2,5	2,604	2,483	186,800	184,586	187,847			2013	
43	1,7	3	2,817	3,076	189,800	188,732	190,923			2014	
44	0,3	1,4	4,146	1,44	191,200	190,592	192,363			2015	
45	0,7	2	1,86	2,116	193,200	193,994	194,479			2016	
46	0,7	1,9	3,402	1,835	195,100	196,970	196,314			2017	
47	1,8	3,6	2,976	3,443	198,700	199,383	199,757			2018	
48	0,5	2,3	2,413	2,314	201,000	199,383	202,071			2019	

U svrhu usporedbe rezultata mjerenja trima različitim metodama, stvorena je nova baza podataka u kojoj su izračunate razlike mjerenja u milimetrima za Lupa-CDendro (L-D), Lupa- Rezistograf (L-R) i CDendro- Rezistograf (D-R). Dio tako nastale baze za prvih 6 od 20 uzoraka prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Nova baza za uzorke 1.1. do 3.3.

	1.1			1.3			2.1			2.3			3.1			3.3		
	L-D	L-R	D-R	L-D	L-R	D-R	L-D	L-R	D-R	L-D	L-R	D-R	L-D	L-R	D-R	L-D	L-R	D-R
1	0,05	2,43	2,39	1,12	1,84	0,72	1,70	3,26	4,96	0,01	0,24	0,24	0,01	0,32	0,33	3,96	3,96	0,00
2	0,08	3,11	3,03	1,07	1,15	0,42	1,20	2,19	3,39	0,02	0,61	0,59	0,05	1,95	1,91	1,98	1,98	0,13
3	0,12	2,96	3,01	1,08	0,86	0,50	1,14	1,92	3,06	0,02	0,64	0,62	0,19	1,31	1,41	1,43	1,30	0,15
4	0,12	2,76	2,71	1,11	0,63	0,53	1,15	1,77	2,92	0,06	0,79	0,83	0,11	1,39	1,40	1,45	1,18	0,32
5	0,11	3,15	3,05	2,32	0,99	2,21	1,21	2,74	3,95	0,03	2,97	2,97	0,08	2,45	2,39	1,48	2,97	1,57
6	0,08	4,24	4,17	2,03	1,63	0,55	1,16	2,51	2,10	0,02	1,70	1,70	0,26	2,32	2,07	1,40	0,58	1,52
7	0,25	1,01	1,13	1,97	0,18	2,11	1,19	2,74	1,73	0,01	1,09	1,10	0,20	3,20	3,00	1,40	1,83	3,21
8	0,22	4,02	3,80	2,09	2,52	0,43	1,23	3,66	2,47	0,16	2,46	2,33	0,19	2,76	2,58	1,34	2,49	1,15
9	0,27	1,87	1,61	2,05	5,28	3,24	1,21	3,25	2,04	0,10	6,82	6,73	0,15	4,00	3,85	1,29	1,35	2,64
10	0,35	1,10	1,33	1,98	4,84	2,94	1,25	3,88	2,64	0,11	6,31	6,20	0,16	5,00	4,83	1,28	1,08	2,32
11	0,34	1,08	1,27	1,97	2,64	0,67	1,29	3,08	1,83	0,19	3,91	3,75	0,12	1,81	1,72	1,24	0,28	1,44
12	0,48	1,70	1,23	1,86	1,09	0,98	1,31	1,73	0,42	0,18	1,28	1,10	0,11	0,78	0,75	1,13	1,32	0,42
13	0,48	2,51	2,03	1,69	1,35	0,66	1,24	2,41	1,19	0,29	3,33	3,07	0,08	0,27	0,26	1,07	2,03	0,99
14	0,39	0,26	0,38	1,45	2,35	1,14	1,18	1,07	0,44	0,24	5,65	5,44	0,03	1,45	1,42	1,02	2,88	1,87
15	0,37	0,89	1,14	1,47	3,18	1,79	1,12	1,94	0,91	0,18	2,20	2,03	0,04	1,41	1,42	0,94	2,62	1,68
16	0,36	1,50	1,83	1,37	3,83	2,54	1,13	1,18	0,53	0,18	1,26	1,14	0,10	2,12	2,03	0,90	2,07	1,26
17	0,35	0,71	1,04	1,32	2,88	1,76	1,15	1,96	3,11	0,16	8,46	8,31	0,16	1,75	1,73	0,80	1,80	1,00
18	0,37	2,29	2,60	1,43	0,41	1,16	1,12	0,61	0,77	0,15	6,73	6,60	0,14	0,94	0,95	0,78	2,55	1,76
19	0,29	3,23	3,52	1,47	3,69	5,15	1,10	1,62	2,71	0,11	5,47	5,36	0,10	0,64	0,65	0,76	2,31	1,56
20	0,30	2,16	2,46	1,42	2,13	1,88	0,95	3,17	4,11	0,07	8,37	8,31	0,20	1,82	1,72	0,67	1,59	0,99
21	0,30	3,14	3,43	1,33	2,98	4,31	0,87	1,75	2,55	0,06	9,34	9,35	0,11	0,05	0,09	0,64	2,59	1,95
22	0,24	1,11	1,35	1,26	1,61	2,72	0,92	3,16	4,06	0,15	10,36	10,26	0,11	2,06	2,16	0,59	3,38	2,80
23	0,57	3,38	3,89	1,18	2,96	1,88	0,90	4,71	5,57	0,08	8,02	7,98	0,08	2,35	2,37	0,56	0,95	0,65
24	0,49	4,59	5,07	1,09	2,73	1,71	0,92	4,32	5,24	0,07	13,63	13,57	0,12	1,35	1,47	0,57	1,55	2,12
25	0,43	4,35	4,78	1,08	2,07	0,99	0,98	1,45	2,39	0,13	9,60	9,48	0,15	2,24	2,38	0,54	3,32	2,80
26	0,46	3,66	4,11	1,08	3,01	2,14	0,94	4,53	5,45	0,09	4,35	4,27	0,20	2,04	2,19	0,47	2,77	2,32
27	0,44	4,06	4,50	1,19	4,02	2,89	0,97	4,92	5,87	0,09	5,80	5,73	0,23	0,60	0,80	0,52	1,68	1,15
28	0,50	4,74	5,24	1,23	2,15	0,95	0,98	3,35	3,14	0,09	4,98	4,90	0,19	4,03	4,19	0,43	2,37	1,99
29	0,51	3,27	3,78	1,26	0,77	1,43	1,07	1,28	1,41	0,13	2,85	2,73	0,21	4,95	5,14	0,38	2,72	2,35
30	0,57	3,27	3,83	1,24	4,35	3,12	1,14	0,46	1,05	0,11	4,38	4,27	0,28	2,56	2,77	0,35	1,61	1,27
31	0,72	5,38	6,08	1,17	3,68	2,51	1,24	2,31	2,77	0,08	4,87	4,81	0,20	1,14	1,21	0,26	2,17	1,95
32	0,76	4,32	5,04	1,20	3,56	2,36	1,14	4,92	5,26	0,04	5,27	5,23	0,21	1,34	1,55	0,18	6,40	6,27
33	0,81	4,12	4,93	1,11	3,81	2,70	1,26	0,85	2,09	0,17	5,41	5,28	0,15	2,38	2,49	0,12	6,17	6,09
34	0,94	4,58	5,51	1,09	1,21	0,35	1,26	1,38	2,46	0,15	4,78	4,63	0,10	5,93	6,02	0,09	5,45	5,36
35	0,96	4,14	5,10	1,07	3,71	4,20	1,34	2,82	4,16	0,10	7,01	6,94	0,11	9,11	9,22	0,10	6,25	6,15
36	1,06	1,88	2,90	1,06	2,65	3,66	1,35	5,31	6,54	0,22	4,29	4,11	0,14	7,78	7,91	0,08	5,93	5,90
37	1,01	1,31	2,29	1,15	2,18	3,32	1,24	6,88	7,94	0,25	3,71	3,48	0,11	6,84	6,96	0,60	5,38	5,68
38	0,99	2,27	3,25	1,24	1,92	3,04	1,16	6,02	7,15	0,25	5,58	5,33	0,17	7,82	7,99	0,35	6,27	6,57
39	1,00	3,48	4,48	1,20	2,26	3,41	1,29	6,02	7,26	0,26	5,69	5,44	0,14	10,42	10,54	0,42	5,53	5,95
40	1,04	3,65	4,69	1,07	4,13	5,14	1,23	6,88	8,11	0,27	4,56	4,28	0,16	11,55	11,71	0,41	5,94	6,33
41	1,06	2,53	3,60	1,08	3,23	4,23	1,29	12,12	13,40	0,37	4,17	3,82	0,25	11,93	12,17	0,43	5,44	5,87
42	1,05	2,22	3,26	1,18	2,91	3,10	1,28	11,38	12,64	0,46	4,75	4,30	0,22	11,74	11,97	0,48	5,32	5,78
43	1,13	1,08	2,21	1,25	0,53	1,70	1,30	14,25	15,55	0,44	2,71	2,30	0,21	12,67	12,89	0,42	5,66	6,06
44	1,16	2,81	3,23	2,05	1,37	2,25	1,33	15,63	16,94	0,43	2,01	2,41	0,21	10,73	10,94	0,31	6,48	6,64
45	1,28	0,81	0,55	2,02	1,83	3,57	1,36	12,57	13,92				0,23	8,34	8,55	0,31	5,83	6,06
46	1,22	2,40	1,70	1,99	3,78	2,06							0,22	5,58	5,75	0,32	4,05	4,36
47	1,07	0,93	0,60	2,33	9,20	7,08							0,16	3,14	3,27	0,33	3,32	3,64
48	1,07	1,62	2,69										0,12	3,09	3,05	0,32	2,93	3,24
49																0,36	5,76	6,12
50																		

Metodologija određivanja razlika na primjeru usporedbe mjerenja širine goda Lupom (L) i CDendrom (D) sastojala se od određivanja koordinata svake pojedine točke:

očitanje Lupa \Rightarrow točka $L(x_L, y_L)$

očitanje CDendro \Rightarrow točka $D(x_D, y_D)$

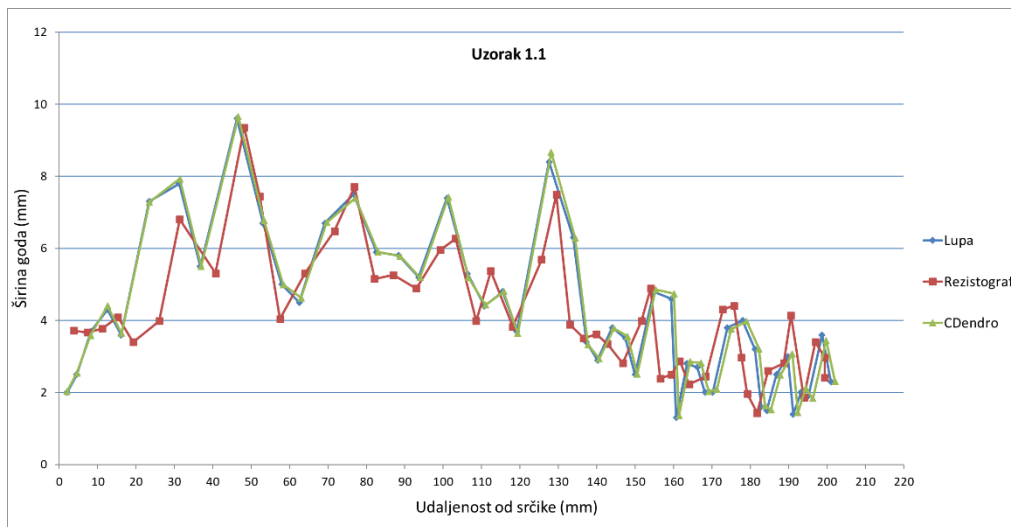
Razlika u mjerenju ovim dvjema metodama jednaka je udaljenosti točaka L i D, a za svako pojedino mjerenje na svim uzorcima, izračunata je po formuli:

$$d(L, D) = \sqrt{(x_D - x_L)^2 + (y_D - y_L)^2}$$

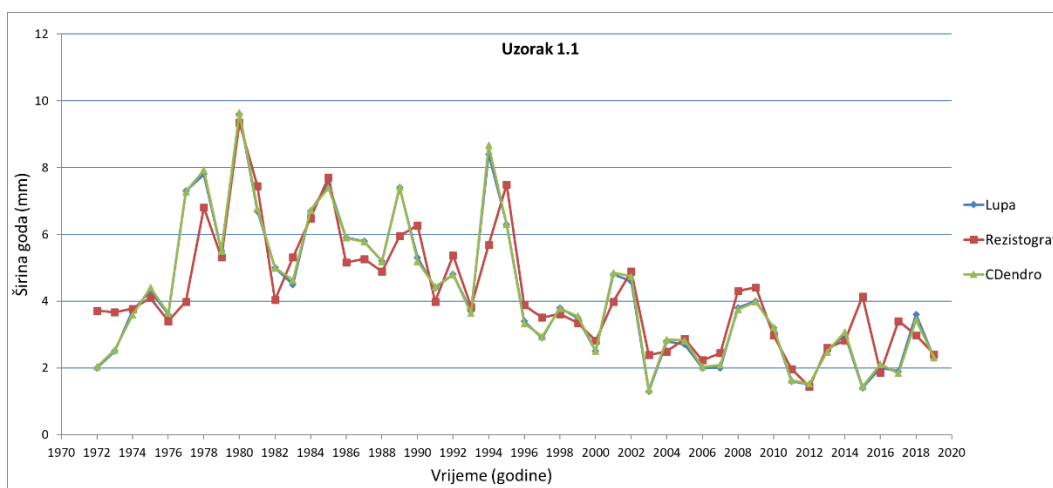
Ista metodologija korištena je i za izračune razlika u mjerenju širine goda Lupa-Rezistograf (L-R) i CDendro-Rezistograf (D-R). Tako je stvorena nova baza (dijelom prikazana u tablici 2.) za daljnju usporedbu rezultata mjerenja trima metodama.

4. REZULTATI I RASPRAVA

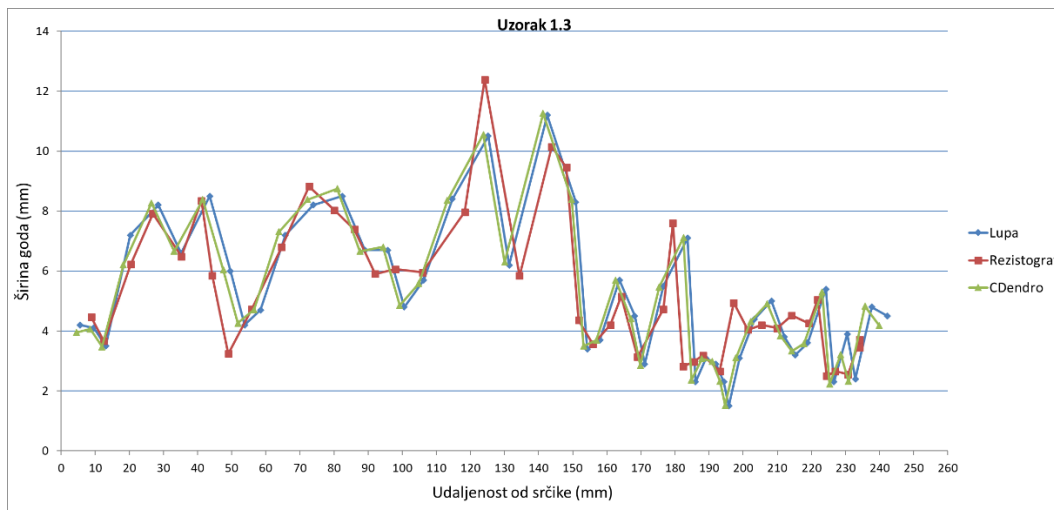
Temeljem originalnih rezultata mjerenja trima metodama konstruirani su grafovi za svaki pojedini uzorak. Grafovi od 7. do 22. slike prikazuju mjerenja širine goda na udaljenosti od srčike i kroz godine. Plava linija prikazuje mjerenja obrađena lupom, crvena linija s rezistografom, a zelena linija s programom CDendro. U svim mjerenjima linije lupe i CDendra slijede gotovo isti put sa minimalnim razlikama (gotovo da i nema razlike).



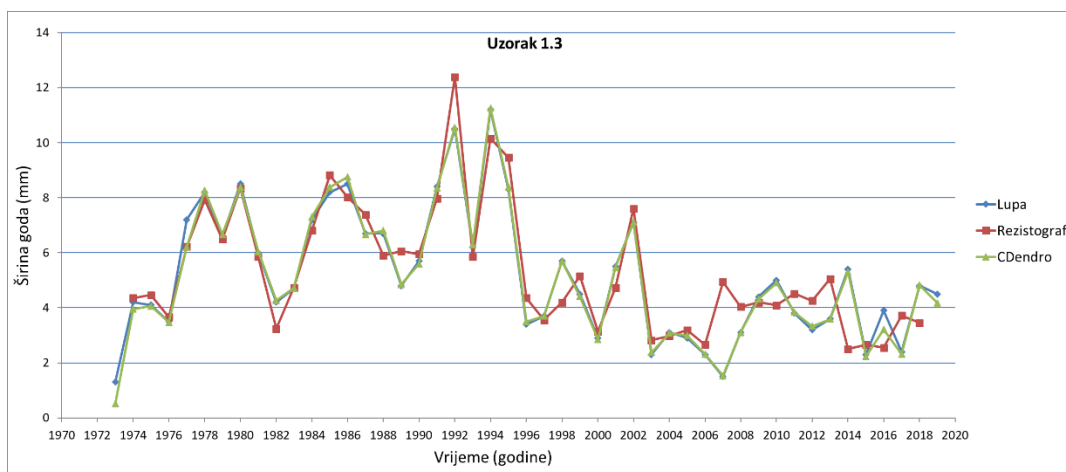
Slika 7. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 1.1.



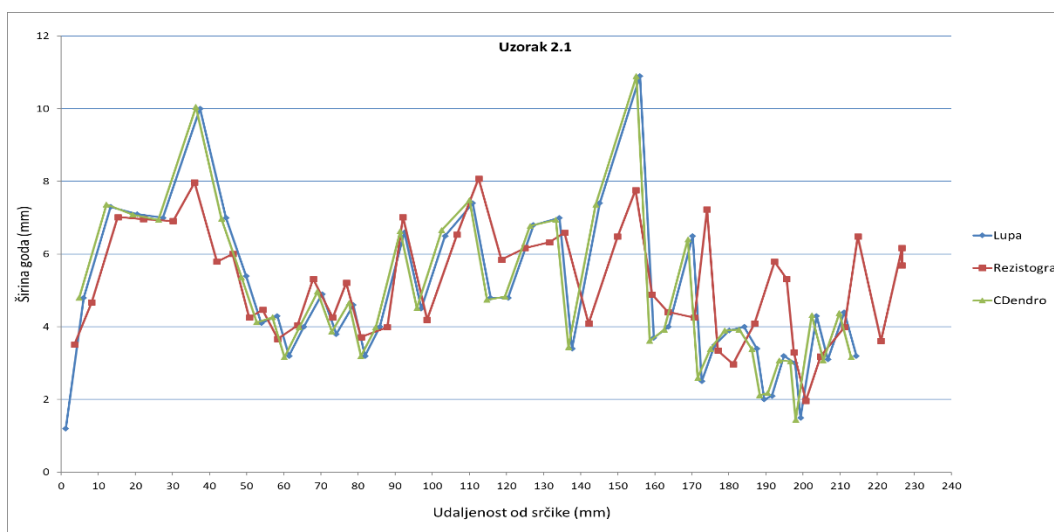
Slika 8. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 1.1.



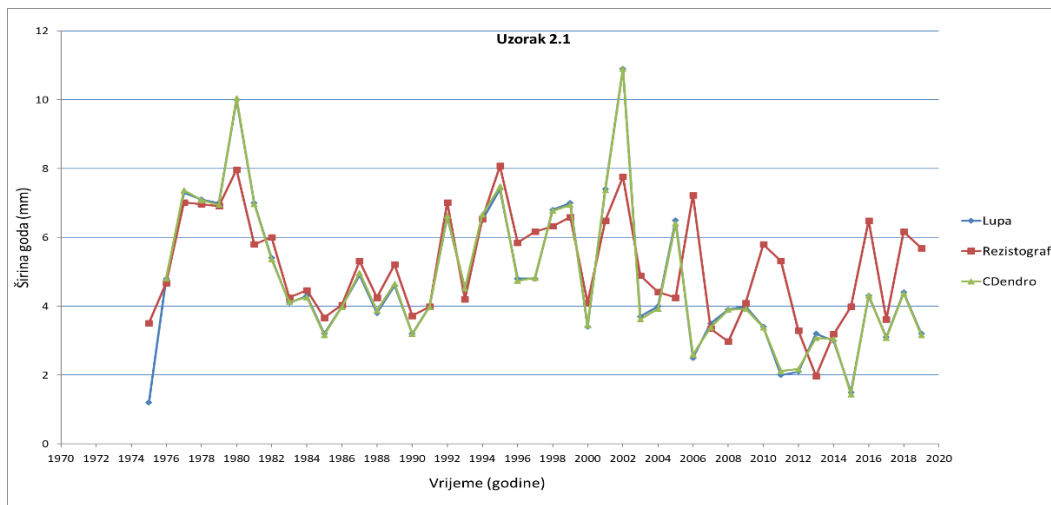
Slika 9. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 1.3.



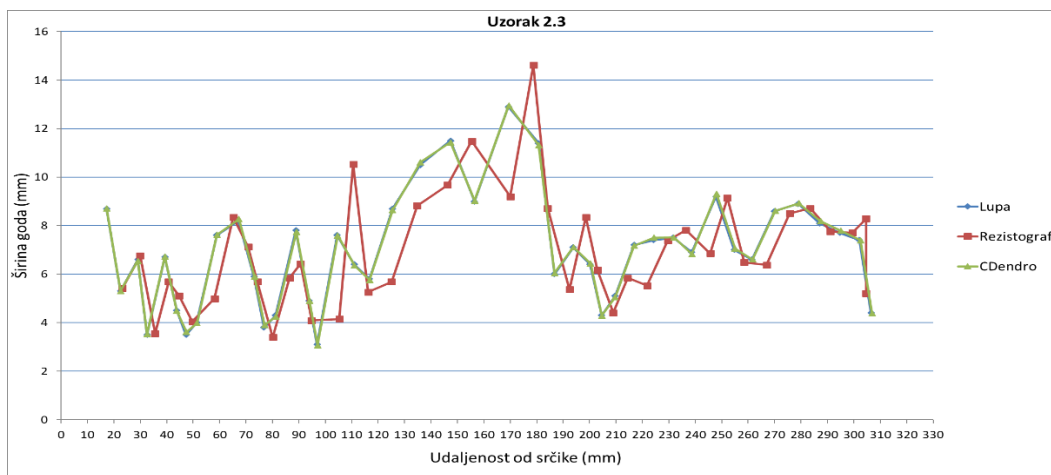
Slika 10. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 1.3.



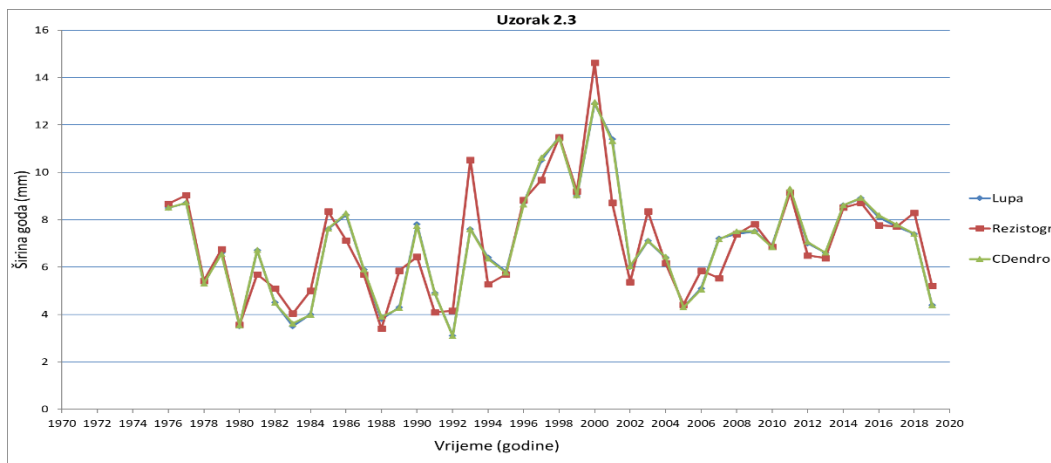
Slika 11. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 2.1.



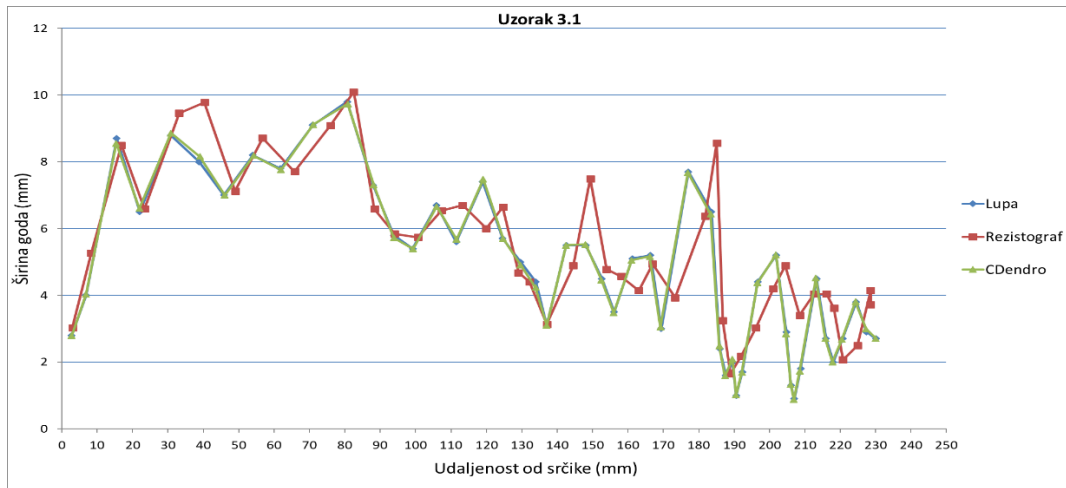
Slika 12. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 2.1.



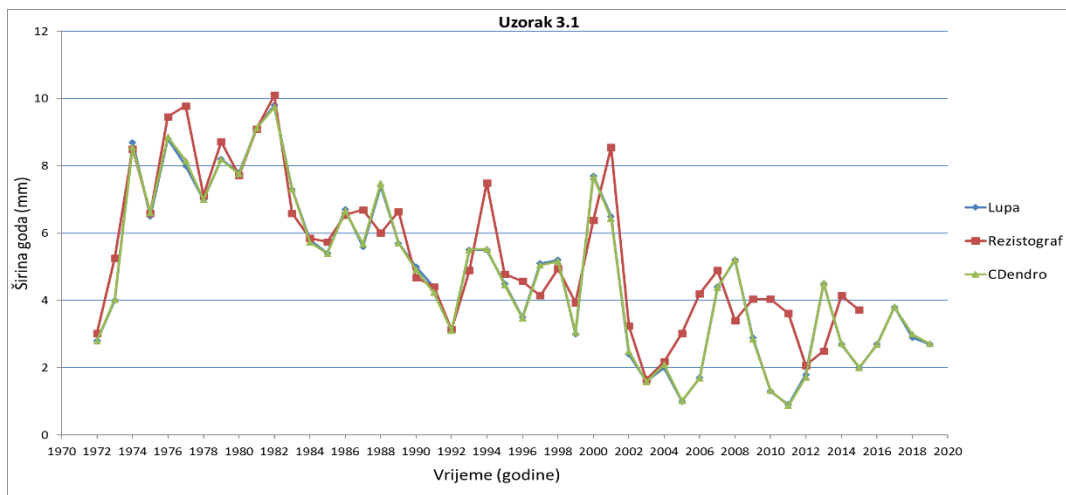
Slika 13. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 2.3.



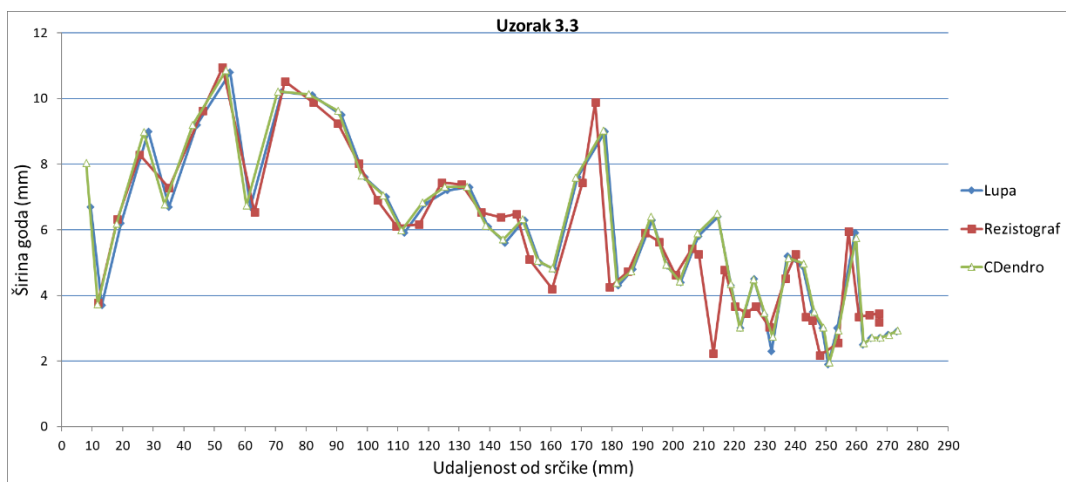
Slika 14. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 2.3.



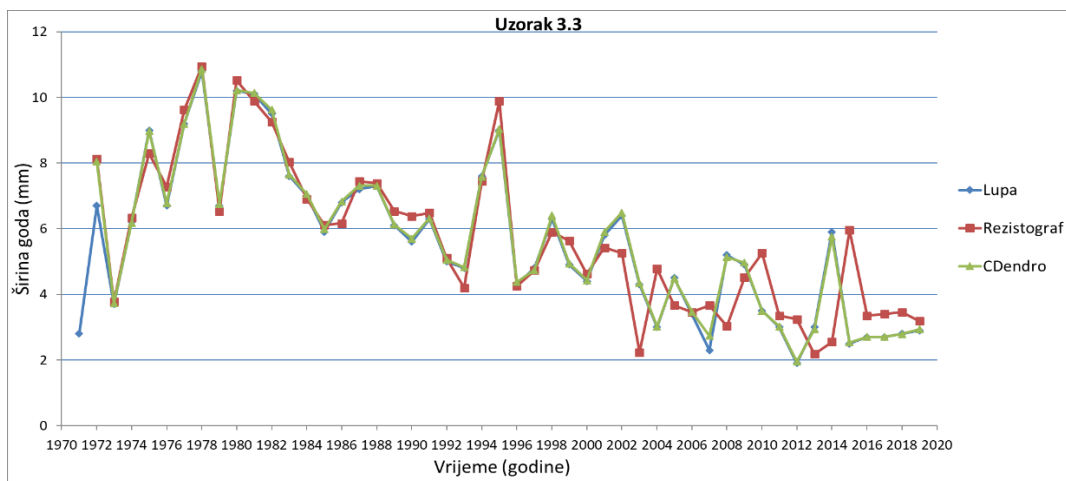
Slika 15. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 3.1.



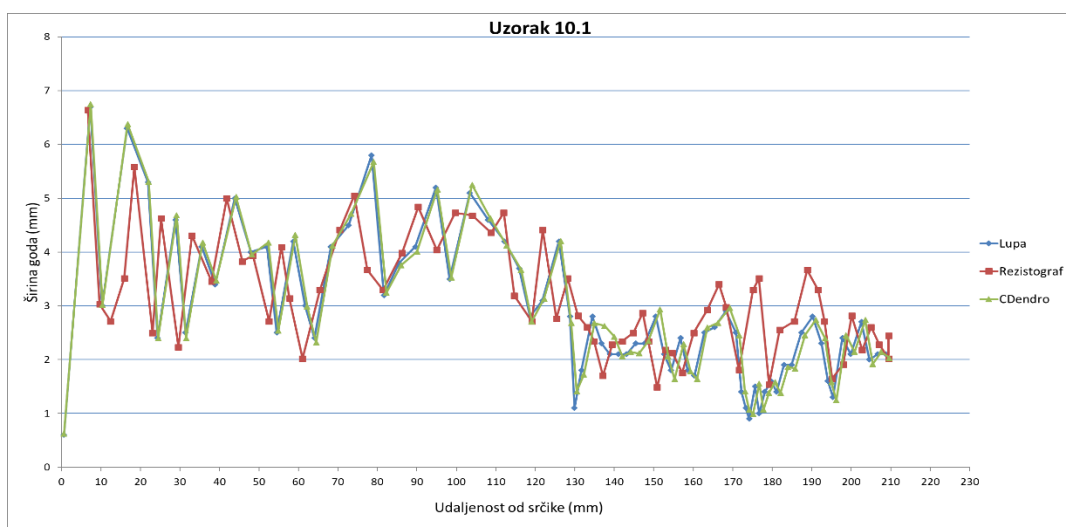
Slika 16. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 3.1.



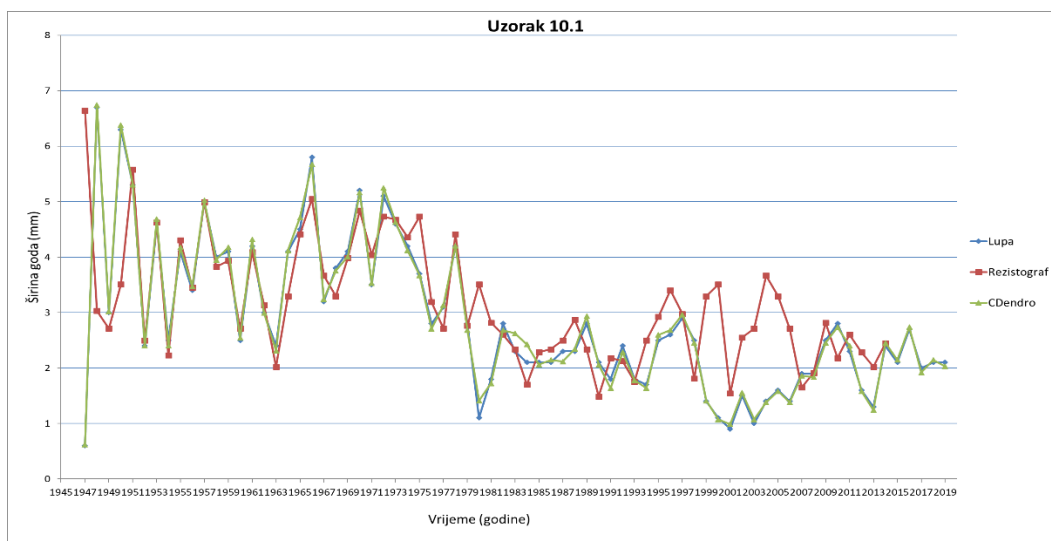
Slika 17. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 3.3.



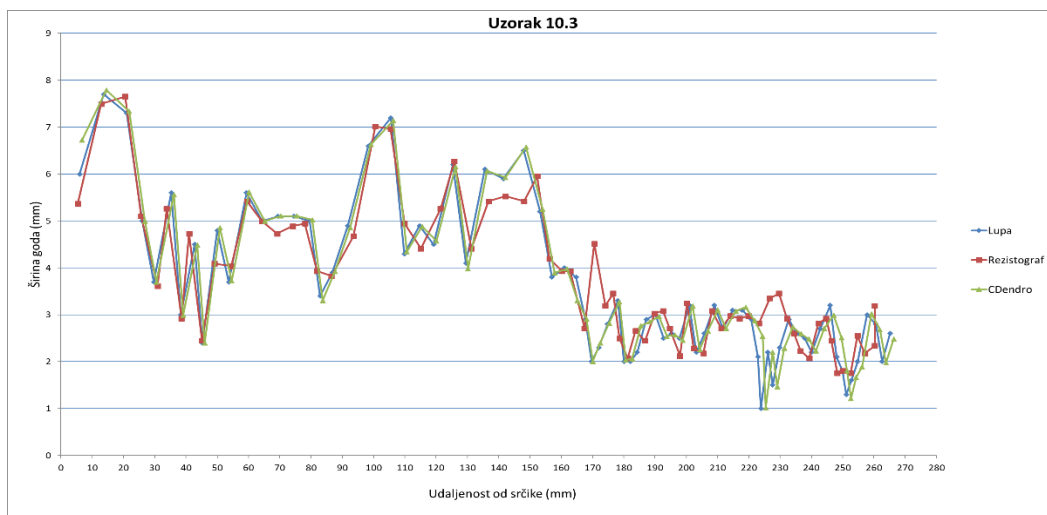
Slika 18. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 3.3.



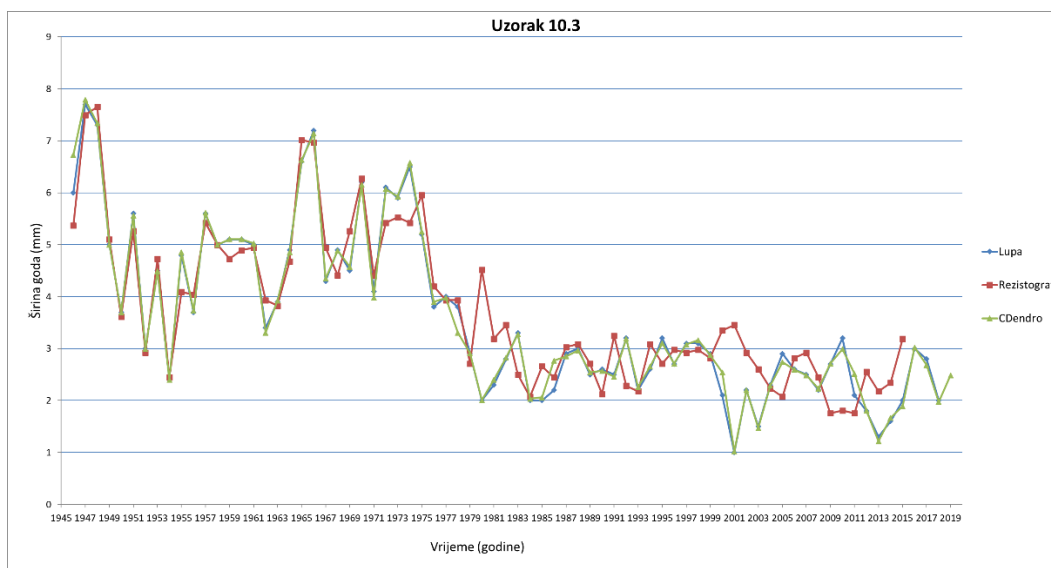
Slika 19. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 10.1.



Slika 20. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 10.1.



Slika 21. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 10.3.



Slika 22. Grafička usporedba rezultata mjerenja za uzorak 10.3.

Na grafovima 10.3. sve tri metode mjerenja slijede približno isti put, iako u većini mjerenja linija rezistografa ne slijedi linije lupe i CDendra kao što se može vidjeti u priloženim grafovima. Međutim, mjerenja su obavljena na samo jednoj vrsti drva i pri niskom sadržaju vode u drvu. Trebalo bi napraviti opsežnija mjerenja na različitim vrstama drva, možda listačama, i na većem sadržaju vode u drvu zbog lakšeg prodiranja igle rezistografa u drvo.

Da bi potvrdili oku uočljive razlike u mjerenjima širine goda Rezistografom u odnosu na mjerenja metodama Lupa i CDendro, prvo je napravljena deskriptivna statistika prema novoj bazi prikazanoj u tablici 2., a rezultati tih analiza prikazani su u tablici 3. za razlike u mjerenjima Lupa – CDendro (L-D), te u tablici 4. za razlike u mjerenjima CDendro - Rezistograf (D-R). Analiza je izvršena korištenjem programa

Statistica, a uključuje ime uzorka (Variable), veličinu uzorka, tj. broj mjerenja na pojedinom uzorku (Valid N), prosječnu razliku mjerenja u milimetrima (Mean), 95% interval pouzdanosti procjene razlika (Confidence -95%; Confidence 95%), medijan (Median), minimum, maksimum (Maximum), gornji i donji kvartil (Lower Quartile, Upper Quartile), standardnu devijaciju (Std.Dev.) i koeficijent varijacije (Coef.Var.)

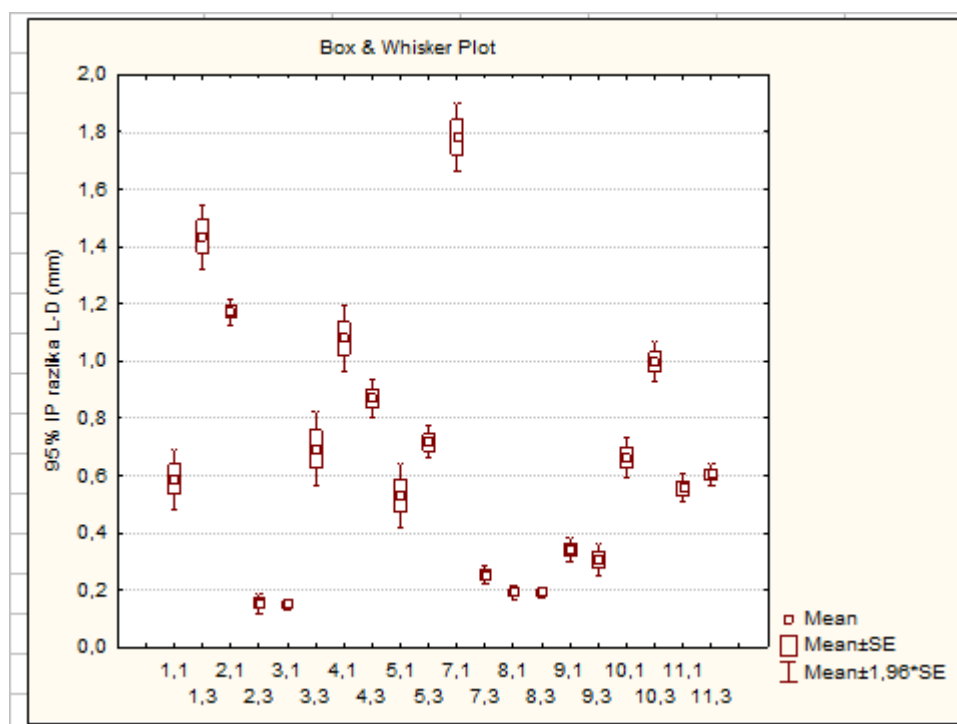
Tablica 3. Deskriptivna statistika za razlike u mjerenjima Lupa - Dendro

Variable	Descriptive Statistics (stat L_D)										
	Valid N	Mean	Confidence -95,000%	Confidence 95,000	Median	Minimum	Maximum	Lower Quartile	Upper Quartile	Std.Dev.	Coef.Var.
1,1	48	0,587796	0,480932	0,694660	0,481449	0,045255	1,284250	0,297807	0,994193	0,368028	62,61159
1,3	47	1,434921	1,318948	1,550895	1,246966	1,062008	2,333463	1,108741	1,864248	0,394989	27,52686
2,1	45	1,172451	1,125675	1,219227	1,192353	0,865612	1,697056	1,117458	1,256093	0,155695	13,27948
2,3	44	0,154143	0,119289	0,188996	0,127728	0,005657	0,456755	0,074251	0,207680	0,114639	74,37190
3,1	48	0,150716	0,132605	0,168828	0,149391	0,008485	0,276742	0,106652	0,202590	0,062373	41,38462
3,3	48	0,693478	0,559627	0,827329	0,548279	0,078000	1,981539	0,347558	1,045308	0,460967	66,47172
4,1	46	1,079640	0,963365	1,195915	0,973693	0,690038	2,547551	0,918340	1,090000	0,391546	36,26638
4,3	48	0,868332	0,802196	0,934467	0,895194	0,355760	1,235055	0,655634	1,088100	0,227763	26,23001
5,1	46	0,531140	0,417639	0,644642	0,506460	0,017029	1,518331	0,220204	0,939120	0,382207	71,95979
5,3	44	0,715809	0,658017	0,773600	0,733254	0,349311	1,064951	0,527108	0,856487	0,190086	26,55540
7,1	46	1,782885	1,661006	1,904763	1,875886	0,373230	2,512841	1,550395	2,007186	0,410415	23,01974
7,3	48	0,253025	0,222116	0,283934	0,254514	0,007810	0,450973	0,181815	0,323467	0,106447	42,06991
8,1	69	0,192371	0,168970	0,215773	0,198116	0,013454	0,380076	0,114180	0,261513	0,097416	50,63959
8,3	74	0,192462	0,172731	0,212192	0,194108	0,015811	0,383537	0,129016	0,260465	0,085162	44,24892
9,1	73	0,341073	0,298138	0,384009	0,372082	0,031016	0,703693	0,160206	0,489401	0,184023	53,95398
9,3	68	0,307210	0,251582	0,362837	0,252560	0,047000	1,429302	0,161151	0,417124	0,229816	74,80766
10,1	73	0,661277	0,590719	0,731836	0,700789	0,029698	1,131290	0,424796	0,918303	0,302414	45,73187
10,3	74	0,997544	0,927221	1,067868	0,902781	0,400061	1,588364	0,805993	1,286243	0,303534	30,42815
11,1	68	0,555474	0,506166	0,604781	0,617228	0,062032	0,818977	0,498827	0,703103	0,203705	36,67236
11,3	69	0,603793	0,563957	0,643628	0,559358	0,015556	1,109656	0,522162	0,636682	0,165824	27,46365

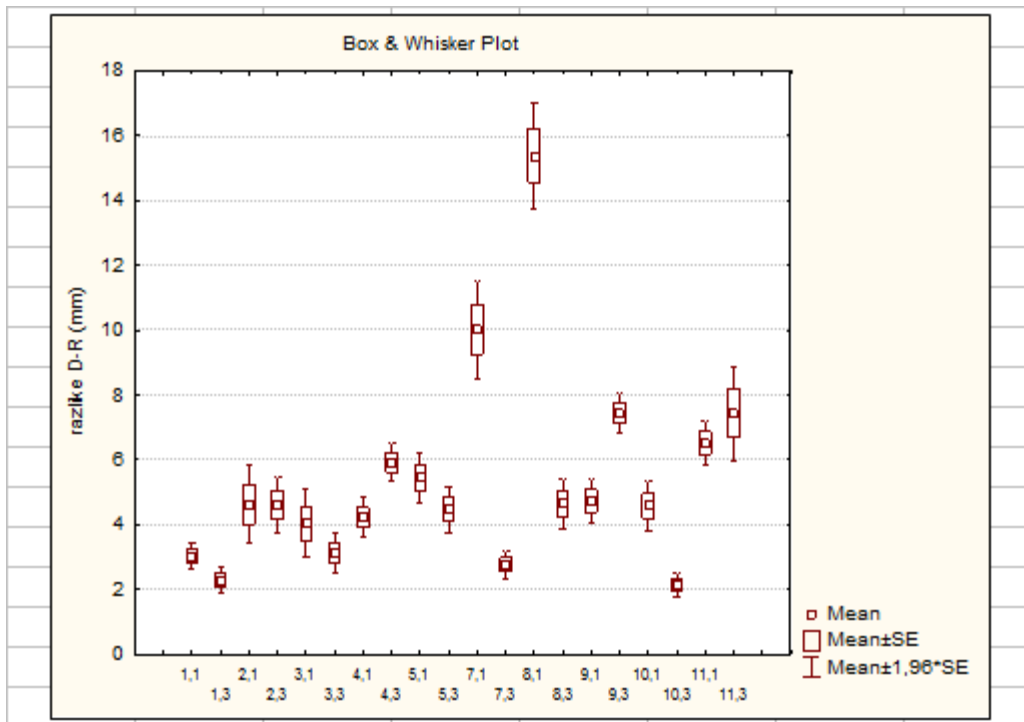
Tablica 4. Deskriptivna statistika za razlike u mjerenjima Dendro - Rezistograf

Variable	Descriptive Statistics (stat D_R)										
	Valid N	Mean	Confidence -95,000%	Confidence 95,000	Median	Minimum	Maximum	Lower Quartile	Upper Quartile	Std.Dev.	Coef.Var.
1,1	48	3,03767	2,60729	3,46805	3,04030	0,384315	6,08080	1,76516	4,14012	1,482174	48,79317
1,3	47	2,30197	1,87198	2,73196	2,13905	0,348695	7,08035	0,98642	3,11842	1,464480	63,61859
2,1	45	4,62635	3,39755	5,85515	3,10501	0,423274	16,94492	2,08936	5,56548	4,090082	88,40840
2,3	44	4,62085	3,73771	5,50399	4,29277	0,239002	13,56999	2,37186	5,96200	2,904804	62,86295
3,1	48	4,04540	2,97568	5,11513	2,38539	0,085235	12,88527	1,44582	5,88513	3,684016	91,06674
3,3	48	3,11228	2,47998	3,74458	2,31929	0,125865	6,64198	1,35339	5,82250	2,177556	69,96658
4,1	46	4,22722	3,60496	4,84948	4,14237	0,079310	10,58748	3,26669	4,95832	2,095411	49,56949
4,3	48	5,92310	5,30538	6,54081	5,84031	1,011885	12,77742	4,88801	6,96027	2,127345	35,91608
5,1	46	5,43997	4,67606	6,20388	5,42623	0,438406	10,24023	3,31123	7,94915	2,572406	47,28715
5,3	44	4,47593	3,74736	5,20451	4,06103	0,258786	11,87905	3,37567	5,69721	2,396414	53,53996
7,1	48	10,01601	8,47599	11,55603	11,76308	0,777208	20,96379	5,65859	13,47625	5,303654	52,95176
7,3	48	2,77680	2,34606	3,20753	2,87355	0,357845	6,86497	1,43920	3,99497	1,483408	53,42155
8,1	70	15,38748	13,72841	17,04655	14,70860	0,394566	28,50829	10,18108	20,27721	6,957980	45,21846
8,3	74	4,64524	3,86487	5,42560	3,63702	0,162432	15,14067	2,10961	6,37860	3,368282	72,51047
9,1	73	4,72924	4,03964	5,41883	4,02990	0,383256	12,02590	2,25135	6,12374	2,955616	62,49671
9,3	72	7,45031	6,81083	8,08979	8,28488	0,427200	14,18293	7,05089	8,69299	2,721318	36,52624
10,1	73	4,58451	3,79751	5,37151	3,51727	0,328976	13,30576	2,39616	4,84840	3,373098	73,57594
10,3	74	2,15186	1,77921	2,52451	1,46312	0,315729	6,58544	1,06301	3,02646	1,608459	74,74755
11,1	71	6,51654	5,82265	7,21043	6,89794	0,251718	12,59788	4,85101	8,39539	2,931570	44,98662
11,3	72	7,43908	5,95728	8,92089	4,82873	0,439820	21,54800	3,03968	9,60273	6,305869	84,76674

Uspoređujući prosječne razlike mjerenja, kao i 95% intervale pouzdanosti mjerenja, širine goda, uočavamo da postoje značajne razlike u rezultatima. Usporedbom rezultata mjerenja metodama Lupa – CDendro (L-D) zabilježena je maksimalna razlika odstupanja od 1,8 mm (u uzorku 7.1.). Usporedbom rezultata mjerenja metodama CDendro - Rezistograf (D-R) zabilježena je maksimalna razlika odstupanja od čak 15,4 mm (u uzorku 8.1.). Grafička usporedba 95% intervala pouzdanosti razlika mjerenja metodama Lupa – CDendro (L-D) prikazana je tzv. Box & Whisker Plotom na slici 23., a usporedba rezultata mjerenja metodama CDendro - Rezistograf (D-R) na slici 24.

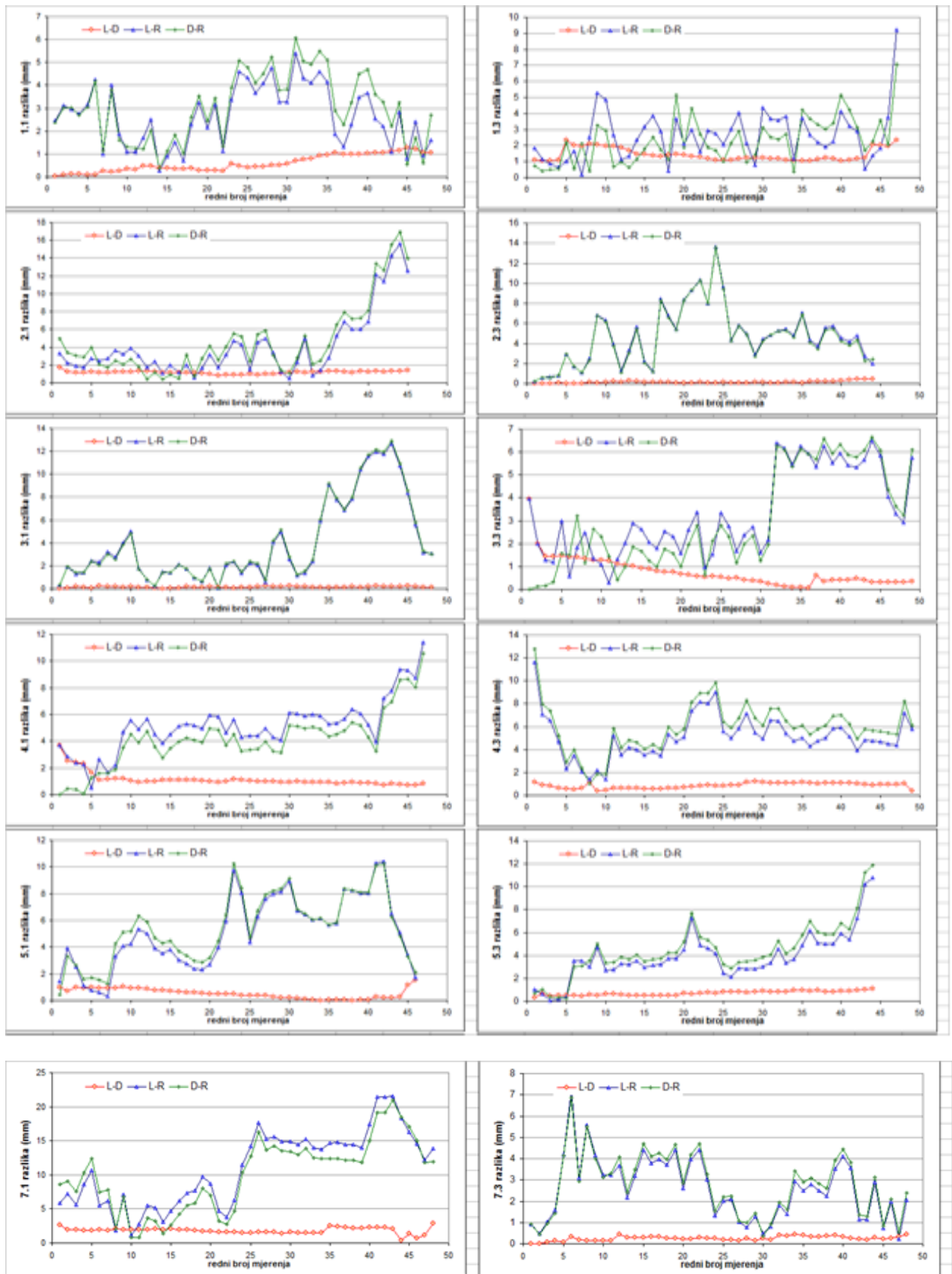


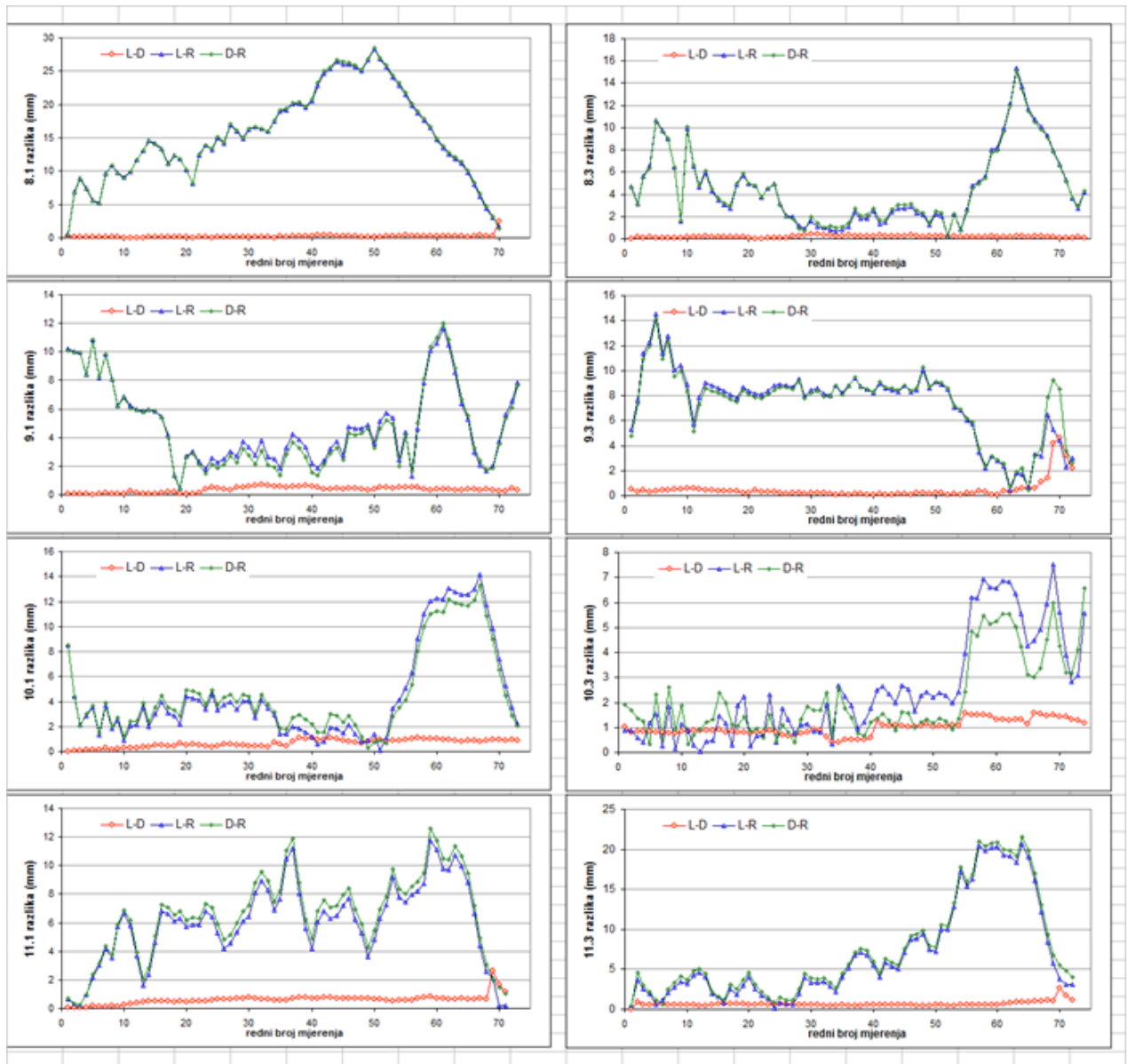
Slika 23. Usporedba 95% IP razlika mjerenja metodama Lupa – CDendro (L-D)



Slika 24. Usporedba 95% IP razlika mjerenja metodama CDendro - Rezistograf (D-R)

Statistički značajne razlike u mjerenjima Rezistografom u odnosu na mjerenja metodama Lupa i CDendro vidljiva su i iz sljedećih grafičkih prikaza:





Slika 25. Razlike rezultata mjerenja za uzorke 1.1 do 11.3.

5. ZAKLJUČAK

Iz dobivenih statističkih analiza vidljivo je da postoji statistički značajna razlika između preliminarnih rezultata mjerenja širine godova drva duglazije pomoću rezistografa i mjerenja pomoću lupe i programa CDendro, čak i na uzorku 10.3. gdje se ranije vidjelo (slika 21. i 22.) da linije lupe, CDendra i rezistografa slijede približno isti put. Iako je razlika u mjerenju između CDendro metode i lupe puno manja, statistika je pokazala da ona i dalje postoji. Usporedbom rezultata mjerenja metodama Lupa – CDendro (L-D) zabilježena je maksimalna razlika odstupanja od 1,8 mm (u uzorku 7.1.). Usporedbom rezultata mjerenja metodama CDendro - Rezistograf (D-R) zabilježena je maksimalna razlika odstupanja od čak 15,4 mm (u uzorku 8.1.). Stoga se rezistografsko mjerenje širine goda u ovom slučaju pokazalo nepouzdanim. Buduća istraživanja trebala bi biti opsežnija i trebala bi se provesti na različitim vrstama drva četinjača, a trebalo bi uključiti i vrste listača, te pri različitom sadržaju vode u drvu.

6. LITERATURA

1. Blanchette, D.; Richard, A.; Fournier, J.; Luther, J.-E.; François, C., (2015): predicting wood fiber attributes using local-scale metrics from terrestrial LiDAR data: a case study of Newfoundland conifer species. *For Ecol Manag* 347:116–129.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.013>
2. Gao, S.; Wang, X.; Wiemann, M.- C.; Brashaw, B. K.; Ross, R.- J.; Wang, L., 2017: A Critical Analysis of Methods for Rapid and Nondestructive Determination of Wood Density in Standing Trees. *Annals of Forest Science*, 74 (2), 27.
URL: <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0623-4>.
3. García-González, I.; Eckstein, D., (2003): Climatic signal of early wood vessels of oak on a maritime site. *Tree Physiol* 23(7):497–504.
URL: <https://doi.org/10.1093/treephys/23.7.497>
4. Giroud, G.; Bégin, J.; Defo, M.; Ung, C.-H., (2016): Eco geographic variation in black spruce wood properties across Quebec's boreal forest. *For Ecol Manag* 378:131–143.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.031>
5. Horvat, I.; Petrić, B.; Špoljarić, Z.; Opačić, I.; Krpan, J., 1985: *Osnove nauke o drvu*, Zagreb.
6. Krajnc, L.; Hafner, P.; Gričar, J.; Simončič, P., 2020: Umerjanje rezistografskih meritev gostote lesa na stoječih drevesih: pretvorba v osnovno gostoto.
7. Krajnc, L.; Hafner, P.; Vedenik, A.; Gričar, J.; Simončič, P., 2020: Meritve gostote lesa v slovenskih gozdovih.
8. Lanzara, P.; Pizzetti, M.; DeMarco, F.; Young, H., 1978: *Simon & Schuster's Guide to Trees: A Field Guide to Conifers, Palms, Broadleaves, Fruits, Flowering Trees, and Trees of Economic Importance*. Simon and Schuster, New York.
9. Riggio, M.; Anthony, R.; Augelli, F.; Kasal, B.; Lechner, T.; Muller, W.; Tannert, T.: In situ assessment of structural timber using non-destructive techniques. *Mater. Struct.* 2014, 47, 749–766.
10. Rinn, F.: Basics of micro-resistance drilling for timber inspection. *Holztechnologie* 2012, 53, 24–29.
11. Seo, J.-W.; Eckstein, D.; Jalkanen, R.; Schmitt, U., (2011): Climatic control of intra-and inter-annual wood-formation dynamics of Scots pine in northern Finland. *Environ Exp Bot* 72(3):422–431.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.01.003>
12. Software for dendrochronology measurements and dating (18.09.2021.)
URL: <https://www.cybis.se/forfun/dendro/prgintro/index.htm>

13. Spiecker, H.; Lindner, M.; Schuler, J., 2019: Douglas-fir - an option for Europe. EFI What Science Can Tell Us 9. European Forest Institute, Joensuu.
14. Struna: Hrvatsko strukovno nazivlje (20.09.2021.)
15. Tumajer, J.; Treml, V., (2016): Response of floodplain pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring width and vessel anatomy to climatic trends and extreme hydro climatic events. For Ecol Manag 379:185–197.
URL:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.013>
16. Wagenführ, R., 2006: Holzatlas. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, Leipzig.