

Modeli određivanja volumena krošnje u planiranju gospodarenja sastojinama narušene strukture

Kampić, Doris

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:108:503515>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



Repository / Repozitorij:

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



FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ

OSNOVE UREĐIVANJA ŠUMA

DORIS KAMPIĆ

**MODELI ODREĐIVANJA VOLUMENA KROŠNJE U
PLANIRANJU GOSPODARENJA SAS TOJINAMA NARUŠENE
STRUKTURE**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2024.

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

**MODELI ODREĐIVANJA VOLUMENA KROŠNJE U PLANIRANJU
GOSPODARENJA SASTOJINAMA NARUŠENE STRUKTURE**

ZAVRŠNI RAD

Prijediplomski studij: Šumarstvo

Predmet: Osnove uređivanja šuma

Ispitno povjerenstvo:

Student: Doris Kampić

JMBAG: 0068238568

Broj indeksa:

Datum odobrenja teme: 26. 04. 2024.

Datum predaje rada: 17. 09. 2024.

Datum obrane rada: 20.09. 2024.

Zagreb, rujan 2024.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

NASLOV	Modeli određivanja volumena krošnje u planiranju gospodarenja sastojinama narušene strukture
Title	Modeling volume of tree crowns in stands with disturbed structure
Autor	Doris Kampać
Adresa autora	Mrežnička 11, 47240 Slunj
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Završni rad
Mentor	Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Teslak
Izradu rada pomogao	Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Teslak
Godina objave	2024. godina
Obujam	36 stranica, 12 tablice, 18 slika, 9 grafičkih prikaza, 18 naslova literature
Ključne riječi	volumen krošnje, propadanje stabala, oštećenost sastojina, modeliranje prirasta, varijable stabla
Key words	Tree crown volume, decay of the tree, damage to stands, growth modeling, tree variables
Sažetak	<p>Volumen krošnje nemoguće je mjeriti direktno terestičkom izmjerom. Najčešće se izračunava putem različitih modela iz terestički izmjerenih promjera i visine krošnje. Obzirom na veliku varijabilnost oblika krošnje razvijeni su i brojni modeli za izračun. Odabir i analiza primjene različitih modela određivanja volumena krošnje stabala cilj je rada. Izračunat je volumen krošnje prema deset modela utemeljenih na osnovu volumena kombinacija osnovnih (kugla, stožac, elipsoid i valjak) geometrijskih likova. Različito određeni volumeni krošnje na istom uzorku stabla međusobno su uspoređeni analizom varijance te post hock testom. Preciznije određen volume krošnje značajan je u kontekstu modeliranja povezanosti volumena krošnje i otpornosti stabala na vanjske štetne utjecaje.</p>

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

vlastoručni potpis

Doris Kampać

U Zagrebu, 2024.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
	1.1. Problematika određivanja volumena i primjena određenih metoda.....	2
	1.2. Procjena stanja krošnje stabla.....	3
	1.3. Izmjera krošnje	4
	1.4. Utjecaj strukture sastojine na krošnju stabala	5
	1.5. Važnost poznavanja volumena krošnje	6
	1.6. Dosadašnja istraživanja	7
2.	CILJ RADA	10
3.	MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	11
	3.1. Predmet istraživanja i uzorkovanje	11
	3.2. Izmjera na terenskim plohama.....	14
	3.3. Obrada podataka	16
4.	REZULTATI.....	19
	4.1. Prikaz rezultata izračunatih volumena krošanja prema više modela	19
	4.2. Deskriptivna statistika volumena krošanja stabala jasena	24
	4.3. Analiza varijance volumena krošnje	26
	4.4. Važnost volumena krošnje za neposredno gospodarenja šumama	31
5.	RASPRAVA	33
6.	ZAKLJUČAK.....	36
	LITERATURA	37

POPIS TABLICA

Tablica 1. <i>Stupnjevi osutosti krošanja (Izvor: VJEŽBE IZ EKOLOGIJE ŠUMA, Vježba 7: Procjena osutosti krošanja stabala, Damir Ugraković, Ivica Tikvić)</i>	3
Tablica 2. <i>Uzorak terenskih ploha te osnovni elementi uzorka (izmjera 2023 i 2024. godine) (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine).</i>	14
Tablica 3. <i>Volumen krošanja i indeks odstupanja od prosjeka za više modela izračuna (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine)</i>	19
Tablica 4. <i>Opisna statistika izračuna volumena krošnje stabala (sve vrste) prema različitim modelima izračuna (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine).</i>	24
Tablica 5. <i>Opisna statistika izračuna volumena krošnje stabala poljskog jasena prema različitim modelima izračuna (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine)</i>	24
Tablica 6. <i>Opisna statistika izračuna volumena krošnje stabala pensilvanskog jasena prema različitim modelima izračuna (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine)</i>	25
Tablica 7. <i>Rezultati ANOVE usporedbe različitih modela izračuna volumena krošnje svih stabala (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine).</i>	26
Tablica 8. <i>Rezultati post hoc-testa za različite modele izračuna volumena krošnje (sve vrste i svi prsni promjeri) (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine)</i>	28
Tablica 9. <i>Rezultati ANOVE usporedbe različitih modela izračuna volumena krošnje između dvije vrste jasena (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine)</i>	28
Tablica 10. <i>Rezultati post hoc-testa za različite modele izračuna volumena krošnje i vrste jasena (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine).</i>	30
Tablica 11. <i>Rezultati ANOVE usporedbe različitih modela izračuna volumena krošnje između dvije vrste jasena i kategorijama prsnog promjera (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine).</i>	30

POPIS SLIKA

Slika 1. <i>Dijelovi krošanja stabala (Izvor: Pranjić, N. Lukić – Izmjera šuma)</i>	4
Slika 2. <i>Sastojina poljskog jasena u Posavini (detalj u poplavi) (Izvor: izmjera 2023 i 2024. godine)</i>	11
Slika 3. <i>Područje istraživanja unutar uređajnog razreda poljskog jasena Srednje Posavine</i>	12
Slika 4. <i>Detalj područja istraživanja s prikazom odsjeka i projektiranih terenskih ploha</i>	13
Slika 5. <i>Udio prema vrstama mjerenih stabala na plohama</i>	15
Slika 6. <i>Baza podataka volumena krošnje stabala (isječak)</i>	16
Slika 7. <i>3D Geometrijski oblici koji oponašaju oblike krošanja</i>	16
Slika 8. <i>Prosječan volumen krošnje prema modelima izračuna za dvije vrste jasena</i>	20
Slika 9. <i>Odstupanje pojedinog modela izračuna volumena krošanja</i>	21
Slika 10. <i>Volumen krošanja poljskog jasena u ovisnosti u prsnom promjeru</i>	22
Slika 11. <i>Volumen krošanja pensilvanskog jasena u ovisnosti o prsnom promjeru</i>	23
Slika 12. <i>Aritmetičke sredine volumena krošanja po debljinskim stupnjevima s trendom sredina</i>	25
Slika 13. <i>Odnos prosječnog volumena krošnje izračunatog prema različitim modelima</i>	27
Slika 14. <i>Odnos prosječnog volumena krošnje izračunatog prema različitim modelima</i>	29
Slika 15. <i>Odnos prosječnog volumena krošnje izračunatog prema različitim modelima</i>	31

PREDGOVOR

Htjela bih se zahvaliti profesoru i mentoru doc. dr. sc. Krunoslavu Teslaku na pruženoj prilici i suradnji u pisanju ovoga završnoga rada. Zahvaljujem se na svim savjetima, materijalima i neizmjerne pomoći.

Također bih se htjela zahvaliti svojoj obitelji, Josi, Snježani, Igoru na pruženoj podršci, strpljenju i svim toplim riječima.

I naravno velike zahvale Krsti na pruženom ohrabrenju i vjeri.

1. UVOD

Krošnja je nadzemni, najgornji, razgranati dio stabla. Sastavljena je od grana raznih dimenzija te manjih grančica. Grane i grančice su glavni nositelji fotosinteze tj. biljne proizvodnje jer sadrže lišće, no osim toga na sebi nose pupove, cvjetove, plodove. Krošnja stabala zajedno sa lišćem koje nose predstavljaju nositelje razvoja stabala jer proizvode kisik. Važne značajke krošnje su omogućavanje filtracije zraka čisteći ga od prašine i drugih zagađivača, stvaranje sjene, usmjeravanje vjetra te ublažavanje buke i vjetra te temperature što sve značajno utječe na mikroklimu. Jasno da krošnja može biti različito oblikovana te raznoliko razvijena. Ono što ju oblikuje je nasljeđe/genetika te okolni elementi tj. okolina. Od okoline razlikujemo obilježja staništa (tlo, klima, reljef) te položaj stabla u odnosu na susjedna stabla, odnosno strukturu sastojina za stabla koja se razvijaju u sastojinama. Pri tome razlikujemo soliterno razvijena stabla, stabla u manjih skupinama i stabla u sastojinama. Stabla u sastojinama razvijaju krošnje ovisno o primijenjenom načinu gospodarenja, a razlikuje se rubna stabla i stabla u glavnini sklopa (Anić i dr. 2004).

Kada se provode analize krošanja, obično se proučavaju oblici i dimenzije grana, način na koji su grane smještene u krošnji te pod kojim kutom rastu u odnosu na os debla. Elementi koji se mogu mjeriti vezano za krošnju stabla su: duljina krošnje, visina baze krošnje, visina najšire krošnje, promjer krošnje, oblik krošnje, projekcija krošnje na tlo, gustoća krošnje, oštećenost krošnje, zdravstveno stanje te procjena osutosti krošnje. Neke varijable su mjerljive dok se druge procjenjuju temeljem uspostavljenih kategorija i pripadajućih ključeva. Mjerljive varijable mogu se mjeriti tradicionalnim uređajima kao što su: vrpca, relaskop, klinometar, hipermetar... Važno je za napomenuti da se te varijable mjere sa tla. Osim tradicionalnih metoda, mogu se koristiti suvremene metode kao što su: terestrička fotografija, LIDAR podatci, hiperspektralne kamere i tehnika fuzije podatak. (Anić i dr. 2004).

Važan element koji se određuje kod stabala jest volumen krošnje stabala. On se obično ne mjeri klasičnom terestričkom izmjerom. Umjesto toga, provodi se izmjera različitih visina krošnje (stabla) i promjera krošnje te se na temelju tih veličina različitim modelima indirektno određuje sam volumen krošnje. Kao što smo gore naveli, oblik krošanja ovisi o mnogo faktora pa je i zbog toga prisutna velika varijabilnost oblika. Oblik ovisi o vrsti drveća, dobi, načinu gospodarenja, pritisku kompeticije, položaju u sastojini (etaži), kvaliteti staništa (bonitetu) i zdravstvenom stanju. Stoga zaključujemo da skladno tome postoje i razni modeli određivanja

volumena krošnje. Osim određivanja volumena, visina i promjer krošnje mogu se koristiti i za određivanje tlocrtne površine krošnje.

Kada govorimo o izmjeri elemenata krošnje onda treba napomenuti kako su promjer krošnje i duljina krošnje dvije dimenzije krošnje koje možemo izmjeriti sa tla, a koje se koriste za izračun volumena krošnje. Duljina krošnje obično se dobije tako da se od izmjerene totalne visine (visine vrha stabla) oduzme visina početka krošnje (visina od tla do prve žive grane krošnje) (Pranjić i Lukić 1997).

1.1. Problematika određivanja volumena i primjena određenih metoda

Za krošnju je tipično to što može imati vrlo raznolik raspored grana i izbojaka, s time da i postoje razne praznine u krošnji. Tako krošnja može biti različito popunjena te stabala s istim volumenom krošnje imaju različito funkcionalnu krošnju. Sve to dodatno komplicira istraživanje utjecaja volumena krošnje na prirast stabla i otpornost na stanišne izazove, štetnike i bolesti. U našem radu nismo posebno istraživali popunjenost krošnje te se volumen krošnje smatra jednoznačan. Volumen krošnje jedan je od bitnijih elemenata stabla zato jer je on direktno povezan sa proizvodnjom biomase, kruženjem ugljika u prirodi te samim time i zaštitom prirode. Preko volumena krošnje moguće je procijeniti njegovu korelaciju sa snagom otpornosti stabala na vanjske štetne utjecaje koji ih okružuju. Teoretski, volumen krošnje može biti definiran kao prividni geometrijski volumen koji uključuje sve grane i lišće, čak i rupe među njima.

Bez obzira na koju se metodu mi odlučili za izračun volumena krošnje, on će i dalje ostati djelomično nepoznat zbog dosta odstupanja krošnje od pravilnih geometrijskih likova odnosno nepravilnosti oblika krošnje. Lidarsko snimanje je najbliže izračunavanju najrealnijeg volumena krošnje. LIDAR je potpuno automatiziran, aktivan, optičko mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih s aktualnih snimališta. LIDAR sustavi se temelje na laserskom skeniranju koje mjeri udaljenost između skenera i objekta izmjere, a ono se računa pomoću brzine svjetlosti i vremena potrebnog da emitirano lasersko zračenje dođe do objekta (Seletković 2022). Odabir metode za određivanje volumena krošnje ovisi o raznim kriterijima. Ovisi o: karakteristikama krošnje, troškovima, vremenskim čimbenicima, dostupnosti novčanih sredstava, mogućnost pristupanja informacijama, željena točnost te preciznost, svrha neke analize, brojnost uzorka i drugo. Za manje uzorke stabala još će se neko vrijeme primjenjivati izračun volumena krošnje na temelju izmjere jednostavnih parametara visine stabala i promjera krošnje.

1.2. Procjena stanja krošnje stabla

Pri opisu stanja krošnje stabla možemo koristiti osutost krošnje. Osutost je pojam koji označava nedostatak lišća/iglica na krošnji stabla uslijed nepovoljnih utjecaja vanjskih sila. Zbog osutosti stabla imaju proriječenu krošnju što za posljedicu dovodi do veće osjetljivosti na biljne bolesti, štetnike i slično.

Jedna od metoda za procjenu osutosti krošanja koja se može koristiti je metoda prema ICP Forests (The International Cooperative Programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests). ICP Forests je međunarodni program za procjenu i motrenje utjecaja zračnog onečišćenja na šume. Procjena se obavlja promatranjem dominantnih stabla u sastojini. Naprave se pokusne površine te se odabere 24 stabla (iste vrste) koja će se promatrati par godina za redom. Što se tiče procjene, ona se obavlja po ljeti, u 7. ili 8. mjesecu na takav način da se stablo pregleda sa svih strana te se uspoređi njegovo stanje sa stanjem najkvalitetnijeg stabla koji se nalazi u fotografskom priručniku ili na terenu (ako ga ima) (Ugarković i Tikvić, 2020).

Tablica 1. Stupnjevi osutosti krošanja

Stupnjevi	Osutost	Postotak gubitka lisne mase
0	Nema osutosti	0-10% gubitka lisne mase
1	Mala osutost	11-25% gubitka lisne mase
2a	Srednja osutost	26-40% gubitka lisne mase
2b	Srednja osutost	41-60% gubitka lisne mase
3a	Velika osutost	61-80% gubitka lisne mase
3b	Velika osutost	81-99% gubitka lisne mase
4	Odumrlo stablo	100% gubitka lisne mase

Negativne posljedice osutosti krošanja stabala:

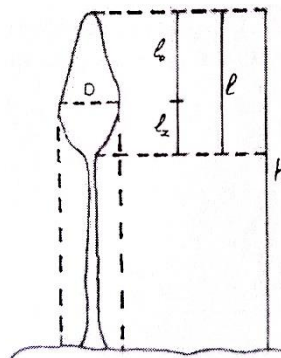
- indeks lisne površine je manji
- umanjena je asimilacija, proizvodnja biomase
- smanjena je intercepcija
- imisijska funkcija šume je narušena
- smanjen je utjecaj šume na klimu i ublažavanje klimatskih promjena
- smanjenje drvene zalihe, biomase
- degradacija tla pod utjecajem “atmosferilija”

1.3. Izmjera krošnje

Prikazivanje krošanja u obliku osnovnog modela ovisi o kojoj vrsti drveća je riječ. Kada govorimo o listopadnom drveću odnosno bjelogorici, njihova se krošnja prikazuje u geometrijskom obliku paraboloida. S druge strane, ako je riječ o četinjačama odnosno crnogoričnim stablima, njihove krošnje se mogu prikazati u geometrijskom obliku stošca (Assmann 1961). Jasno je kako postoje razni modeli krošanja, te ih svaki autor može drugačije opisati.

U osnovici, na krošnji se mogu mjeriti sljedeći elementi:

- dužina krošnje (l),
- promjer krošnje,
- dužina osvjetljenog dijela krošnje (l_o),
- dužina zasjenjenog dijela krošnje (l_z).



Slika 1. Dijelovi krošanja stabala

Pri samoj izmjeri pojedinih elemenata tj. dijelova krošnje, javljaju se razni izazovi vezano za mjerenje. Najviše problema zadaje promjer krošnje ((ili radijus), točnije više njih) jer se on ne može izravno izmjeriti. Uz to, dosta često je nepravilnog oblika. Rješenje za takav problem sastoji se u tome da se projiciraju odabrani dijelovi krošnje na tlo. Radi se o najvećem i najmanjem promjeru krošnje.

Projiciranje se izvodi pomoću trasirki i viska, a samo mjerenje promjera se vrši mjernom vrpcom (Pranjić i Lukić 1997).

Na temelju odnosa pojedinih dijelova krošnje mogu se dobiti indeksi kao što su (Pranjić i Lukić 1997):

- indeks stupnja kvalitete krošnje – odnos dužine i promjera krošnje
- indeks učešća krošnje – odnos ukupne visine stabla i dužine krošnje

1.4. Utjecaj strukture sastojine na krošnju stabala

Pojam struktura sastojine i šume obuhvaća mnoge stvari i mogu se opisati na brojne načine.

Osnovni atributi strukture sastojine uključuju: način gospodarenja, veličinu, oblik i prostorni raspored stabala po prostoru sastojine. Struktura sastojine se sastoji od brojnih komponenti od kojih su mnogi temeljni za funkcioniranje i raznolikost ekosustava. Potrebno je razlikovati strukturu šume i strukturu njenih sastojina. Razlikuje se nadzemna, prizemna i podzemna šumska struktura. Šumska struktura površine tla i ispod zemlje nije dobro proučena, ali je vrlo važna za rast pojedinačnih stabala i njihovih krošanja, šume, kruženje hranjivih tvari i kao stanište za kralješnjake i beskralješnjake. U smislu planiranja gospodarenja, šume mogu imati dobnu i prostornu strukturu rasporeda sastojina u prostoru i vremenu (Čavlović 2013).

Jedna od najvažnijih strukturnih karakteristika sastojine koja određuje rast stabala i krošanja je gustoća sastojine, kao što su broj stabala, bazalna površina sastojine, indeks lisne površine i indeks gustoće sastojine. Ostali šumski procesi također se mijenjaju s gustoćom sastojine, poput transpiracije i fotosinteze.

Gustoća sastojine kritičan je čimbenik u varijaciji strukture krošnje i biomase te može značajno promijeniti prostor za uzgoj i korištenje resursa drveća.

Struktura krošnje, njezin volumen i biomasa su određene karakteristikama sastojine i vanjskim okolišem, a gustoća sastojine jedan je od glavnih čimbenika koji utječu na varijacije obilježja krošnje (Li i dr. 2022). Povećanje gustoće sastojine pojačava prostorno natjecanje među pojedinačnim stablima, što može smanjiti veličinu i volumen krošnje smanjenjem prostora za njen rast. Povećanje gustoće sastojina također povećava natjecanje drveća za svjetlo, što dovodi do promjena u strukturi krošnje kako bi se maksimiziralo presretanje svjetla. Veća gustoća sastojina smanjuje dostupnost vode i hranjivih tvari za pojedinačna stabla, čime se ograničava rast stabala, a samim time rast krošnje i njezina volumena.

Odnosi između rasta stabala i njihovih krošanja te određene varijable sastojina (obrast, broj stabala, drvena zaliha i slično), mogu se uvelike razlikovati između tipova šuma i vrsta drveća. Svaka vrsta drveća je prilagođena različito na određene životne uvjete koji vladaju, a rezultat

su strukture sastojine i njenih sastavnica. Npr. kada govorimo o broju stabala tada određene vrste stabala imaju prednost u razvoju, brzo se izbore za svoj prostor, razviju bujnu i voluminoznu krošnju te imaju određenu dominaciju. Možemo reći da potiskuju druge vrste i nazivamo ih uzgojno jačima.

1.5. Važnost poznavanja volumena krošnje

Šume igraju vrlo važnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika. Sama količina ugljika koju ta stabla zadržavaju te prostorna raspodjela tog ugljika nije jednostavna za izmjeriti ili procijeniti. Postojeće studije sugeriraju da kada se visina stabla uzme u obzir u izračunima biomase, uz promjer i gustoću drva, procjene zaliha ugljika su znatno preciznije.

Međutim, moguće je da bi veličina (volumen) krošnje značajno doprinijela procjeni biomase u nekim šumama gdje su visine stabala niže jer čak i razmjerno niska stabla razvijaju velike, dobro osvijetljene krošnje s velikim volumenima. Krošnje drveća i njeni volumeni uglavnom su zanemarene kako u alometrijskoj teoriji tako i u praktičnim pokušajima da se poboljšaju procjene biomase za golemo područja u kojima postoji malo ili nimalo izravno izmjerenih podataka o biomasi.

Veličina krošnje stabla i njen volumen snažno je povezan s rastom stabla. Stoga se često provodi mjerenje krošnje stabla kako bi se kvantificirao i razumio rast stabla. Biomasa krošnje te kvantiteta i kakvoća grana od velikog je interesa za ekološke studije i istraživanja utjecaja drveća na smanjenje onečišćenja. Posebno je to važno za drveće u urbanim sredinama. Krošnja također ima veliki vizualni učinak. I ovaj utjecaj je važan u urbanim šumama jer utječe na ljepotu stabala.

Parametri odabrani za mjerenje ovisit će o odabranom stablu, razlogu mjerenja, i parametrima potrebnim za kasniji izračun.

Pojedinosti o površini lišća, sadržaju minerala i hranjivih tvari te masi lišća, grančica i grana unutar krošnje mjere za različite potrebe:

- ekološke studije
- procjena kvalitete lišća za arborealnu faunu
- procjena dinamike rasta i staništa te potencijala staništa
- ublažavanje atmosferskog onečišćenja (osobito urbanog drveća)
- utjecaj urbanog drveća na mikroklimu
- usklađivanje refleksije od zračnih ili daljinskih skenera s parametrima tla

Krošnje drveća i njen volumen utječu na rast pojedinačnih stabala kroz biogeokemijski ciklus u ekosustavima presretanjem svjetlosti i reguliranjem izmjene plinova i vode. Prema tome volumen krošnje je temeljna karakteristika stabla. Povezan je s proizvodnjom šumske biomase i najvažnijim funkcijama ekosustava i okoliša, poput sekvenciranja ugljika i smanjenja onečišćenja zraka. Nadalje, volumen krošnje jedan je od bitnijih elemenata stabla zato jer je on direktno povezan sa proizvodnjom drvene biomase i kruženja ugljika u prirodi (Wenyan i dr. 2022)

Preko volumena krošnje procjenjujemo njegovu povezanost sa snagom otpornosti stabala na vanjske štetne utjecaje koji ih okružuju. Što je krošnja stabla veća i bogatija to nam ukazuje kako je to stablo raslo u povoljnim uvjetima s malo štetnih utjecaja kao što su napadi kukaca, gljiva, djelovanje štetnih abiotskih čimbenika. Odnosno, takvo stablo uspjelo se je obraniti od štetnih djelovanja zahvaljujući izrazito dobrom zdravstvenom stanju koje dijelom proizlazi i iz zdrave krošnje tog stabla. Stoga postoji veza između veličine krošnje i otpornosti stabla. Pretpostavka je da prvo stradavaju stabla s malom krošnjom koja već i prije ugroze jedva opstaju. Izuzetci postoje, a odnose se na ugroze od ledenih oluja i dugog jakog vjetra gdje stradavaju stabla s većom krošnjom jer pružaju velik otpor vjetru ili nakupljaju enormne količine snijega i leda.

Slijedom svega navedenog možemo zaključiti da je volumen krošnje značajna varijabla za modeliranje šuma i njihovo upravljanje.

1.6. Dosadašnja istraživanja

Gledajući provedena istraživanja i dostignute spoznaje kod nas, u Europi i ostatku svijeta šumarski stručnjaci osmislili su razne metode pogodne za utvrđivanje volumena krošnja.

Prema Zhu i dr. (2020.) sljedeće metode određivanja volumena krošnja česte su na području Europe i drugdje.

Klasični 3D oblici

Ova metoda na krošnju stabla gleda kao trodimenzionalno geometrijsko tijelo za koje se onda geometrijski može odrediti volumen. Inputi za određivanje volumena su duljina i promjer krošnje.

Metoda zahtjeva da se nepravilni oblik krošnje generalizira. Sam odabir geometrijskog oblika ovisi o vrsti stabla, atributima stabla, načinu rada na terenu i modelima izračuna. Najčešće korišteni 3D oblici su: stožac, elipsoid, paraboloid, cilindar i sfera. Jedna je to od češćih metoda pomoću koje se određuje volumen krošanja.

Faktor oblika krošnje (CF)

Ovo je metoda koja se koristi za opis oblika krošnje te računanje njenog volumena

Formula:

$$CF = (\pi * k^2) / 4$$

k-omjer oblika krošnje

Metoda računalne geometrije

Ova metoda direktno koristi računalne podatke krošnje kao što su trodimenzionalni oblaci točaka ili fotografije za određivanja volumena krošanja. Obuhvaća tri metode: konveksne ljuske, alfa oblik i obavijena površina.

a) Konveksne ljuske

Ova metoda podrazumijeva da se volumen krošnje stabla može predstaviti volumenom trodimenzionalne konveksne ljuske koja okružuje cijelu krošnju. Ova metoda zahtjeva skup točaka koje su skupljene sa površine krošnje kako bi se na kraju mogla stvoriti konveksna ljuska oko krošnje. Te točke mogu biti skupljene na način da se ručno izmjere ili se mogu laserski skenirati.

b) Alfa (α) oblik

Metoda koja se također koristi točkama. Alfa oblik nekog skupa točaka određen je tim skupom i parametrom α . Parametar α je kriterij pomoću kojeg se određuje razina detaljnosti vezano za oblik krošnje. Najvažniji dio ove metode je odrediti najpovoljniji α . To je iz razloga što se uslijed povećanja alfe sam alfa oblik približava obliku konveksne ljuske za neke određene točke. U slučaju kada se alfa smanjuje tada se alfa oblik sužava te samim time podcjenjujemo volumen krošnje.

c) Obavijena površina

Predstavlja metodu pomoću koje se računa volumen krošanja stabala koja imaju nepravilniju krošnju od prosjeka. Ova metoda također primjenjuje 3D oblak točaka u izračunu. Volumen krošnje se računa kao volumen obavijene površine.

Metoda „rezanja“ krošnje

Metoda koja omogućava analiziranje volumena krošnje stabla na način da se krošnja raspodjeli na više različitih slojeva. Sveukupni volumen krošnje dobije se zbrajanjem volumena pojedinačnih slojeva krošnje. Ovo su samo neke od metoda, u današnjem svijetu i s današnjom razvojem sve je učestalija uporaba visoke tehnologije kako bi se volumen krošnja odredio s nevjerojatnom preciznošću. Primjer je korištenje lasera, odnosno LIDARA.

Osim ovih modernih metoda, stručnjaci diljem svijeta određuju volumene krošnja jednostavnim uspoređivanjem krošnje stabala sa geometrijskim oblicima kao što su kugla, elipsoid, stožac i slično. U principu, na isti način na koji se je volumen krošnja određivao i u ovome radu.

2. CILJ RADA

Pretpostavka je da veličina krošnje utječe na otpornost stabla na biljne bolesti i štetnike. Jednako tako veličina krošnje povezana je i s ugroženošću stabla od ekstremnih vremenskih događaja odnosno elementarnih nepogoda. Posebno je to važno u kontekstu ubrzanih klimatskih promjena uslijed kojih su vremenski ekstremi sve češći i sve intenzivniji. Terestrička izmjera krošnje nije jednostavna zbog velike varijabilnosti i nedostupnosti stoga je izmjera parametara krošnje bio jedan od prvih zadataka fotogrametrije i izmjere daljinskom detekcijom. Stoga su i razvijene brojne metode i alati za izmjeru krošanja metodama daljinskih istraživanja. Ipak u posebnim slučajevima za manje specifične uzorke gdje je bitna vrsta drveća parametre krošnje izračunavamo temeljem izmjere visina stabala i promjera krošnje. Ovisno o izmjerenim varijablama oblika krošnje te potrebnoj preciznosti sam volumen krošnje izračunavamo prikladnim modelom odnosno svođenjem oblika krošnje na neki jednostavniji geometrijski lik.

Odabir i analiza primjene različitih modela određivanja volumena krošnje stabala cilj je ovog rada. Preciznije određen volumen krošnje značajan je u kontekstu modeliranja povezanosti volumena krošnje i otpornosti stabala na vanjske štetne utjecaje.

Temeljni cilj možemo podijeliti u nekoliko pod ciljeva:

- utvrditi volumen krošnje temeljem više modela
- prikazati volumene krošnje za više modela
- analizirati primjenjivost pojedinog modela za određivanje volumena krošnje
- utvrditi koji je model najprikladniji za određivanje volumena krošnje poljskog i pensilvanskog jasena
- razmotriti primjenjivost modela i značaj volumena krošnje za planiranje gospodarenja u narušenim sastojinama uslijed sušenja zbog napada gljivičnih bolesti
- predložiti set mjerljivih parametara tijekom inventura stabala i sastojina prikladnih za daljnji obračun volumena krošnje

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Predmet istraživanja i uzorkovanje

Predmet ovog istraživanja su stabla u sastojinama uređajnog razreda poljskog jasena (slika 5) u Srednjoj Posavini. Za terensku izmjeru i procjenu odabrani su odsjeci: 19a i 40b GJ Kutinske nizinske šume, 39b i 53d GJ Lonja, 7f i 15a GJ Međustrugovi, 16c i 49c, GJ Radinje, 48c, GJ Ključevi i 29d GJ Podložje (slika 2). Unutar svakog odabranog odsjeka postavljen je uzorak ploha za izmjeru strukturnih i drugih elemenata stabala i sastojina. Obzirom na obilježja odabrane sastojine, tj. njihova pojedinačna površina relativno je mala, homogenost njihove unutarnje strukture, značajan udio neobrasle površine te njihovu deklariranu dob smanjen je ukupan uzorak ploha predviđenih za izmjeru (ukupno 43 terenske plohe).



Slika 2. Sastojina poljskog jasena u Posavini (detalj u poplavi)

U uzorku smo se odlučili na područje Srednje Posavine stoga su u uzorak uključene GJ Podložje i GJ Ključevi te GJ Radinje. Razlog je koncentriraniji uzorak te mogućnost osiguravanja dodatnih stanišnih i klimatskih varijabli za područje istraživanja. Pri tome Posavina kao jedinstvena homogena cjelina šuma poljskog jasena predstavlja zaokružen uzorak sličnih sastojina (slika 2). Pri tome pod sličnost podrazumijevamo stanišne, klimatske i strukturne karakteristike.

Plohe su unaprijed projektirane na georeferenciranim snimkama (kartama) u obliku sistematskog uzorka sa slučajnim početkom kako bi se izbjegla svaka subjektivnost. Uzorak izmjerenih ploha je manji jer je značajan dio ploha uredski projektiran na šumskim čistinama unutar odabranih sastojina/odsjeaka.



Slika 3. Područje istraživanja unutar uređajnog razreda poljskog jasena Srednje Posavine

Svaka ploha definirana je svojim koordinatama te je pomoću GPS uređaja locirana na terenu kroz postavljeno središte glavne plohe za izmjeru te posredno pod plohe za utvrđivanje stanja pomlađenosti sastojine (slika 3).



Slika 4. Detalj područja istraživanja s prikazom odsjeka i projektiranih terenskih ploha

Plohe su ciljano postavljene u dio sastojina u kojima je potpuno i značajno zastupljen poljski jasen. Obzirom na uočenu značajnu varijabilnost u unutarnjoj strukturi u pogledu daljnjeg finijeg izlučivanja sastojina moguće je provesti dodatne izmjere u dijelovima postojećih sastojina koje bi izdvojili u smislu uspostave drugih uređajnih razreda, a time i redefiniranje cilja gospodarenja.

3.2. Izmjera na terenskim plohama

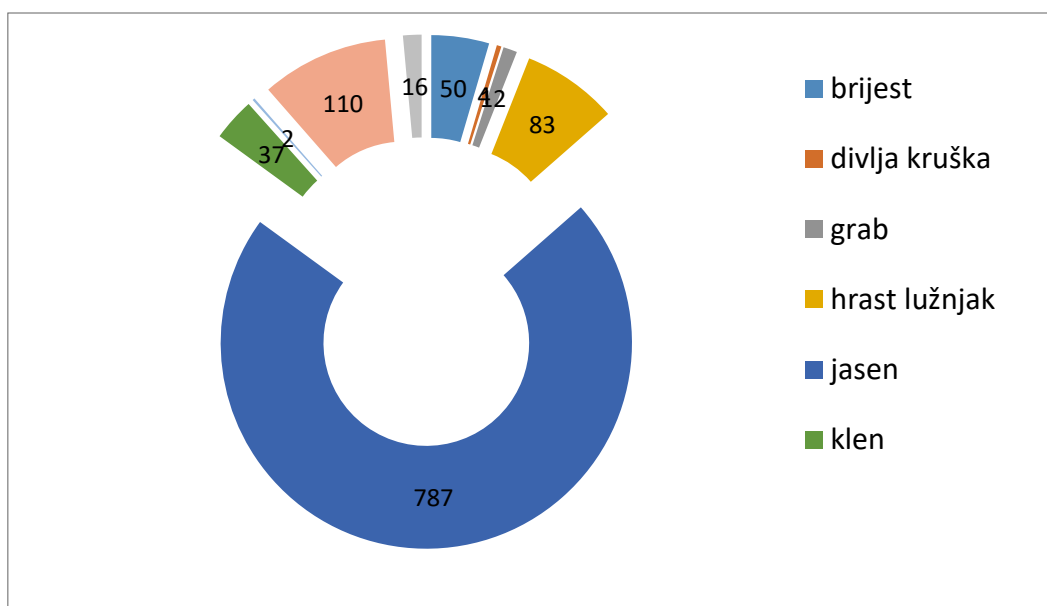
Tijekom razdoblja aktivne vegetacije u periodu od 06. do 10. mjeseca 2023 i 2024. godine provedena je izmjera na svim plohama. Izvan vegetacijske sezone na obilježenim plohama i odabranim i označenim stablima uzimani su dugi izvrtci za detaljno povezivanje i modeliranje prirasta ovisno o obilježjima klime, staništa, sastojine i stabala.

Sveukupno je postavljeno 43 plohe površine od 200 do 500 m² ovisno o starosti sastojine i s tim povezane strukture sastojine. Na dvije plohe nije bilo izmjere jer predstavljaju baru bez stablašica. Na svim plohama zabilježeno je 1001 stablo, a premjerena površina jednaka je 1,58 ha (tablica 2).

Tablica 2. Uzorak terenskih ploha te osnovni elementi uzorka (izmjera 2023 i 2024. godine)

Uprava šuma P.	Šumarija	Gospodarska jedinica	Odsjek	broj ploha	Površina plohe	Površina uzorka	Broj stabala	Izvrtci prirasta
				komada	m ²	m ²	komada	komada
Zagreb	Kutina	Kutinske nizinske šume	19a	10	200	2000	228	33
			40b	5	500	2500	108	15
Sisak	Sunja	Lonja	39b	5	500	2500	115	18
			53d	3	250	750	111	12
Nova Gradiška	Stara Gradiška	Međustrugovi	7f	3	250	750	82	10
			15a	3	250	750	135	9
Nova Gradiška	Nova Kapela	Radinje	16c	2	250	500	97	8
			49c	3	500	1500	27	3
Nova Gradiška	Stara Gradiška	Podložje	29d	5	500	2500	149	32
Nova Gradiška	Nova Gradiška	Ključevi	48c	4	500	2000	48	14
TOTAL				43		15752	1100	154

Na svakoj plohi snimljeno je niz varijabli. Ukupno je izuzeto 154 izvrtaka odabranim ciljanim stablima koja su dodatno mjerena kako bi se potpuno osigurala potpuna paleta varijabli stabla poput širine i visine krošnje, oštećenosti debla, oštećenosti žilišta i slično.



Slika 5. Udio prema vrstama mjerenih stabala na plohama

Svim 1101 stablu izmjerena je pozicija u prostoru sastojine što omogućava prostorne kompeticijske analize uz izvedene varijable volumena krošnje i tlocrtne projekcije krošnje.

Zabilježeno je šest vrsta stablašica, a udio prema broju prikazan je na slici 5. Sastojine su iznimno narušene strukture i prorjeđene te narušenog staništa što je vidljivo i iz panoramskih fotografija načinjenih na svakoj plohi.

Svakom stablu na terenskoj plohi bilježen je azimut i udaljenost od središta, svako stablo je precizno označeno i fotografirano, a djelu stabala uz niz procijenjenih i izmjerenih detaljnih atributa stabala uzet je i dugi drveni izvrtak (samo stablima poljskog jasena) za analize prirasta, razvoja sastojine i slično. Temeljem podataka formirana je ulazna baza podataka u kojoj su izvedene brojne složene varijable stabala poput kategorija stradalosti krošnje, kategorija osutosti krošnje, volumen stabla, volumen krošnje, koeficijent vitkosti stabala, odnos duljine krošnje i duljine debla itd., te niz varijabli sastojine; broj stabala, srednji prsni promjer, temeljnica, drvena zaliha, obrast, opterećenost slojem grmlja, brojnost podmlatka itd.

Za ovo istraživanje posebno je važna izmjera atributa stabla temeljem kojih je izračunat volumen krošnje. Za 159 stabala poljskog i pensilvanskog jasena izmjerene su tri visine, visina početka krošnje, visina najšire krošnje (gledano iz središta plohe) i visina vrha odnosno totalna visina stabla. Svakom stablu izmjerena su dva promjera krošnje i to promjera prema stranama svijeta tj. promjer u smjeru sjever – jug i promjer istok – zapad. Uz sve ostale attribute stabla koji su mjereni ili procijenjeni moguće je detaljno istraživati primjenjivost različitih modela izračuna volumena krošnje stabala.

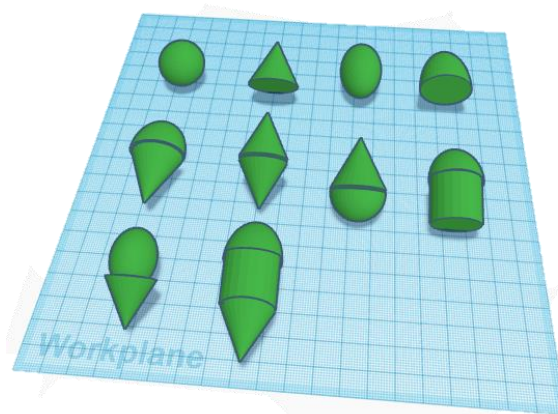
3.3. Obrada podataka

Za svako stablo temeljem izmjerenih podataka izračunat je volumen krošnje stabala prema deset modela temeljem više geometrijskih likova koji više ili manje oponašaju oblik krošnje stabla. Formirana je baza podataka (slika 6) za daljnje statističke obrade i analize.

gospodarska jedin	odje/odsjek	oznaka ploha	vrsta drveća	prсни promjer	katgorije prsnog	kugla	stožac	elipsoid	polukugla	stožac/polukugla	dva stožca	polukugla/stožac	vajlak/polukugla	poluelipsoid stožac	stožac/vajlak/polu	
GJ	od_ODS	pl	VR	d	d_kat	K	S	E	PK	SPK	SS	PKS	VPK	PES	SVPK	
						m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
1	KNŠ	19a	4	jasen	14,6	A	57,01	21,35	23,92	35,07	84,47	21,35	34,07	102,88	34,29	38,75
2	KNŠ	19a	4	jasen	15,5	B	63,51	16,26	18,29	45,98	150,95	16,26	30,48	164,14	25,23	32,04
3	RAD	16c	1	jasen	17,2	B	71,52	21,81	24,03	48,48	68,74	21,81	54,38	93,11	41,12	72,65
4	KNŠ	19a	1	jasen	10	A	13,10	0,58	0,64	13,08	37,10	0,58	6,84	37,67	1,02	1,11
5	KNŠ	19a	2	jasen	35,2	C	555,65	100,79	112,26	444,89	1890,95	100,79	212,53	1966,87	147,73	210,09
6	RAD	16c	2	jasen	14,9	A	38,10	11,09	9,90	26,32	16,50	11,09	43,82	32,34	20,26	17,73
7	KNŠ	19a	3	jasen	37,3	C	555,65	225,09	252,35	326,75	870,63	225,09	323,88	1048,43	342,12	417,08
8	RAD	16c	1	jasen	14,6	A	40,91	11,48	12,81	28,65	14,46	11,48	53,19	31,88	27,46	14,62
9	RAD	16c	2	jasen	16,6	B	53,50	20,62	23,09	32,40	71,60	20,62	33,34	90,01	33,88	72,25
10	RAD	16c	1	jasen	23	B	150,53	38,54	43,35	108,98	87,95	38,54	152,12	139,05	83,96	98,74
11	KNŠ	19a	1	jasen	21,9	B	50,97	8,20	9,14	41,99	101,76	8,20	28,82	109,84	14,33	15,30
12	KNŠ	19a	3	jasen	22,6	B	189,39	38,66	43,30	147,00	731,26	38,66	66,42	757,03	52,92	83,30
13	RAD	16c	1	jasen	11,2	A	12,12	2,47	2,78	9,41	75,80	2,47	3,12	76,86	2,68	54,11

Slika 6. Baza podataka volumena krošnje stabala (isječak)

Kako bi lakše predočili načine izračuna i metode, u nastavku su prikazani 3D oblici geometrijskih oblika pomoću kojih se prirodan oblik krošnja opisuje (slika 7).



Slika 7. 3D Geometrijski oblici koji oponašaju oblike krošnja

Volumen krošnja stabala izračunat je po principu geometrijskih likova koji oponašaju njihove krošnje.

Na slici (slika 7) su vidljivi 3D prikazi tih geometrijskih oblika i razne njihove kombinacije koji su se koristile prilikom određivanja volumena krošanja, a to su:

- kugla, stožac, elipsoid, polukugla, kombinacija polukugle i stošca, kombinacija dvaju stožaca, kombinacija stošca i polukugle, kombinacija polukugle i valjka, kombinacija polu elipse i stošca...

Formule geometrijskih likova koji oponašaju oblike krošanja:

- volumen kugle: $V = \frac{4}{3} * \pi * r^3$
- volumen stošca: $V = \frac{1}{3} * \pi * r^2 * h$
- volumen elipsoida: $V = \frac{4}{3} * \pi * a * b * c$ (a, b, i c označavaju tri različita volumena krošnje)
- volumen polukugle: $V = \frac{2}{3} * \pi * r^3$
- volumen kombinacije polukugle i stošca: $V = (\frac{2}{3} * \pi * r^3) + (\frac{1}{3} * \pi * r^2 * h)$
- volumen kombinacije dvaju stožaca: $V = 2 * (\frac{1}{3} * \pi * r^2 * h)$
- volumen kombinacije stošca i polukugle: $V = (\frac{1}{3} * \pi * r^2 * h) + (\frac{2}{3} * \pi * r^3)$
- volumen kombinacije polukugle i valjka: $V = (\frac{2}{3} * \pi * r^3) + (\pi * r^2 * h)$
- volumen kombinacija polu elipse i stošca: $V = (\frac{2}{3} * \pi * a * b * c) + (\frac{1}{3} * \pi * r^2 * h)$
- volumen kombinacije polukugle, valjka i stošca: $V = (\frac{2}{3} * \pi * r^3) + (\pi * r^2 * h) + (\frac{1}{3} * \pi * r^2 * h)$

Temeljem uspostavljene baze podataka provedena je analiza varijance i pripadajući post hoc testovi kako bi se istražili međusobni odnosi odabranih modela izračuna volumena krošnji. Sve su varijable smisljeno kategorizirane, a koje se odnose na 159 stabala poljskog jasena odnosno na oko 1590 volumena krošnja izračunatih za 10 različitih modela. Izveden je i indeks odstupanja volumena krošnje prema pojedinom modelu od aritmetički srednjeg volumena krošnje gledano za sve modele. Uzorak se odnosi na niz prsnih promjera stabala od 10 do 65 cm, a dodatno je stratificiran prema debljinskim razredima i vrstama drveća (poljski i pensilvanski jasen) kako bi se utvrdio utjecaj spomenutih varijabli na prikladnost pojedinog modela za izračun volumena krošnje.

Za usporedbu tipova oštećenosti prema srednjem promjeru i po vrstama drveća korištena je analiza varijance (ANOVA), s razinom značajnosti 0,05. Statističke analize i grafički prikazi rezultata napravljeni su u programu Statistica 13.1. (TIBCO Software Inc, 2018).

4. REZULTATI

4.1. Prikaz rezultata izračunatih volumena krošanja prema više modela

Izmjera volumen krošnje obuhvatilo je uzorak od 159 stabala. Vrste koje su bile obuhvaćene izmjerom su poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl) i pensilvaski jasen (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall). Vidljiv je porast volumena krošnje s porastom prsnog promjera (tablica 4). Raspon volumena krošnje je ogroman od svega nekoliko kubnih metara (12,4 m³) pa do više stotina metara kubnih (791 m³).

Tablica 3. Volumen krošanja i indeks odstupanja od prosjeka za više modela izračuna

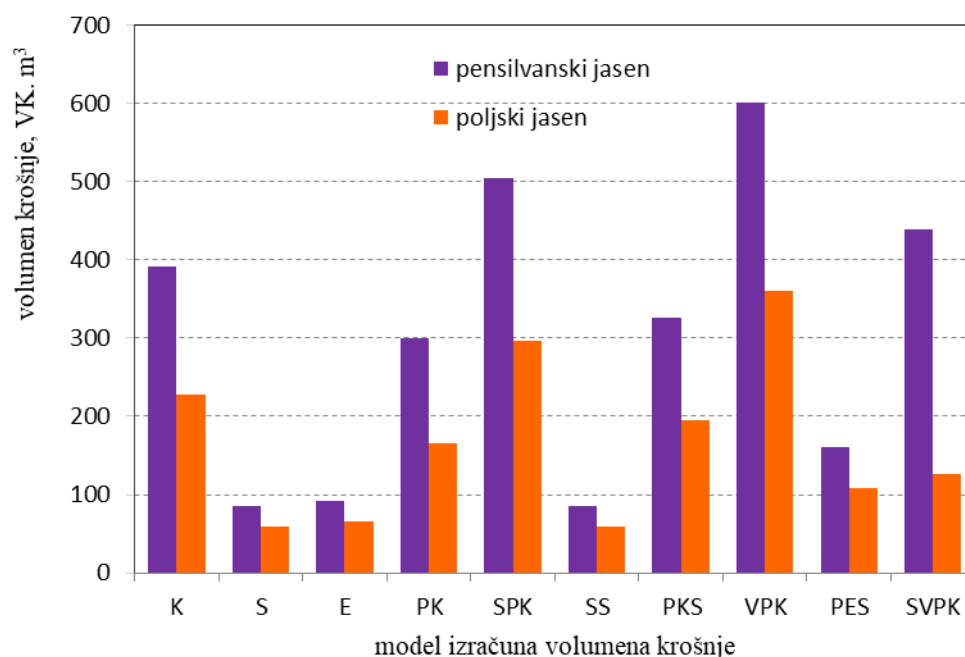
	volumen krošnje stabala, VK (m ³)									
d _{1,30}	K	S	E	PK	SPK	SS	PKS	VPK	PES	SVPK
12,5	47,6	12,4	13,5	34,4	75,5	12,4	33,8	88,8	22,3	26,1
17,5	79,5	22,8	24,9	55,5	97,1	22,8	59,6	121,3	41,3	60,2
22,5	146,0	47,3	52,0	96,8	194,9	47,3	103,5	242,9	83,1	107,0
27,5	238,8	60,0	65,9	176,3	453,1	60,0	187,4	516,9	108,9	273,6
32,5	288,4	55,3	59,2	229,2	488,0	55,3	213,0	546,0	96,9	253,2
37,5	443,9	102,9	113,0	333,4	491,8	102,9	451,6	612,8	200,2	308,8
42,5	429,7	102,0	111,8	321,1	507,0	102,0	355,8	621,3	191,5	335,0
47,5	543,5	142,9	155,4	392,5	588,6	142,9	444,1	744,0	259,9	375,1
52,5	557,3	127,8	140,7	420,4	629,7	127,8	497,3	766,8	234,2	236,9
57,5	863,9	163,3	180,2	686,1	379,2	163,3	1063,4	616,2	373,4	435,6
62,5	1047,4	260,7	260,7	765,6	408,9	260,7	1299,5	791,8	545,1	343,9
average	426,0	99,8	107,0	319,2	392,2	99,8	428,1	515,4	196,1	250,5
d _{1,30}	indeks odstupanja od aritmetičke sredine volumena krošnje									
12,5	0,2889	-0,6729	-0,6476	-0,0535	1,0331	-0,6729	-0,0225	1,3982	-0,4012	-0,2496
17,5	0,3485	-0,6253	-0,5884	-0,0475	0,7004	-0,6253	0,0082	1,1051	-0,3130	0,0372
22,5	0,3328	-0,5724	-0,5301	-0,1120	0,6674	-0,5724	-0,0243	1,1127	-0,2358	-0,0659
27,5	0,3231	-0,6269	-0,5903	-0,0656	0,5903	-0,6269	0,0970	1,0083	-0,2980	0,1891
32,5	0,4235	-0,7225	-0,7019	0,1324	0,7209	-0,7225	0,2100	1,0239	-0,4987	0,1351
37,5	0,4637	-0,6463	-0,6103	0,0854	0,3633	-0,6463	0,5660	0,7940	-0,2912	-0,0782
42,5	0,4674	-0,6220	-0,5908	0,0685	0,4348	-0,6220	0,3385	0,8851	-0,2688	-0,0906
47,5	0,4723	-0,6446	-0,6148	0,0999	0,5476	-0,6446	0,2389	0,9424	-0,3462	-0,0509
52,5	0,5413	-0,6656	-0,6314	0,1819	0,5660	-0,6656	0,4728	0,9412	-0,3667	-0,3738
57,5	0,7166	-0,6167	-0,5749	0,3033	-0,2975	-0,6167	1,1506	0,2697	-0,1059	-0,2285
62,5	0,7503	-0,5644	-0,5644	0,2793	-0,3167	-0,5644	1,1716	0,3231	-0,0891	-0,4254
average	0,4662	-0,6345	-0,6041	0,0793	0,4554	-0,6345	0,3824	0,8912	-0,2922	-0,1092

Prema rezultatima provedenih izračuna vidi se kako u pravilu volumen krošanja više/manje raste porastom prsnog promjera bez obraza na to koji se je model koristio za izmjeru volumena krošnje, tj. bez obzira na to koji se geometrijski oblik ili njegova kombinacija

koristila kao osnova za izračun volumena. Uočljivo je kako rast volumena nije konstantan, npr. kod modela poluelipsa/stožac (PES) volumen krošanja pri određenim vrijednostima debljinskih stupnjeva opada, tj. taj rast nije konstantan. Vezano za model polu elipse i stošca (PES), kod debljinskog stupnja 47,5 cm očitana je volumen krošanja od $259,9 m^3$, dok je za sljedeći rastući debljinski stupanj 52,5 cm očitana volumen od $234,2 m^3$.

Promatrajući prosječne vrijednosti, najveći prosječni volumen krošanja ostvaren je s modelom za volumen polukugla/valjak te on iznosi $515,4 m^3$. Najmanji prosječni volumeni krošanja ostvareni su s modelom stošca (S) i modelom stožac/stožac (SS) te on iznosi $99,8 m^3$ (tablica 3).

U drugom dijelu tablice (indeks odstupanja od aritmetičke sredine volumena krošnje) vidljivo je veće ili manjih odstupanja zavisno od modela izmjere koji se je koristio. Kod volumena izmjenjenog modelom valjak/polukugla (VPK) prosječno odstupanje od aritmetičke sredine je najveće te ono iznosi 0,8912. Najmanje odstupanje je kod volumena izmjenjenog modelom polukruga (PK) i on iznosi 0,0793.

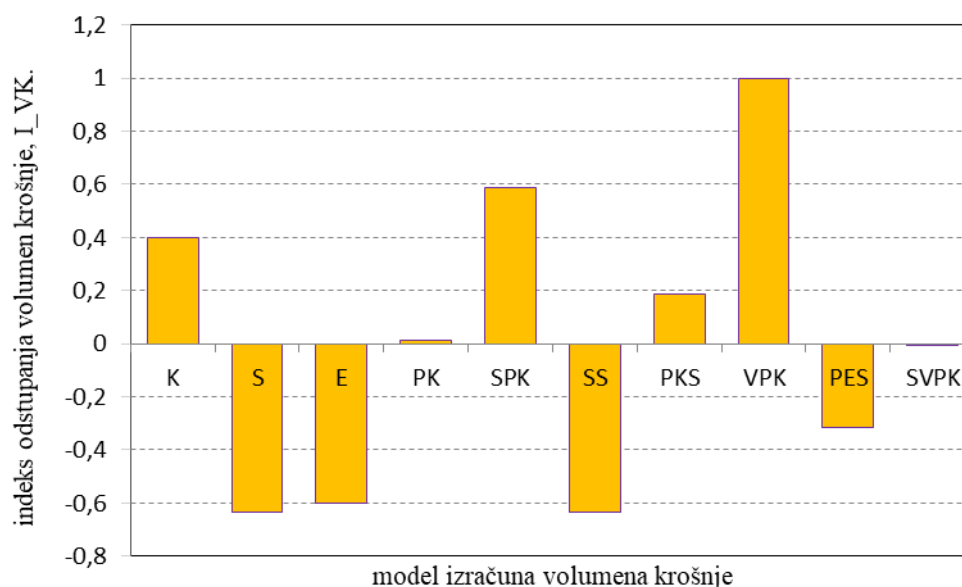


Slika 8. Prosječan volumen krošnje prema modelima izračuna za dvije vrste jasena

Najveći volumen krošanja kod pesilvanskog jasena izmjenjen je kod modela polukugla/valjak (PKV) i on iznosi oko $600 m^3$.

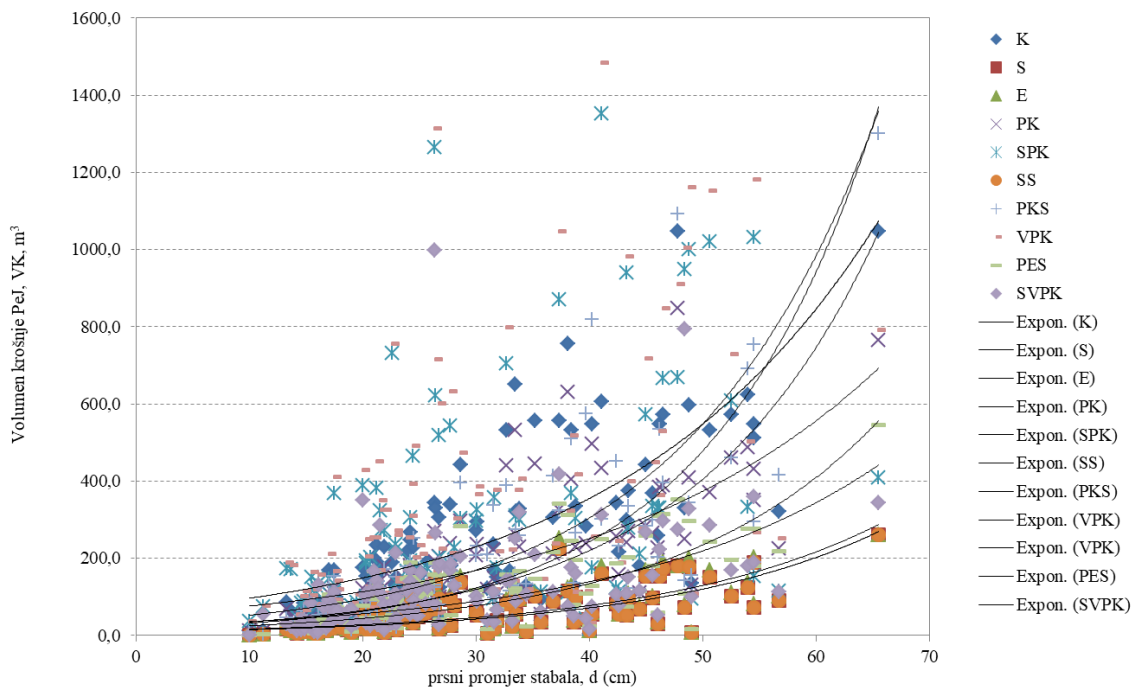
S druge strane, najmanji izmjereni volumen je postignut korištenjem modela za određivanje volumena stošca (S) te kombinacije stožac/stožac (SS) te on iznosi oko 80 m^3 (slika 8). Jasno je kako je odstupanje između najvećeg i najmanjeg izmjerenog volumena kod pensilvanskog jasena vrlo veliko posebno ako uzmemo u obzir da se radi o približno jednako starim stablima. To ukazuje na strukturu sastojina u kojem su se ta stabla razvijala obilježena velikom kompeticijom s vrlo malo provedenih njega.

Najveći volumen za poljski jasen očitao je pomoću modela polukugla/valjak (PKV) te on iznosi oko 370 m^3 . Najmanji izračunat volumen je postignut korištenjem modela stošca (S) te modela stožac/stožac (SS) te on iznosi oko 60 m^3 .



Slika 9. Odstupanje pojedinog modela izračuna volumena krošanja

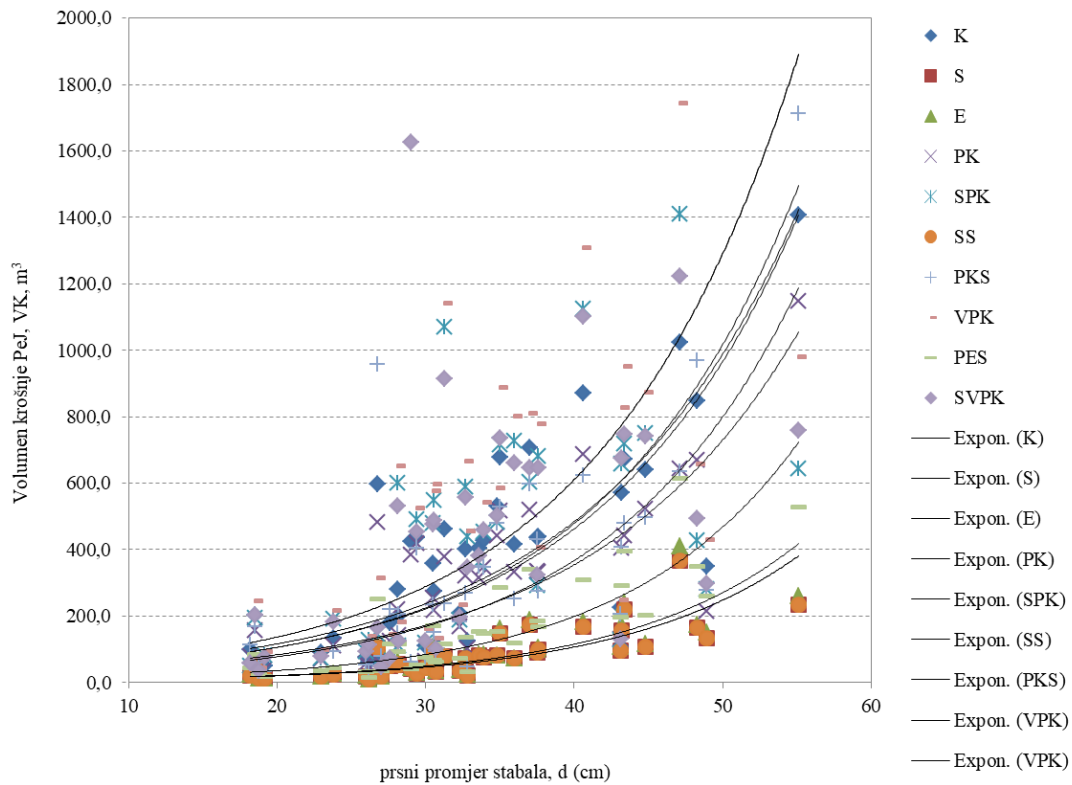
Prema rezultatima indeksa odstupanja volumena krošnje (slika 9) najveće odstupanje od aritmetičke sredine je utvrđeno kod modela polukugla/valjak (PKV) koje iznosi gotovo 1 (slika 12). Nasuprot tome, izračun prema modelu stošca, valjka, polukugle (SVPK) ima najmanje odstupanje od aritmetičke sredine te je jako blizu iznosu 0 (slika 9). Vidljiva je i velika varijabilnost između modela izračuna volumena krošnje (velika negativna i velika pozitivna odstupanja od prosjeka).



Slika 10. Volumen krošnja poljskog jasena u ovisnosti u prsnom promjeru

Najveća je koncentracija prsnih promjera između 10 – 30 cm izmjerenih volumena krošnja poljskog jasena, a porastom promjera ima sve manje stabala u uzorku. Kod svakog modela izmjere volumena krošnja uočen je eksponencijalni rast izračunatih vrijednosti. Najmanji eksponencijalni rast ostvaren je kod volumena krošnja izmjerenih modelom stošca (S), modelom stožac/stožac (SS) te modelom elipsoida (E). Te vrijednosti se zapravo poklapaju (slika 10).

Među najvećim eksponencijalnim rastom ističu se rezultati dobiveni korištenjem modela valjak/polukugla (VPK), stožac/polukugla (SPK) te polukugla/stožac (PKS). Osim toga, uočeno je kako rastom promjera stabala dolazi do sve rasipanijih/raznolikijih rezultata izmjere volumena određenih različitim modelima.



Slika 11. Volumen krošanja pensilvanskog jasena u ovisnosti o prsnom promjeru

Razvoj volumena krošanja izmjerenih na stablima pensilvanskog jasena pokazuje sličan trend kao i kod stabala poljskog jasena. Neovisno o korištenom modelu za određivanje volumena krošanja, dolazi do eksponencijalnog rasta volumena krošanja s rastom prsnih promjera stabala. U rasponu od 20 – 40 cm prsnog promjera stabala najveća je koncentracija izmjerenih volumena. Najmanji eksponencijalni rast ostvaren je kod volumena krošanja izmjerenih modelom stošca (S), modelom stožac/stožac (SS) te modelom elipsoida (E). Te vrijednosti se zapravo poklapaju. Među najvećim eksponencijalnim rastom ističu se rezultati dobiveni korištenjem modela valjak/polukugla (VPK), polukugla/stožac (PKS) te stožac/valjak/polukugla (SVPK).

4.2. Deskriptivna statistika volumena krošanja stabala jasena

Tablica 4. Opisna statistika izračuna volumena krošnje stabala (sve vrste) prema različitim modelima izračuna

sve vrste - Descriptive Statistics (baza_krošnje_jasen)								
Variable	Valid N	Mean	Confid. -95,00%	Confid +95,00%.	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Standard Error
K	161	268,8	231,3	306,3	12,1	1406,2	241,2	19,0
S	161	65,7	56,7	74,8	0,6	366,2	58,1	4,6
E	161	71,7	61,8	81,6	0,6	410,9	63,6	5,0
PK	161	199,1	169,8	228,4	9,4	1147,8	188,5	14,9
SPK	161	348,1	268,3	427,9	14,5	3924,9	512,7	40,4
SS	161	65,7	56,7	74,8	0,6	366,2	58,1	4,6
PKS	161	227,5	184,7	270,3	3,1	1748,1	275,1	21,7
VPK	161	420,7	337,6	503,8	31,9	3979,9	534,0	42,1
PES	161	121,4	104,4	138,5	1,0	613,2	109,3	8,6
SVPK	161	204,5	165,2	243,9	1,1	1625,7	252,7	19,9

U tablici su prikazani korišteni modeli određivanja volumena krošanja poljskog i pensilvanskog jasena, ukupan broj stabala, statistička pouzdanost od 95%, minimum i maksimum, standardna devijacija i standardna pogreška.

Tablica 5. Opisna statistika izračuna volumena krošnje stabala poljskog jasena prema različitim modelima izračuna

VR = poljski jasen - Descriptive Statistics (baza_krošnje_jasen)								
Variable	Valid N	Mean	Confid. -95,00%	Confid +95,00%.	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Standard Error
K	121	228,2	191,5	264,9	12,1	1047,4	203,8	18,5
S	121	59,3	50,2	68,4	0,6	260,7	50,5	4,6
E	121	64,8	55,0	74,6	0,6	260,7	54,6	5,0
PK	121	165,7	137,2	194,2	9,4	848,7	158,4	14,4
SPK	121	296,4	214,8	378,1	14,5	3924,9	453,6	41,2
SS	121	59,3	50,2	68,4	0,6	260,7	50,5	4,6
PKS	121	194,8	149,9	239,8	3,1	1748,1	249,5	22,7
VPK	121	360,7	275,7	445,7	31,9	3979,9	472,3	42,9
PES	121	108,3	91,4	125,2	1,0	545,1	93,8	8,5
SVPK	121	126,8	102,4	151,1	1,1	997,7	135,1	12,3

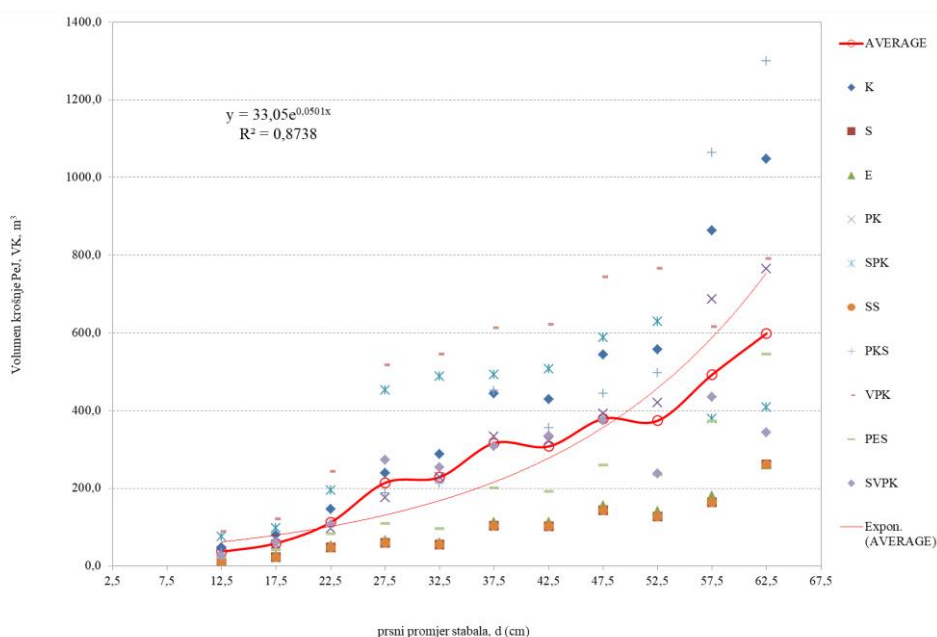
Izračunati volumeni krošanja prema različitim modelima izračuna pokazuju veliku varijabilnost uzrokovanu i modelima izračuna, ali i rasponom dimenzija stabala uzrokovanu različitom dobi i sastojinskim i stanišnim karakteristikama u kojima su se stabla razvijala. Najveći volumen krošnje od oko gotovo 4000 m³ izgleda nevjerojatno, a posljedica je velike

dužine krošnje kod najstarijih stabala. Takva stabla su iznimka i posljedica su razvoja u soliternim uvjetima. S druge strane značajan broj stabala ima krošnju od oko 1 m³ što su minimalne vrijednosti prema više metoda.

Tablica 6. Opisna statistika izračuna volumena krošnje stabala pensilvanskog jasena prem različitim modelima izračuna

VR = pensilvanski jasen - Descriptive Statistics (baza_krošnje_jasen)								
Variable	Valid N	Mean	Confid. -95,00%	Confid +95,00%.	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Standard Error
K	40	391,5	295,4	487,5	51,0	1406,2	300,3	47,5
S	40	85,3	61,6	108,9	9,9	366,2	74,0	11,7
E	40	92,5	66,1	118,9	9,9	410,9	82,4	13,0
PK	40	300,1	225,3	374,9	39,0	1147,8	233,9	37,0
SPK	40	504,6	299,3	709,9	30,0	3906,0	641,9	101,5
SS	40	85,3	61,6	108,9	9,9	366,2	74,0	11,7
PKS	40	326,2	222,3	430,1	31,7	1711,7	324,9	51,4
VPK	40	602,3	390,5	814,1	45,4	3923,1	662,2	104,7
PES	40	161,1	116,1	206,1	15,3	613,2	140,7	22,2
SVPK	40	439,7	324,3	555,2	34,3	1625,7	361,0	57,1

Prosječan razvoj volumena krošnje ovisno o prsnom promjeru razvija se od 30 m³ za debljinski stupanj 12,5 do oko 780 m³ za debljinski stupanj 62,5 što odgovara stvarnim uvjetima.



Slika 12. Aritmetičke sredine volumen krošnja po debljinskim stupnjevima s trendom sredina

Otvora to pitanje izračuna volumena krošnje prema više modela te dalje korištenje prosječnih za više modela izračuna. Dalje korištenje u modelima razvoja i otpornosti stabla gdje je varijabla volumena krošnje izrazito bitna.

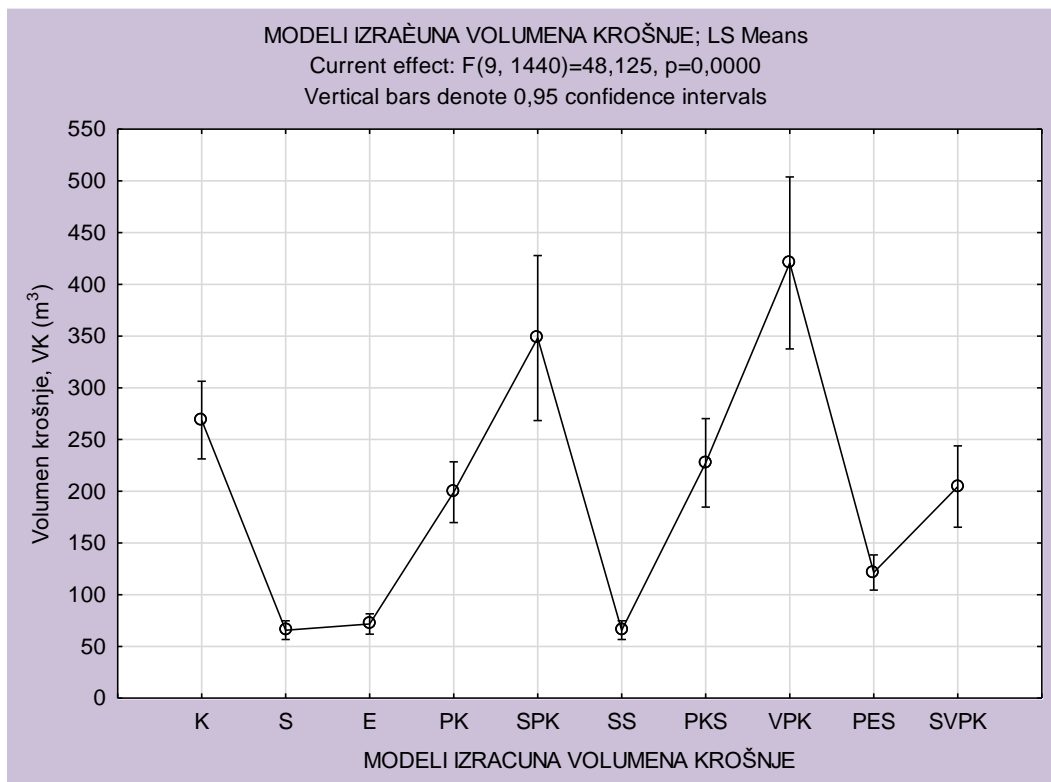
4.3. Analiza varijance volumena krošnje

Tablica 7. Rezultati ANOVE usporedbe različitih modela izračuna volumena krošnje svih stabala

Repeated Measures Analysis of Variance (baza_volumen krošnje_jasen) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. Of freedom	MS	F	p
Intercept	63972771	1	63972771	181,2697	0,0000
Error	56466373	160	352915		
FORMULA	21709515	9	2412168	48,1246	0,0000
Error	72177732	1440	50123		

ANOVA usporedba predstavlja statistički test odnosno metodu pomoću koje se istražuju razlike dobivenih rezultata za dvije ili više nepovezanih grupa podataka. U ovome slučaju, u tablici su prikazane razlike između rezultata dobivenih računanjem volumena krošanja jasena različitim modelima određivanja volumena. Rezultati ANOVE ukazuju na postojanje statistički značajne razlike između modela izračuna volumena krošnje jasena (tablica 7).

Statistički značajno odstupaju u pozitivnom smislu modeli koji u izračunu koriste kuglu ili polukuglu. Suprotno, modeli stošca (S) vjerojatno značajno podcjenjuju stvaran volumen krošnje kad je riječ o poljskom jasenu.



Slika 13. Odnos prosječnog volumena krošnje izračunatog prema različitim modelima izračuna (sve vrste drveća)

Rezultate izračuna modelima prema kojima se je određivao volumen krošnja može se povezati tj. usporediti na temelju toga je li se njihovi rasponi podataka mogu preklapati. S obzirom na prethodno navedenu tvrdnju, utvrđeno je kako se rezultati izračuna tj. rasponi podataka djelomično poklapaju između modela za stožac (S) i elipsoid (E). Do djelomičnog poklapanja raspona podataka došlo je i između rezultata dobivenih modelima polukugla/stožac (PKS) te polukugla/valjak (PKV). Isto tako do poklapanja dijela raspona podataka došlo je između rezultata dobivenih korištenjem modela polukugla/stožac (PKS) te polukugla/valjak/stožac (PKVS). Do poklapanja dolazi i između volumena određenih pomoću modela kugle (K), stožac/polukugla (SPK), polukugla/stožac (PKS) te stožac/valjak/polukugla (SVPK).

Tablica 8. Rezultati post hoc-testa za različite modele izračuna volumena krošnje (sve vrste i svi prsni promjeri)

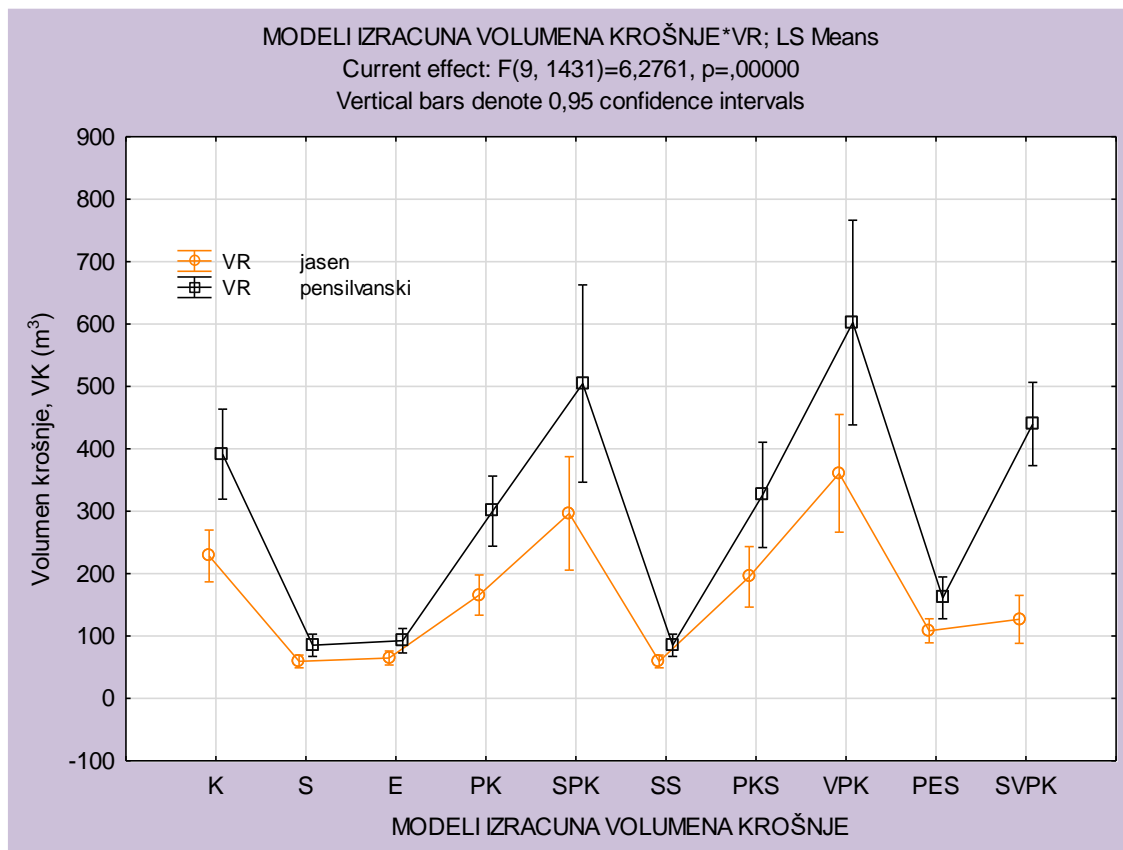
Bonferroni test; variable VK (volumen krošnje, sve vrste (baza_krošnje_jasen))										
Probabilities for Post Hoc Tests										
Error: Within MS = 50123,, df = 1440,0										
Model izračuna VK	K	S	E	PK	SPK	SS	PKS	VPK	PES	SVPK
K		0,0000	0,0000	0,2384	0,0677	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,4548
S	0,0000		1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
E	0,0000	1,0000		0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
PK	0,2384	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0852	1,0000
SPK	0,0677	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0001	0,1660	0,0000	0,0000
SS	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
PKS	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0001	0,0000		0,0000	0,0010	1,0000
VPK	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1660	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000
PES	0,0000	1,0000	1,0000	0,0852	0,0000	1,0000	0,0010	0,0000		0,0402
SVPK	0,4548	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0402	

Post-hoc test odnosi se na statističku analizu specificiranu nakon provedene ANOVE. Post-hoc test provodi se kako bi se točno utvrdilo koje se skupine međusobno razlikuju. Crveni brojevi označavaju statistički neznačajnu razliku, a ostali brojevi označavaju statistički značajnu razliku. Postoji statistički značajna razlika između većine modela određivanja volumena krošnje.

Tablica 9. Rezultati ANOVE usporedbe različitih modela izračuna volumena krošnje između dvije vrste jasena

Repeated Measures Analysis of Variance (baza_volumen krošnje_jasen)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. Of freedom	MS	F	p	
Intercept	65082678	1	65082678	202,1302	0,0000	
VR	5270927	1	5270927	16,3702	0,0001	
Error	51195446	159	321984			
FORMULA	22141095	9	2460122	50,6998	0,0000	
FORMULA*VR	2740828	9	304536	6,2761	0,0000	
Error	69436904	1431	48523			

Ako u testiranje uvedemo skupinu vrsta drveća vidljiva je statistički značajna razlika i između vrsta drveća i modela izračuna volumena krošnje kao međusobne interakcije (tablica 9).



Slika 14. Odnos prosječnog volumena krošnje izračunatog prema različitim modelima izračuna (odvojeno po vrstama drveća)

U grafu (slika 14.) iznad vidljiv je odnos izmjerenih prosječnih volumena krošnja prema različitim modelima određivanja tog volumena ovisno o vrsti drveća. Za svaki model prikazan je raspon izmjerenih podataka te je vidljivo poklapanje raspona podataka različitih modela određivanja volumena kako za poljski tako i za pensilvanski jasen. Rezultati ukazuju na sličan trend za obje vrste po metodama izračuna volumena krošnje s tim da pensilvanski za svaki model ima nešto više prosječne vrijednosti (slika 14), a što je posljedica obilježja samog uzorka gdje su stabla pensilvanskog jasena starija i time krupnija.

Tablica 10. Rezultati post-hoc testa za različite modele izračuna volumena krošnje i vrste jasena

Bonferroni test; variable Volumen krošnje po vrstama (baza_krošnje_jasen) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between; Within; Pooled MS = 75869., df = 732,98

VR		jasen	jasen	jasen	jasen	jasen	jasen	jasen	jasen	jasen	jasen	pens.	pens.	pens.	pens.	pens.	pens.	pens.	pens.	pens.	
MODEL		K	S	E	PK	SPK	SS	PKS	VPK	PES	SVPK	K	S	E	PK	SPK	SS	PKS	VPK	PES	SVPK
jasen	K		0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0006	0,0046	0,0667	0,2301	0,8650	1,0000	1,0000	0,0000	0,8650	1,0000	0,0000	1,0000	0,0055
jasen	S	0,0000		1,0000	0,0339	0,0000	1,0000	0,0004	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0004	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
jasen	E	0,0000	1,0000		0,0721	0,0000	1,0000	0,0009	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0006	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
jasen	PK	1,0000	0,0339	0,0721		0,0008	0,0339	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0015	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,2780	0,0000	1,0000	0,0000
jasen	SPK	1,0000	0,0000	0,0000	0,0008		0,0000	0,0658	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0056	0,0104	1,0000	0,0073	0,0056	1,0000	0,0000	1,0000	0,8475
jasen	SS	0,0000	1,0000	1,0000	0,0339	0,0000		0,0004	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0004	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
jasen	PKS	1,0000	0,0004	0,0009	1,0000	0,0658	0,0004		0,0000	0,4356	1,0000	0,0189	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0003
jasen	VPK	0,0006	0,0000	0,0000	0,0009	1,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,8163	0,0000	1,0000	0,0003	0,0149	1,0000
jasen	PES	0,0046	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,4356	0,0000		1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0277	0,0000	1,0000	0,0031	0,0000	1,0000	0,0000
jasen	SVPK	0,0667	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000		0,0000	1,0000	1,0000	0,1122	0,0000	1,0000	0,0151	0,0000	1,0000	0,0000
pens.	K	0,2301	0,0000	0,0000	0,0015	1,0000	0,0000	0,0189	1,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0038	0,0006	1,0000
pens.	S	0,8650	1,0000	1,0000	1,0000	0,0056	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000		1,0000	0,0026	0,0000	1,0000	0,0002	0,0000	1,0000	0,0000
pens.	E	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0104	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000		0,0050	0,0000	1,0000	0,0004	0,0000	1,0000	0,0000
pens.	PK	1,0000	0,0004	0,0006	1,0000	1,0000	0,0004	1,0000	1,0000	0,0277	0,1122	1,0000	0,0026	0,0050		0,0067	0,0026	1,0000	0,0000	0,9185	0,8862
pens.	SPK	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0073	0,0000	0,0000	0,8163	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0067		0,0000	0,0574	1,0000	0,0000	1,0000
pens.	SS	0,8650	1,0000	1,0000	1,0000	0,0056	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0026	0,0000		0,0002	0,0000	1,0000	0,0000
pens.	PKS	1,0000	0,0000	0,0000	0,2780	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0031	0,0151	1,0000	0,0002	0,0004	1,0000	0,0574	0,0002		0,0000	0,1571	1,0000
pens.	VPK	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,1877
pens.	PES	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0149	1,0000	1,0000	0,0006	1,0000	1,0000	0,9185	0,0000	1,0000	0,1571	0,0000		0,0000
pens.	SVPK	0,0055	0,0000	0,0000	0,0000	0,8475	0,0000	0,0003	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,8862	1,0000	0,0000	1,0000	0,1877	0,0000	

Rezultati post-hoc testa između vrsta drveća i modela ukazuju na postojanje razlika, ali i sličnosti između pojedinih modela. Obzirom na broj promatranih modela (10) komplicirano je za interpretaciju (tablica 10). Statistički značajnih razlika nema za slične geometrijske likove, npr. stožac i stožac ili sve modeli koji u izračunu sadrže polukuglu.

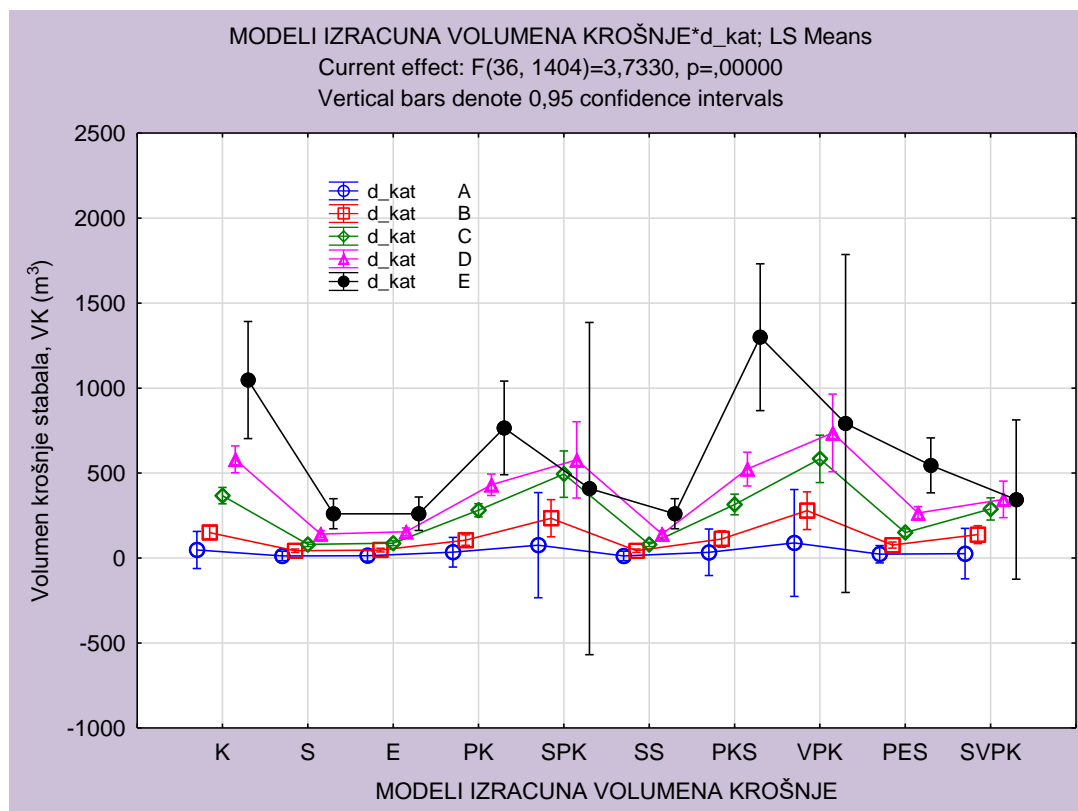
Dodatno je još istražen i utjecaj kategorije prsnog promjera koji se također pokazao statistički značajan (tablica 11). Jasno da što je veći prsni promjer veći je volumen krošnje po svim modelima. No povećanje nije jednoliko i jednoznačajno (slika 15).

Tablica 11. Rezultati ANOVE usporedbe različitih modela izračuna volumena krošnje između dvije vrste jasena i kategorijama prsnog promjera

Repeated Measures Analysis of Variance (baza_volumen krošnje_jasen)
Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

Effect	SS	Degr. Of freedom	MS	F	p
Intercept	17021565	1	17021565	70,0390	0,0000
d_kat	18553701	4	4638425	19,0858	0,0000
Error	37912672	156	243030		
FORMULA	4340791	9	482310	10,2799	0,0000
FORMULA*d_kat	6305201	36	175144	3,7330	0,0000
Error	65872531	1404	46918		

Ukazuje to na činjenicu da oblik krošnje nije identičan kod manjih i mlađih stabala kao što je to kod starijih i krupnijih stabala. Prema tome za pojedinu dob prikladniji su neki modeli izračuna, a što bi trebalo dodatno istražiti.



Slika 15. Odnos prosječnog volumena krošnje izračunatog prema različitim modelima izračuna (odvojeno po kategorijama prsnog promjera)

Post-hoc test zbog prevelikog broja varijabli nije prikazan iako za većinu modela izračuna nema statistički značajne razlike temeljem kategorije prsnog promjera.

4.4. Važnost volumena krošnje za neposredno gospodarenja šumama

Stanje stabala, krošnja stabala i njihovih volumena neposredni su rezultat gospodarenja šumama te djelovanja biotskih i abiotskih čimbenika. Krošnje i njihovi volumeni ukazuju koliko je upravljanje šumama uspješno. Odnosno, upućuje na to koje segmente gospodarenja šumama treba popraviti kako bi se dobila zdrava stabla velikih, zdravih krošnja.

Gospodarenje šumama označava postupke neposredne provedbe određenih planiranih aktivnosti gospodarenja. Ono objedinjuje djelatnosti kao što su zaštita šuma, uzgajanje šuma, iskorištavanje šuma, izgradnju šumskih prometnica i ostale infrastrukture (Čavlović 2013).

Stoga, ako govorimo o provođenju uzgajanja šuma tada možemo govoriti o raznim aktivnostima njega šuma što uključuje radove na čišćenju i provođenju prorjeda. Prorjedama

sastojina smanjujemo broj stabala po jedinici površine, postupno mijenjamo strukturne značajke sastojine zbog drugačijeg odnosa stabala. Najvažnije su rane prorjede kojima rano smanjujemo nepotrebno veliku kompeticiju među stablima. Preostala stabla na pomladnoj površini mogu ostvariti puni potencijal svoje krošnje jer sada nema susjednih stabala koji im oduzimaju prostor za život. Prorjeđivanjem dolazi do više svjetla na stabla i na tlo pa i zbog toga stabla uspijevaju ostvariti značajne dimenzije svojih dijelova.

Volumen krošanja govori o zdravstvenom stanju stabala i cijele sastojine. U sklopu toga, ako stabla bivaju oštećena i ako nisu otporna na nepovoljan utjecaj biotskih i abiotskih čimbenika tada dolazi do osipanja njihovih krošanja. Krošnje gube lisnu masu te ako stabla ne uspiju popraviti svoje zdravstveno stanje može doći do sušenja i umiranja cijele biljke u krajnjem slučaju. To isto tako može biti znak kako je potrebno provesti određene gospodarske mjere kako bi se poboljšalo stanje sastojine.

Ako stabla razvijaju krošnje optimalnih volumena, ispunjena zdravim i proizvodnim listom tada će ona biti otporna na djelovanja štetnih kukaca i gljiva. Isto tako takva stabla ostvaruju optimalan razvoj, imaju ujednačene godove i kvalitetnije drvo. Samo iznimno velike krošnje mogu ugroziti stablo za vrijeme velikih oluja posebno praćenih ledenom kišom pa nastaju veliki ledolomi.

5. RASPRAVA

Cilj ovog rada je odabir i analiza primjene različitih modela određivanja volumena krošnje stabala u praksi. Postoji pretpostavka da veličina krošnje utječe na otpornost stabla na biljne bolesti i štetnike. Jednako tako, smatra se kako je veličina krošnje povezana i s ugroženošću stabla od ekstremnih vremenskih događaja. Posebno je to važno u kontekstu ubrzanih klimatskih promjena uslijed kojih su vremenski ekstremi sve češći i sve intenzivniji.

Terestička izmjera krošnje nije jednostavna zbog velike varijabilnosti i nedostupnosti, stoga su i razvijene brojne metode i alati za izmjeru krošanja metodama daljinskih istraživanja. Ovisno o izmjerenim varijablama oblika krošnje te potrebnoj preciznosti sam volumen krošnje izračunavamo prikladnim modelom odnosno svođenjem oblika krošnje na neki jednostavniji geometrijski lik. Pri određivanju volumena krošanja stabla susreću se određene poteškoće. Za krošnju je tipično to što može imati vrlo raznolik raspored grana i izbojaka, s time da i postoje razne praznine u krošnji. Upravo je zbog tih razloga teško definirati volumen jer je to na neki način subjektivna procjena koja često zna biti nedostatna. Teoretski, volumen krošnje može biti definiran kao prividni geometrijski volumen koji uključuje sve grane i lišće, čak i rupe među njima.

Volumen krošnje jedan je od bitnijih elemenata stabla zato jer je on direktno povezan sa proizvodnjom biomase, kruženje ugljika u prirodi te samim time i zaštitom prirode. Preko volumena mi možemo procijeniti njegovu korelaciju sa snagom otpornosti stabala na vanjske štetne utjecaje koji ih okružuju.

Za ovo istraživanje posebno je važna izmjera atributa stabla temeljem kojih je izračunat volumen krošnje. Za 159 stabala poljskog i pensilvanskog jasena izmjerene su tri visine, visina početka krošnje, visina najšire krošnje (gledano iz središta plohe) i visina vrha odnosno totalna visina stabla. Svakom stablu izmjerena su dva promjera krošnje i to promjera prema stranama svijeta. Uz sve ostale atribute stabla koji su mjereni ili procijenjeni moguće je detaljno istraživati primjenjivost različitih modela izračuna volumena krošnje stabala. Za svako stablo temeljem izmjerenih podataka izračunat je volumen krošnje stabala prema deset modela temeljem više geometrijskih likova koji više ili manje oponašaju oblik krošnje stabla.

5.1. Rasprava dobivenih rezultata

Kako bi lakše predočili oblike krošanja stabala, u ovome radu koristili smo se pomoću geometrijskih oblika koji opisuju njihove oblike. Radilo se o kugli, stožcu, elipsoidu, polukugli i njihovim raznim kombinacijama.

Izmjera volumen krošnje obuhvatilo je uzorak od 159 stabala. Područje istraživanja je bio unutar uređajnog razreda poljskog jasena Srednje Posavine. Vrste koje su bile obuhvaćene izmjerom su poljski i pensilvasnki jasen. Kako su se u određivanju volumena koristili 10 različitih kombinacija geometrijskih oblika, tako je na kraju dobiveno oko 1590 volumena krošanja stabala. Za svako stablo određen je volumen krošnje po debljinskim stupnjevima od 12,5 cm pa sve do 62,5 cm, te je za svaki model geometrijskog oblika dobivena aritmetička sredina određenih volumena.

Promatrajući prosječne vrijednosti, najveći prosječni volumen krošanja ostvaren je s modelom za volumen polukugla/valjak (VPK) te on iznosi $515,4m^3$. Najmanji prosječni volumeni krošanja ostvareni su s modelom stošca (S) i modelom stožac/stožac (SS) te on iznosi $99,8m^3$. Ako promatramo tablicu "Indeks odstupanja od aritmetičke sredine volumena krošnje" (za obje vrste jasena) vidjet ćemo kako dolazi do većih ili manjih odstupanja zavisno od modela izmjere koji se je koristio. Kod volumena izmjenog modelom polukugla/valjak (VPK) prosječno odstupanje od aritmetičke sredine je najveće tj. najbliži je vrijednosti 0,8912. Najmanje odstupanje je kod volumena izmjenog modelom za polukrug (PK) i on iznosi 0,0793.

Na grafu „Volumen krošanja poljskog jasena u ovisnosti u prsnom promjeru“ najmanji eksponencijalni rast ostvaren je kod volumena krošanja izmjerenih modelom stošca (S) te modelom stožac/stožac (SS). Te vrijednosti se zapravo poklapaju.

Među najvećim eksponencijalnim rastom ističu se rezultati dobiveni korištenjem modela polukugla/stožac (PKS). Slična slika grafa je i kod vrste pensilvanskog jasena.

Kako su se u ovome radu obrađivale grupe metoda koje među sobom nemaju nekakve sličnosti, bilo je potrebno primijeniti ANOVA usporedbu. ANOVA usporedba predstavlja statistički test odnosno metodu pomoću koje se istražuju razlike dobivenih rezultata za dvije ili više nepovezanih grupa podataka.

Rezultate izračuna modelima prema kojima se je određivao volumen krošanja može se povezati tj. usporediti na temelju toga je li se njihovi rasponi podataka mogu preklapati.

S obzirom na prethodno navedenu tvrdnju, utvrđeno je kako se rezultati izračuna tj. rasponi podataka djelomično poklapaju između modela za stožac (S) i elipsoid (E).

Do djelomičnog poklapanja raspona podataka došlo je i između rezultata dobivenih modelima polukugla/stožac (SPK) te modela polukugla/valjak (VPK).

Isto tako do poklapanja dijela raspona podataka došlo je između rezultata dobivenih koristeći modela polukugla/stožac (PKS) te polukugla/valjak/stožac (SVPK).

Do poklapanja dolazi i između volumena određenih pomoću modela kugle (K), stožac/polukugla (SPK), polukugla/stožac (PKS) te polukugla/valjak/stožac (SVPK).

Stoga se zaključuje da postoje određene sličnosti između volumena krošnja dobivenih različitim modelima izračuna, te se oni na temelju određenih testova mogu uspoređivati što nam omogućava odabir optimalnog modela izračuna i s tim povezano odabir metoda izmjere odnosno broj i tip mjerljivih varijabli stabala na terenu.

6. ZAKLJUČAK

Ono što se da zaključiti je kako s rastom prsnog promjera stabla raste i volumen krošanja stabala bez obzira na to koji se model za određivanje volumena koristi. No, zato dolazi do razlika između rezultata modela izračuna. Gledajući rezultate ovoga rada spoznaje se kako različiti modeli određivanja krošanja daju različite volumene za iste krošnje.

Među pojedinim modelima, ta je razlika značajna.

Koju metodu ćemo koristiti za određivanje volumena krošanja tijekom razvoja sastojine u kojima ona prelazi razne razvojne stadije ovisi o osobnoj procjeni te izgledu i stanju krošanja. Izmjerna volumena krošanja iznimno je zahtjevna zbog vrlo raznolikih i nepravilnih oblika. Upravo zbog velike raznolikosti oblika osmišljene su brojne metode pomoću kojih se volumen krošanja može odrediti. Ovim radom ukazano je kako se rezultati značajno mogu razlikovati. Oblici krošanja stabala s vremenom se mijenjaju pa se i načini izmjere njihova volumena može mijenjati.

Kao glavne spoznaje koje proizlaze iz ovoga rada mogu se navesti:

- stabla razvijaju veoma varijabilne krošnje iz čega proizlaze i brojne metode određivanja volumena krošanja
- volumen krošanja značajni je pokazatelj zdravstvenog stanja stabla stoga je njegovo pravilno određivanje iznimno bitno
- volumen krošnje jedan je od bitnijih elemenata stabla zato jer je on direktno povezan sa proizvodnjom biomase, kruženje ugljika u prirodi te samim time i zaštitom prirode.
- preko volumena krošnje mi možemo procijeniti njegovu korelaciju sa snagom otpornosti stabala na vanjske štetne utjecaje koji ih okružuju.
- ovisno o izmjerenim varijablama oblika krošnje te potrebnoj preciznosti sam volumen krošnje izračunavamo prikladnim modelom odnosno svođenjem oblika krošnje na neki jednostavniji geometrijski lik
- mjerenje volumena krošanja pomoću geometrijskih oblika koji pobliže opisuju njihov oblik daje različite rezultate za iste krošnje stabala
- izbor metode odabire se na temelju procjene izgleda i stanja krošanja što ovisi o vrsti drveća, tipu sastojinske strukture i dobi stabala.

LITERATURA

1. Anić, I., Oršanić M., 2004: Uzgajanje šuma I. Skripta za internu uporabu, Zavod za uzgajanje šuma, Šumarski fakultet, Zagreb.
2. Anić, I., Oršanić M., Mikac S., Drvodelić D., 2004: Uzgajanje šuma I : vježbe i terenska nastava. Skripta za internu uporabu, Zavod za uzgajanje šuma, Šumarski fakultet, Zagreb
3. Assmann E., 1961: Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen.
4. Benko M., 1993: Procjena taksacijskih elemenata sastojina na infracrvenim kolornim aerosnimcima (Glasnik za šumske pokuse: Annales pro experimentis foresticis, 1993, 29, 199 – 274).
5. Čavlović, J., 2013: Osnove uređivanja šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
6. Di Salvatore U., Marchi M., Cantiani P., 6 September 2021: Single-tree crown shape and crown volume models for *Pinus nigra* J. F. Arnold in central Italy.
7. Goodman, C., R., Phillips, L., O., Baker, R., T., 2014: The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates.
8. Lakatos F., Mirtchev S., 2014: Vizuelna procena stanja šumskih krošnji.
9. Zhu , Z., Kleinn ,C. and Nölke N., 2020: Assessing tree crown volume—a review.
10. Li, Q., Liu Z., Jin, G., 2022: Impacts of stand density on tree crown structure and biomass: A global meta-analysis.
11. Loubota Panzou ,G. J., Feldpausch ,T. R., 2020: Measuring crown dimensions for tropical forest trees (a field manual).
12. Pranjić A., Lukić N., 1997: Izmjera šuma (Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet).
13. Seletković A., 2022: Daljinska istraživanja i GIS u šumarstvu, predavanje: LIDAR. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.
14. Ugraković D., Tikvić I., 2023: VJEŽBE IZ EKOLOGIJE ŠUMA, Vježba 6: Općekorisne funkcije šuma.
15. Ugraković D., Tikvić I., 2023: VJEŽBE IZ EKOLOGIJE ŠUMA, Vježba 7: Procjena osutosti krošanja stabala.

16. Ugarković D., Seletković I., Tikvić I., Ognjenović M., Popić K., Orešković M., Potočić N., 2021: Povezanost mortaliteta obične jele (*abies alba mill.*) Na području Fužina s klimatskim i strukturnim parametrima, *Šumarski list*, 7–8 (2021): 311–321.
17. Vuković D., 2014: Pomološke značajke genotipova oblačinske višnje (*Prunus cerasus L. var. Oblačinska*) u istočnoj Slavoniji, diplomski rad.
18. X., Weiwei Z., Yunming C., 2022: Climate mediates the effects of forest gaps tree crown allometry.