

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Prispjelo - *Received*: 24. 09. 2009.
Prihvaćeno - *Accepted*: 30. 11. 2009.

Mario Božić*, **Juro Čavlović***, **Krunoslav Teslak***,
Tihomir Vratarić**

MODELIRANJE DIMENZIJA KROŠANJA STABALA OBIČNE JELE

MODELLING CROWN DIMENSIONS OF SILVER FIR TREES

SAŽETAK

Temeljni cilj istraživanja bio je načiniti modele koji objašnjavaju neke od atributa krošanja stabala obične jele (promjer, ukupnu duljinu, duljinu osunčanog dijela) u dinarskim bukovo-jelovim šumama Hrvatske kao funkciju pojedinih stanišnih (ekoloških) i sastojinskih (strukturnih) čimbenika. Od stanišnih čimbenika pri modeliranju je korištena nadmorska visina, nagib te orijentacija terena, a od sastojinskih čimbenika korišteni su prsni promjer i visina stabala te temeljnica i volumen po hektaru površine. Bonitet sastojine u radu se koristi kao kategorijska varijabla. Osim modeliranja atributa krošanja stabala obične jele, modeliranje je u dijelu provedeno i za običnu bukvu (načinjeni preliminarni modeli radi usporedbe s jelom). Uzorkom je obuhvaćeno 1117 stabala obične jele i 787 stabala obične bukve kojima je izmjeren prsni promjer, promjer krošnje, visina, visina dijela gdje je krošnja najšira kao i visina baze krošnje. Istraživanje je provedeno u dinarskom dijelu areala obične jele u Republici Hrvatskoj (Uprave šuma podružnica Delnice, Gospić, Ogulin i Senj).

Rezultati istraživanja ukazuju na prsni promjer stabala kao najznačajniju varijablu pri modeliranju promjera krošanja obične jele. Modelom, u kojem se kao nezavisna varijabla koristi samo prsni promjer, može se objasniti oko 52 posto varijabilnosti širine krošnje kod obične jele. Modelima u kojima se koriste stanišne varijable u kombinaciji s prsnim promjerom može se objasniti varijabilnost promjera krošanja za dodatnih 4 posto. Stabla jele uz isti prsni promjer imaju na boljim bonitetima veći promjer krošnje. Uz isti prsni promjer stabla bukve imaju značajno veću širinu krošnje od stabala jele. Visina stabala, visine najšireg dijela krošnje i visine baze krošnje stabala bukve su u prosjeku veće kod tankih, a niže kod srednje debelih i debelih stabala u odnosu na jelu.

Ključne riječi: promjer krošnje, duljina krošnje, osunčani dio krošnje, obična jela, modeliranje

* Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb

** Tihomir Vratarić, Turanjski lug 1, 47000 Karlovac

UVOD

INTRODUCTION

Prema Poštenjaku (1997), krošnja je bitan dio stabla, njegova pluća i “tvornica” u kojoj se od anorganske materije proizvodi organska, o kojoj ovisi rast stabla. Krošnje stabala su, uz šumsko tlo, glavni čimbenici svih životnih zbivanja u sastojini (Matić, 1972). Dimenzije krošanja stabala koriste se pri modeliranju visinskog i/ili debljinskog prirasta pojedinačnih stabala te mortaliteta (Hasenauer i Monserud, 1996). Pritom se pri procjeni pritiska konkurencije na pojedina stabla kao nezavisne varijable koriste: duljine krošanja, njihove širine (promjeri), površine presjeka (temeljnice krošanja), površine plašta i volumeni krošanja (detaljnije vidi u Bachmann, 1998). Osim kao nezavisne (prediktorske), neke od navedenih varijabli se pri modeliranju koriste i kao zavisne varijable (vidi npr.: Gill i dr., 2000), pri čemu je rezultat tih modela najčešće sastavni dio nekih od simulatora rasta (Roeh i Maguire, 1996).

Veći broj radova, gdje su u središtu interesa sami atributi krošnje (stabala hrasta lužnjaka i običnoga graba), kod nas su objavili Dubravac i Krejči (1993), odnosno Dubravac (1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004). Krošnje jelovih stabala u prebornim sastojinama kod nas su istraživali Tomašegović (1961), Pranjić (1965), Hren (1968), Matić (1972), Grubešić (1986), Križanec (1987), Kušan i Pernar (1996), Poštenjak (1997).

Prema Križancu (1987), prostorni odnos krošanja zauzima među taksacijskim elementima preborne šume bitno mjesto zbog širokog spektra utjecaja na razvitek sastojina, pri čemu se odnosi među krošnjama tijekom razvitka sastojine mijenjaju. Te promjene dovode u prostoru sastojina do promjene biotskih i abiotskih čimbenika.

Poznavanje strukture krošanja sastojine je važno za gospodarenje, jer o strukturi ovise kvantitativni i kvalitativni prirast stabala i same sastojine (Dubravac, 1997). Važnost poznavanja dimenzija krošanja ogleda se i u činjenici da se povoljna uravnoteženost između produkcije i prirodne obnove u prebornim sastojinama postiže uz duljine krošanja od 1/3 do 2/3 duljine stabla kod crnogorice, odnosno 1/3 duljine kod bjelogorice (Križanec, 1987). Prema Matiću (1972), prevelika zastrtost tla krošnjama nepovoljno utječe na pojavu i opstanak prirodne obnove, izuzev zastrtosti krošanja stabala prve etaže, koja stvaraju najbolje uvjete za prirodno pomlađivanje uz maksimalnu zastrtost tla. Matić (1956) je na temelju projekcija krošanja konstruirao normale za preborne šume jele i smreke u Bosni i Hercegovini.

Većina istraživanja o dimenzijama krošanja, najčešće promjera (širine) krošnje stabala obične jele provedena je kod nas na manjim površinama (najčešće jedne do nekoliko sastojina nekog šumskog predjela ili na razini gospodarske jedinice).

Slijedom prethodno navedenih činjenica, cilj ovoga istraživanja je:

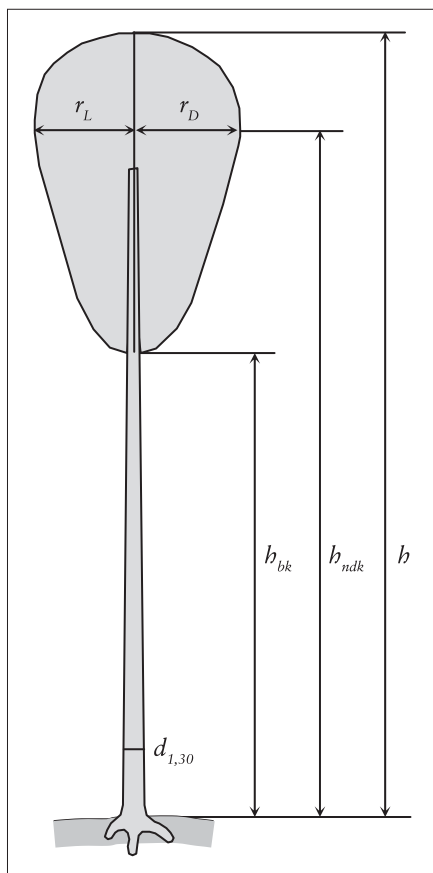
- modelirati razvoj atributa krošnje na širem području rasprostranjenosti obične jele, koristeći kao nezavisne varijable, varijable stabla te staništa.
- dobivene modelirane vrijednosti usporediti s ranijim istraživanjima.
- dobivene modelirane vrijednosti usporediti s modeliranim vrijednostima za običnu bukvu, kao vrstu koja najčešće pridolazi uz običnu jelu.

MATERIJALI I METODE

MATERIALS AND METHODS

Ovo istraživanje dio je jednog šireg istraživanja u kojem se razmatrao utjecaj stanišnih i sastojinskih elemenata na prirast obične jele (*Abies alba* Mill.) u jelovim sastojinama na kršu u Hrvatskoj. Područje istraživanja je dinarski dio areala obične jele u Republici Hrvatskoj, kojim su obuhvaćene četiri Uprave šuma podružnica Delnice, Gospić, Ogulin i Senj.

Varijable koje su se mjerile, registrirale, odnosno procjenjivale podijeljene su u dvije skupine (opširnije u Božić, 2003). Prva skupina varijabli definira položaj i karakteristike plohe (geomorfološke varijable): zemljopisni položaj (prostorne koordinate), nadmorska visina, nagib te orijentacija terena. Prostorne koordinate su snimljene diferencijalnim GPS uređajem. Nadmorska je visina određena na temelju snimljenih 2D prostornih koordinata (x, y) i digitalnog elevacijskog modela terena (DEM). Nagib terena je izmjeren uređajem Vertex III (Haglöf Instruments), a orijentacija u stupnjevima busolom. Druga skupina varijabli definira karakteristike pojedinačnih stabala ili sastojine (sastojinske varijable): vrsta drveća, prsni promjer, visina stabla, visina baze krošnje, visina najšireg dijela krošnje, radijusi krošnje, duljina krošnje, temeljnica odnosno volumen po hektaru. Prsni promjer je mjeran promjerkama s milimetarskom preciznošću. Visine (totalna, baze krošnje i najšireg dijela krošnje) mjerene su Vertexom. Duljina krošnje je izračunata kao razlika između visine stabla i visine baze krošnje. Duljina osunčanog dijela krošnje (krošnje svjetla) je izračunata kao razlika između visine stabla i visine najšireg dijela krošnje. Svakom stablu na plohi izračunata je temeljnica i volumen po Schumacher-Hallovjoj formuli, a parametri su uzeti iz drvnogromadnih tablica (Špiranec, 1976) na osnovi čega su dobiveni volumeni i temeljnice po hektaru po vrstama drveća.



Slika 1. Prikaz mjenjenih varijabli na odabranim stablima i njihovim konkurentima ($d_{1,30}$ – prsni promjer stabla, h – visina stabla, h_{bk} – visina baze krošnje, h_{ndk} – visina najšireg dijela krošnje, r_L i r_D – lijevi i desni radijus krošnje).
Figure 1. Description of variables measured on selected trees and their competitors ($d_{1,30}$ – diameter at breast height, h – tree height, h_{bk} – height of crown base, h_{ndk} – height of the widest part of the crown, r_L i r_D – left and right crown radius).

Izmjera visine stabala (h), visine baze krošnje (h_{bk}), visina najšireg dijela krošnje (h_{ndk}) te radijusa (r_L i r_D) krošnje (slika 1) provedena je na stablima jele kojima je uziman izvrtak za analize prirasta i njihovim konkurentima. Konkurenti su stabla čije krošnje se nalaze u zoni doticaja sa krošnjom bušenih stabala i na kojima su vršene izmjere. Ukupno su uzorkovana 1904 stabla, od toga 1117 stabala jele i 787 stabala bukve. Uzorkovana stabla su se nalazila unutar raspona nadmorskih visina od 510 do 1380 m n/m, s nagibima od $0,6^\circ$ – $32,7^\circ$.

Bončina (1994) navodi za jelu da formira simetričnu, a bukva asimetričnu krošnju. Prema Vidakoviću (1982), krošnja jelovih stabla u mladosti je čunjasta, a u starijoj dobi valjkasta (kod starijih stabala vrh je tanjurast i grane su horizontalno otklonjene).

S obzirom na to da je uzorak projektiran za običnu jelu, stabla bukve se pojavljuju kao konkurentna stabla bušenih stabala obične jele te ne predstavljaju cijeli raspon pojavnosti za bukvu. Upravo stoga će se modeli za bukvu koristiti okvirno, samo za usporedbu s jelom.

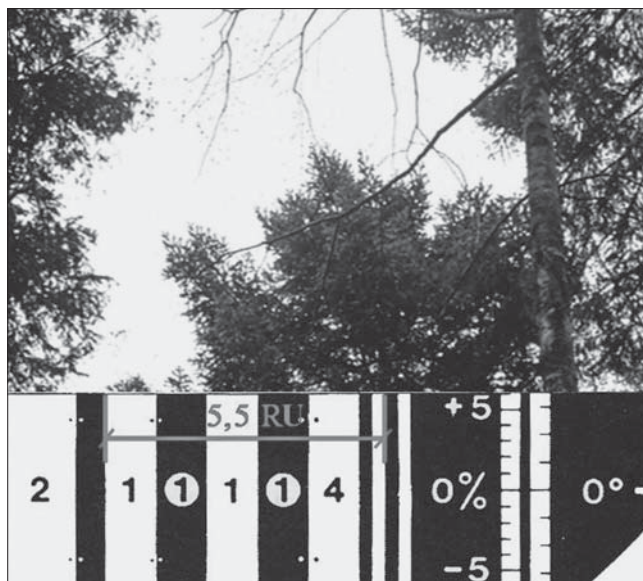
Najčešće se promjer krošnje određuje mjerenjem četiri radijusa, odnosno dva unakrsna promjera tako da se projicira najveći i najmanji promjer krošnje na tlo, pomoću trasirki i viska ili pomoću za tu svrhu konstruiranog instrumenta za precizno projiciranje krošnje na tlo ("Baumkronenspiegel" – vidi Pranjić i Lukić, 1997, str.41) i zatim na tlu mjernom vrpcom (u novije vrijeme i Vertexom ili laserskim daljinomjerom) se izmjere oba polumjera od središnje osi debla do trasirke.

U ovom su istraživanju polumjeri krošnja procjenjivani zrcalnim relaskopom s CP skalom na način da se mjeritelj postavi u položaj s gornje strane stabla, okomito na slojnicu s kojeg dobro vidi krošnju stabala te procjenjuje polumjere krošnja očitavanjem broja relaskopskih jedinica (RU) na mjernoj skali relaskopa (slika 2) i to najprije lijevo, a zatim i desno od uzdužne osi stabla (Detaljnije o relaskopu u: Pranjić i Lukić, 1997, str. 30-35). Drugi mjeritelj s istog mjesta pomoću Vertexa mjeri visine i horizontalnu udaljenost do stabla (radi izračuna radijusa krošnje). Visine su mjerene s preciznošću od 0,1 m, a širine krošnje su procjenjivane s preciznošću od četvrtine do polovine vrijednosti širine skale 1. Osim toga, mjereno je i azimut pada terena (orijentacija terena) i sam nagib terena. Mjereni podaci sa svake plohe upisivani su u za to pripremljene terenske obrasce. Kako su polumjeri krošnja očitavani u relaskopskim jedinicama (slika 2) trebalo ih je pretvoriti u metrički sustav. Polumjer krošnje dobije se tako da se broj očitanih RU pomnoži s vrijednošću jedne RU (2 posto) te horizontalnom udaljenošću između stabla i mjeritelja. Zbrajanjem lijevog i desnog polumjera krošnje u metrima dobije se promjer krošnje (D).

Visine stabala (h) izjednačene su kod nas zbog svoje fleksibilnosti (Pranjić i Lukić, 1997) najčešće upotrebljavanom Mihajlovom funkcijom, dok je za h_{bk} i h_{ndk} također korištena Mihajlova funkcija, ali bez aditivne konstante (1,30).

$$h = b_0 e^{\frac{-b_1}{d}} + 1,30$$

Za pojedine logičke skupine varijabli stabala provedena je parcijalna linearna korelacija u svrhu preliminiranog odabira varijabli za višestruke regresijske analize.



Slika 2. Prikaz načina izmjere polumjera krošnje pomoću zrcalnog relaskopa sa CP skalom.
Figure 2. Description of crown radii measurement with “Spiegel Relascop” using CP scale.

Pri modeliranju je korištena metoda općeg linearnog modeliranja, pri čemu su varijable korištene u izvornom obliku, njihovi kvadrati kao i interakcije između pojedinih varijabli. Kao metoda optimizacije modela, odnosno odabira podskupa linearnih predikatora koji ulaze u konačni model, korištena je “Backward Stepwise” metoda (Ott, 1993). U rezultatima je prikazano pet odabranih modela za cijeli set podataka (bez grupiranja po bonitetima). U modelu 1.1 korištena je varijabla prsni promjer. Kako se pretpostavljalo da oblik veze između promjera krošnje i prsnog promjera nije linearan u modelu 1.2, promjer je korišten kao izvorna varijabla te kao njen kvadrat. U modelu 1.3 kao nezavisni prediktori korišteni su prsni promjer, visina stabla, njihovi kvadrati te interakcije između izvornih varijabli. Na isti su način načinjeni i modeli 1.4 (varijable: prsni promjer, nadmorska visina, orijentacija terena i nagib) i 1.5 (varijable: prsni promjer, nadmorska visina i nagib). U modelima 1.4 i 1.5 testirali smo da li varijable koje su bile statistički neznačajne u provedenoj parcijalnoj linearnoj korelaciji postaju značajne u interakciji s drugim varijablama. U svim je statističkim obradama zadana razina značajnosti od $p = 0,05$.

U daljnjem tijeku istraživanja kao ulazna varijabla korištena je i varijabla bonitet kao mjerilo kakvoće sastojine. Bonitet se određivao na razini plohe, posebno za bukvu i posebno za jelu, uklapanjem izmjenjenih visina u granice Šurić-Pranjić bonitetnih razreda (Pranjić, 1966). Pritom je veća pažnja posvećena najdebljim stablima na plohi. Plohe su za svaku vrstu drveća grupirane po bonitetima te su za svaki bonitet, kao kategoričku varijablu, izjednačene visine stabala, visina najšireg dijela krošnje, visina baze krošnje i promjer krošnje korištenjem odgovarajuće Mihaj-

lovljeve funkcije. Modeli su rađeni samo za bonitete za koje je uzorak bio veći od 100 stabala.

REZULTATI S RASPRAVOM

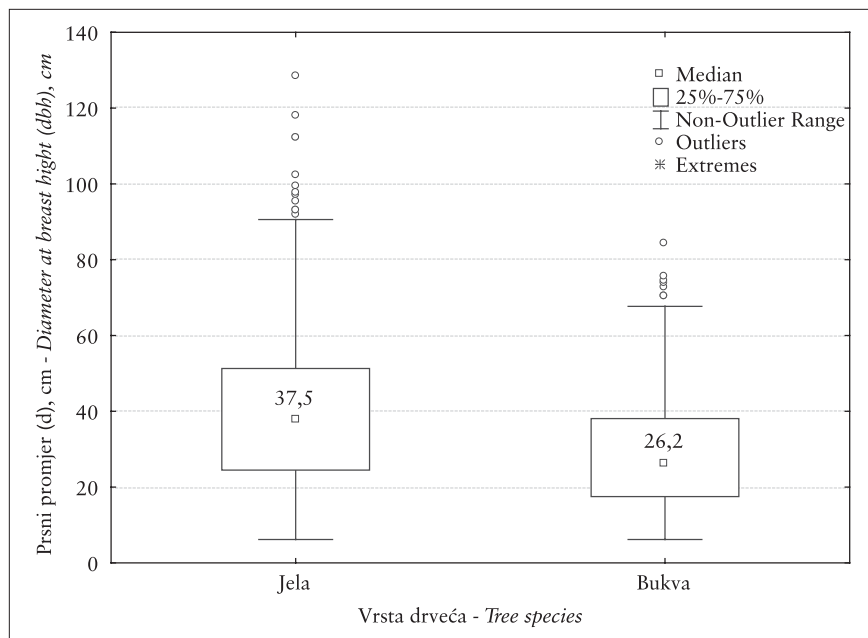
RESULTS AND DISCUSSION

Na slici 3 prikazana je varijabilnost prsnih promjera, na slici 4 promjera krošnja, a na slici 5 duljine krošnje po vrstama drveća. Pritom je kao srednja vrijednost prikazan medijan, jer je pod manjim utjecajem ekstremnih vrijednosti.

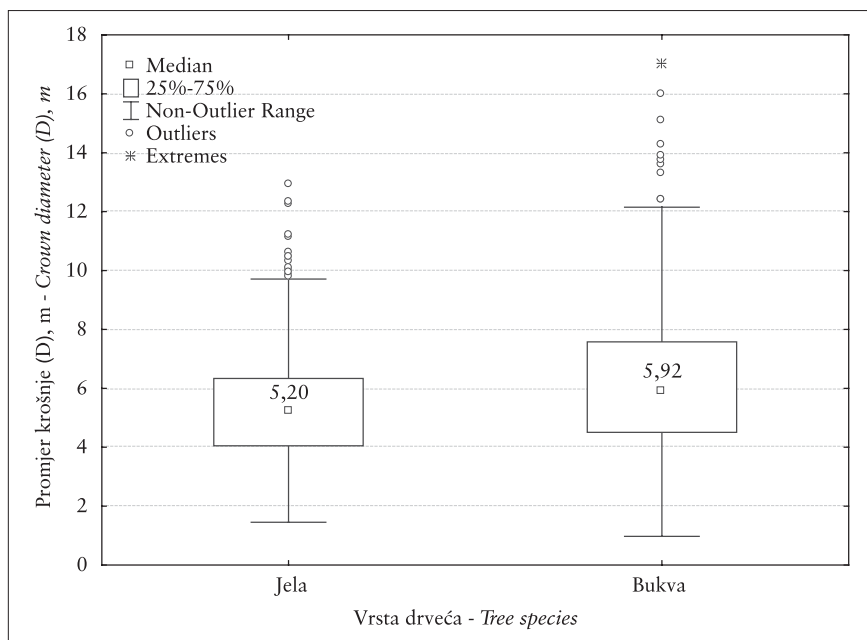
Iz slike 3 se vidi da je medijan promjera uzorka jelovih stabala veći od uzorka bukovih stabala i iznosi 37,5 cm u odnosu na 26,2 cm. Središnji dio distribucije izmjerenih vrijednosti (50 posto podataka) za jelu se nalazi u rasponu od 25-51 cm, a za bukvu od 18-38 cm. Rasponi promjera uzorkovanih stabala (bez ekstrema) iznosi 7-91 cm kod jele, dok je za bukvu manji.

Iz slike 4 se vidi da je medijan promjera krošnje kod jele (5,20 m) nešto manji od bukve (5,92 m) uz već ranije naveden veći medijan prsnog promjera jelovih stabala. Prikazani rezultati ukazuju na to da bi pri jednakom prsnom promjeru stabla bukve u prosjeku imala značajnije veću krošnju od stabala jele.

Iz slike 5 vidi se da su medijani duljine krošnje, kao i kod promjera krošnja, nešto veći kod jele (12,3 m) nego kod bukve (10,4 m). Središnji dio distribucije

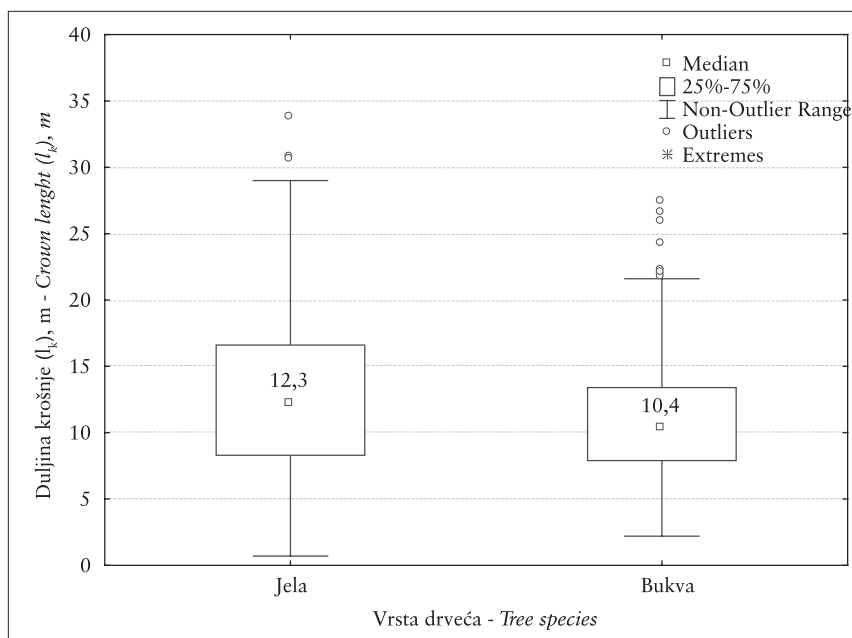


Slika 3. Varijabilnost prsnih promjera po vrstama drveća.
Figure 3. Variability of dbh by tree species (jela = Silver fir; bukva = European beech).



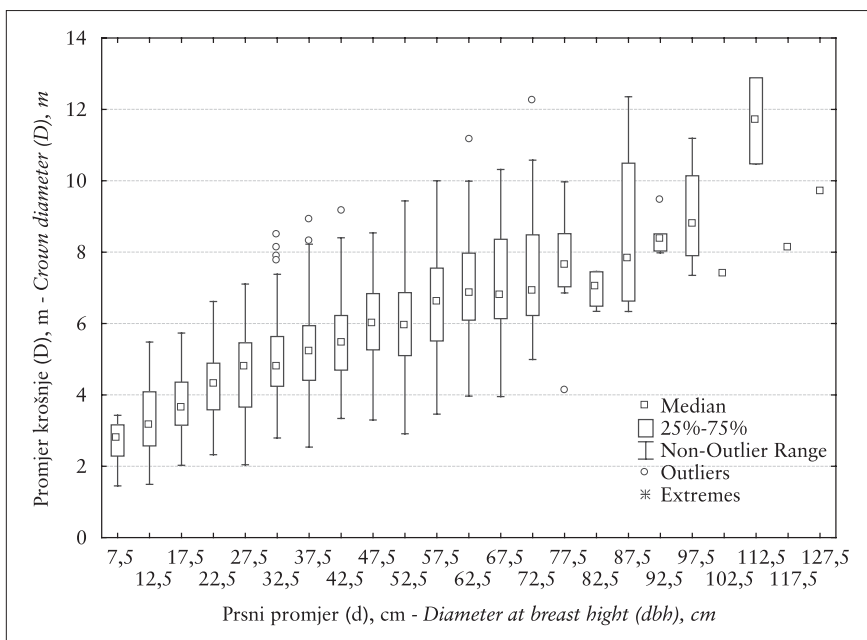
Slika 4. Varijabilnost promjera krošanja po vrstama drveća.

Figure 4. Variability of crown diameters by tree species (*jela* = Silver fir; *bukva* = European beech).

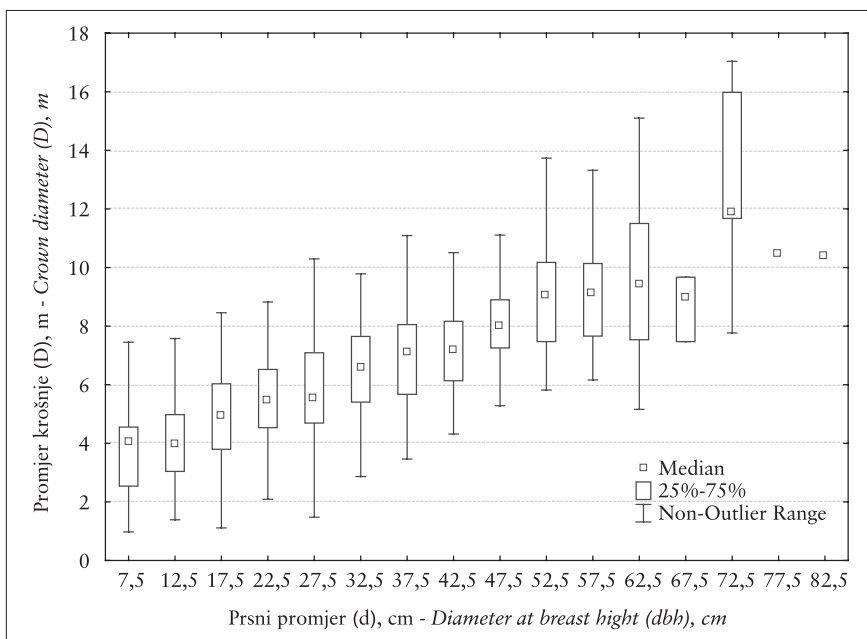


Slika 5. Varijabilnost duljine krošnje po vrstama drveća.

Figure 5. Variability of crown length by tree species (*jela* = Silver fir; *bukva* = European beech).



Slika 6. Varijabilnost promjera krošanja obične jele po debljinskim stupnjevima.
 Figure 6. Variability of Silver fir crown diameter with respect to diameter class.



Slika 7. Varijabilnost promjera krošanja obične bukve po debljinskim stupnjevima.
 Figure 7. Variability of European beech crown diameter with respect to diameter class.

izmjenjenih vrijednosti (50 posto podataka) za jelu nalazi se u rasponu od 8 do 17 m, a za bukvu od 7,5 do 13,5 m, pa se može pretpostaviti da bi za isti prsni promjer duljina krošnje jele bila značajnije veća nego što je to prikazano na slici 5. Prosječne duljine krošnje su izračunate na način da se od totalne visine stabla oduzme visina baze krošnje ($l_k = h - h_{bk}$).

Poznato je da povećanjem promjera stabala raste i njegova visina. Kako bi se ispitalo postoji li veza između prsnog promjera (d), promjera krošnje (D), duljine krošnje (l_k), krošnje svjetla (l_o), podaci o prsnim promjerima su grupirani u debljinske stupnjeve širine 5 cm. Rezultati tih analiza prikazani su na slikama od 6 – 11.

Sukladno očekivanju, medijan promjera krošnje raste s povećanjem prsnog promjera, kako kod jele (slika 6), tako i kod bukve (slika 7). Treba ukazati na razmjerno velike raspone i preklapanja vrijednosti promjera krošnje, kako za središnjih 50 posto raspona (25-75 posto), tako i za ukupni raspon podataka. To je posljedica preborne strukture, pri čemu stabla istog prsnog promjera mogu imati bitno različiti promjer krošnje uslijed različitog prostornog rasporeda stabala u odnosu na susjedna stabla. Usporedbom slika 6 i 7 vidljivo je da uz isti prsni promjer jela ima manji promjer krošnje od bukve.

Medijan duljina krošanja raste s povećanjem prsnog promjera, kako kod jele (slika 8), tako i kod bukve (slika 9).

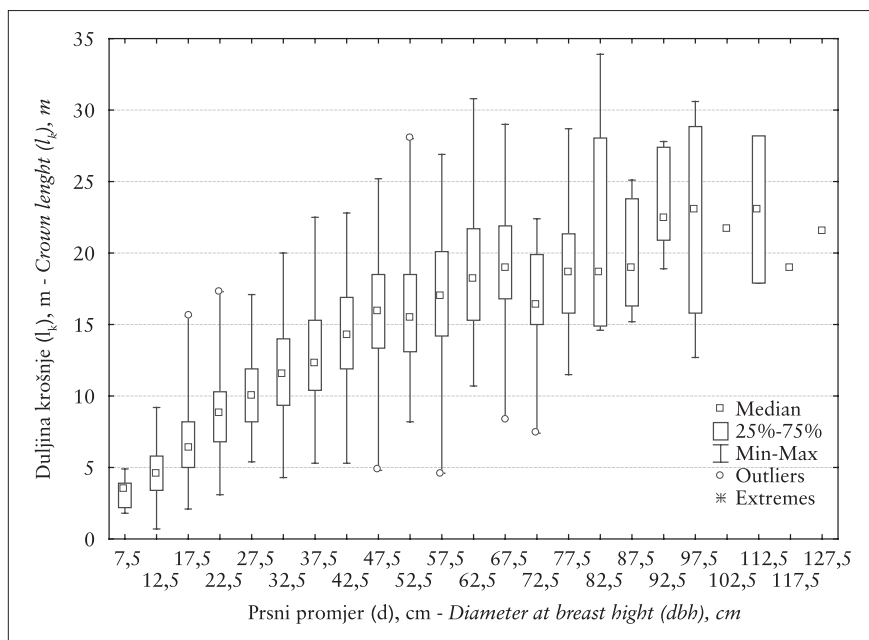
Podaci o udjelu duljine osunčanog dijela krošnje u odnosu na ukupnu duljinu krošnje prikazani su u postotku. Iz slike 11 vidi se da obična bukva ima veće vrijednosti udjela duljine osunčanog dijela krošnje kod manjih debljinskih stupnjeva u odnosu na običnu jelu (slika 10). Udio osunčanog dijela krošnje kod obične bukve je najveći kod debljinskog stupnja 7,5 cm i iznosi 63 posto (slika 11), a kod obične jele za isti prsni promjer iznosi 36 posto (slika 10).

Rezultati parcijalne linearne korelacije utjecaja odabranih varijabli stabla, sastojine i staništa na promjer i duljinu krošanja stabala jele i bukve su prikazani u tablicama 1 i 2. Pritom je orijentacija terena korištena kao kontinuirana varijabla (detaljnije vidi u Božić, 2003, str. 36-37).

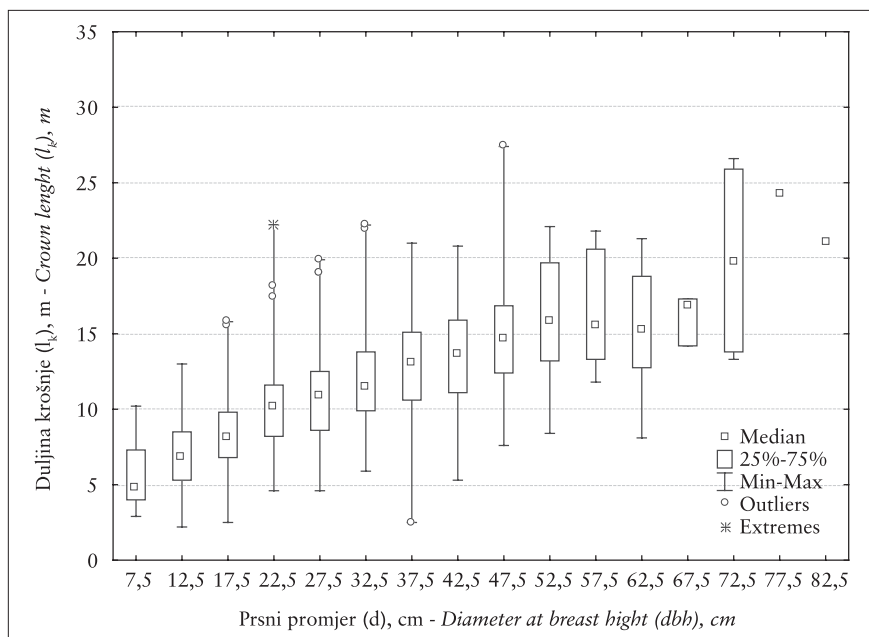
Kao što se vidi iz tablice 1, promjer krošnje (D) obične jele najbolje korelira s prsnim promjerom, zatim s totalnom visinom stabla te duljinom krošnje. Isto je i za bukvu s tim što su korelacijski koeficijenti nešto manji (tablica 2). Kušan i Pernar (1996) su istražujući odnos između prsnog promjera i promjera krošnje pomoću aerofotosnimaka dobili slične korelacije za jelu (0,738) te dosta veće za bukvu (0,836). Rezultate za bukvu dobivene u ovom istraživanju treba uzeti s rezervom jer je uzorak bio prilagođen jeli dok je bukva poslužila samo za usporedbu.

Nadmorska visina, orijentacija terena te nagib slabo koreliraju (tablica 1) s promjerom i duljinom krošnje stabala obične jele te nisu statistički značajne. U složenijim modelima (modeli 1.4 i 1.5 iz tablice 3), bilo kao zasebne varijable, njihovi kvadrati ili interakcije s drugim varijablama one postaju statistički značajne (vidi Materijali i metode). Kao što se vidi iz tablice 3 te varijable kod jele povećavaju ukupan koeficijent determinacije za 4 posto.

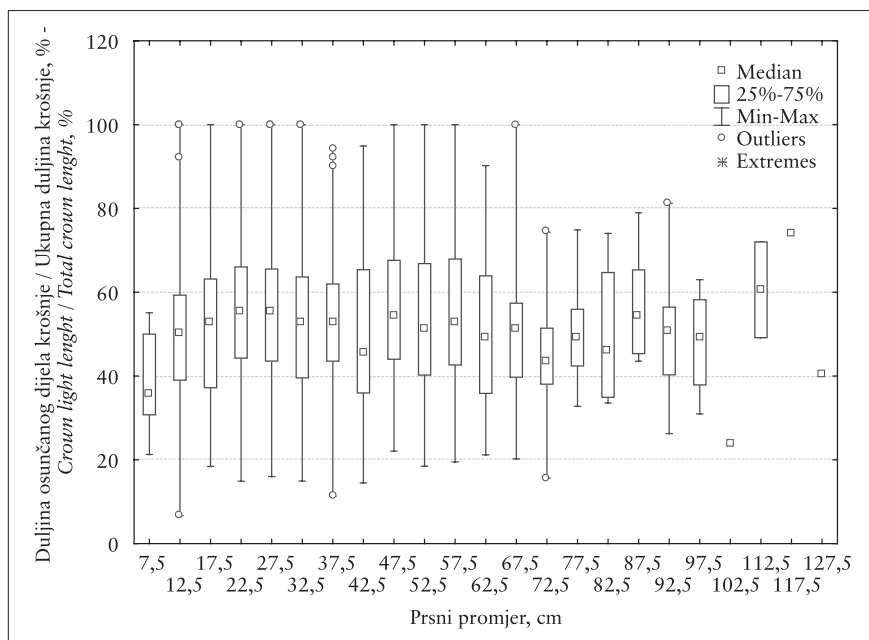
Na temelju rezultata parcijalne linearne korelacije pristupilo se modeliranju promjera krošanja stabala obične jele. Modeliranje je započeto s najjednostavnijim linearnim modelom ovisnosti promjera krošnje (D) o prsnom promjeru (d), da bi



Slika 8. Varijabilnost duljina krošanja obične jele po debljinskim stupnjevima.
 Figure 8. Variability of Silver fir crown length with respect to diameter class.



Slika 9. Varijabilnost duljina krošanja obične bukve po debljinskim stupnjevima.
 Figure 9. Variability of European beech crown length with respect to diameter class.



Slika 10. Varijabilnost udjela duljine osunčanog dijela krošnje (“krošnje svjetla”) u ukupnoj duljini krošnje obične jele po debljinskim stupnjevima.

Figure 10. Variability of the share of sunlit part (“crown of light”) in total crown length, for Silver fir, with respect to diameter class.

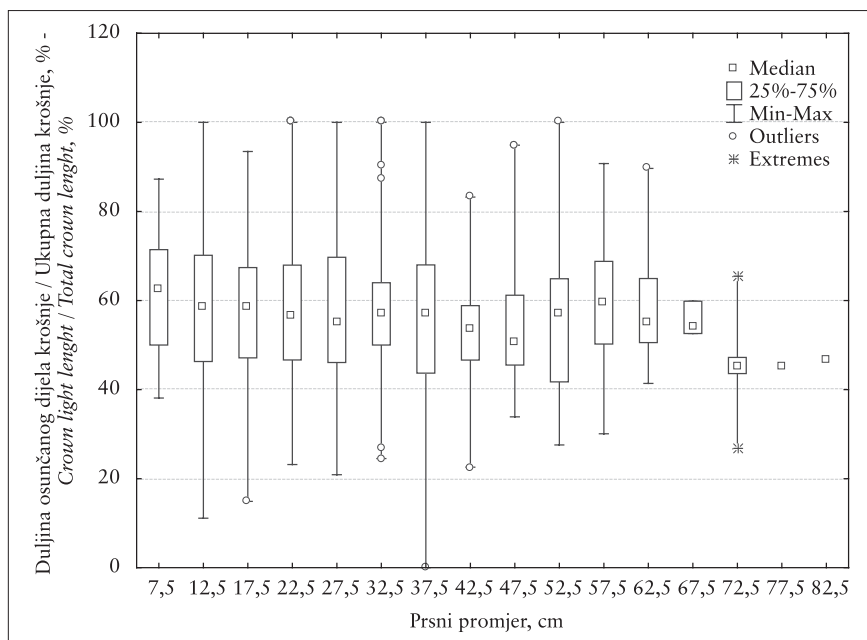
se potom u modeliranje uvodili i kvadratni članovi te širi set nezavisnih varijabli (vidi Materijali i metode).

U tablici 3 prikazani su koeficijenti korelacije (R) i determinacije (R^2) za odabrane modele. Vidljivo je da najjednostavniji model 1.1 objašnjava varijabilnost promjera krošnje s 52,05 posto. Uvođenjem i kvadratnog člana u model koji je statistički značajan, koeficijent determinacije se povećava na 52,38 posto, odnosno samo za 0,33 posto. U modelu 1.3 u kojem se kao nezavisne varijable koriste prsni promjer i totalna visina stabla, koeficijent determinacije iznosi 54,14 posto, što je oko 1 posto više od modela 1.1, odnosno modela 1.2.

Upravo stoga su u daljnjem modeliranju širine krošnje odabrani najjednostavniji modeli, model 1.1 i model 1.2, pri čemu su se izgrađivali modeli na temelju kakvoće staništa sastojine, dakle po bonitetima, tako da su plohe grupirane po bonitetima pa su koeficijenti određivani za pojedine bonitete. S obzirom na to da za značajan broj bonitetnih razreda kvadrat prsnih promjera nije bio statistički značajan, radi pojednostavljenja za bonitete su izgrađeni modeli u kojima je jedina nezavisna varijabla bio prsni promjer.

U tablici 4 prikazane su veličine uzorka, koeficijenti korelacije odnosno koeficijenti determinacije te parametri izjednačenja po vrstama drveća i bonitetima.

Za pretpostaviti je da bi navedeni koeficijenti determinacije, kako ukupni tako i po bonitetima bili nešto veći da se izmjera promjera krošanja radila na temelju



Slika 11. Varijabilnost udjela duljine osunčanog dijela krošnje (“krošnje svjetla”) u ukupnoj duljini krošnje obične bukve po debljinskim stupnjevima.

Figure 11. Variability of the share of sunlit part (“crown of light”) in total crown length, for European beech, with respect to diameter classes.

Tablica 1. Koeficijenti korelacije obične jele za promatrane varijable (D-promjer krošnje, l_k -duljina krošnje, d-prsni promjer, h-visina stabla, h_{bk} -visina baze krošnje, h_{ndk} -visina najširijeg dijela krošnje, G/ha-temeljnica po hektaru, V/ha-volumen po hektaru, orijentacija terena, nadmorska visina-nadmorska visina središta plohe, nagib-nagib plohe).

Table 1. Correlation coefficients of observed variables for Silver fir (D-crown diameter, l_k -crown length, d-dbh, h-tree height, h_{bk} - height of crown base, h_{ndk} - height of the widest part of the crown, G/ha-basal area per ha, V/ha-volume per ha, terrain orientation, nadmorska visina-elevation, nagib-slope).

Vrsta	Varijabla - Variable	D (m)	l_k (m)
JELA	d	0,75	0,74
	h	0,69	0,81
	h_{bk}	0,41	0,16
	h_{ndk}	0,54	0,54
	l_k	0,62	-
	D	-	0,62
	G/ha	0,20	0,15
	V/ha	0,32	0,26
	northess	0,04*	0,02*
	nadmorska visina	-0,02*	-0,03*
nagib	-0,07	-0,01*	

* koeficijenti nisu statistički značajni / coefficients are not statistically significant

Tablica 2. Koeficijenti korelacije obične bukve za promatrane varijable (D-promjer krošnje, lk-duljina krošnje, d-prsni promjer, h-visina stabla, h_{bk} -visina baze krošnje, h_{ndk} -visina najširijeg dijela krošnje, G/ha-temeljica po hektaru, V/ha-volumen po hektaru).

Table 2. Correlation coefficients of observed variables for European beech (D-crown diameter, l_k -crown length, d-dbh, h-tree height, h_{bk} - height of crown base, h_{ndk} - height of the widest part of the crown, G/ha-basal area per ha, V/ha-volume per ha).

Vrsta	Varijable - Varijable	D (m)	l_k (m)
BUKVA	d	0,69	0,69
	h	0,59	0,82
	h_{bk}	0,24	0,12
	h_{ndk}	0,41	0,49
	l_k	0,60	-
	D	-	0,60
	G/ha	0,03*	0,06*
	V/ha	0,12*	0,22

* koeficijenti nisu statistički značajni / coefficients are not statistically significant

Tablica 3. Obična jela - Koeficijenti korelacije (R) i koeficijenti determinacije (R^2) pojedinih modela (d-prsni promjer, h-visina stabla, n.v.-nadmorska visina, orijentacija terena i nagib terena).

Table 3. Silver fir - Correlation coefficient (R) and determinant coefficient (R^2) of models (d-dbh, h-tree height, n.v.-elevation, terrain orientation and slope).

Model - Model	Varijable - Variables	R	R^2
1.1	d	0,7214	0,5205
1.2*	d	0,7238	0,5238
1.3**	d, h	0,7358	0,5414
1.4**	d, n.v., orijentacija terena, nagib	0,7483	0,5598
1.5**	d, n.v., nagib	0,7462	0,5567

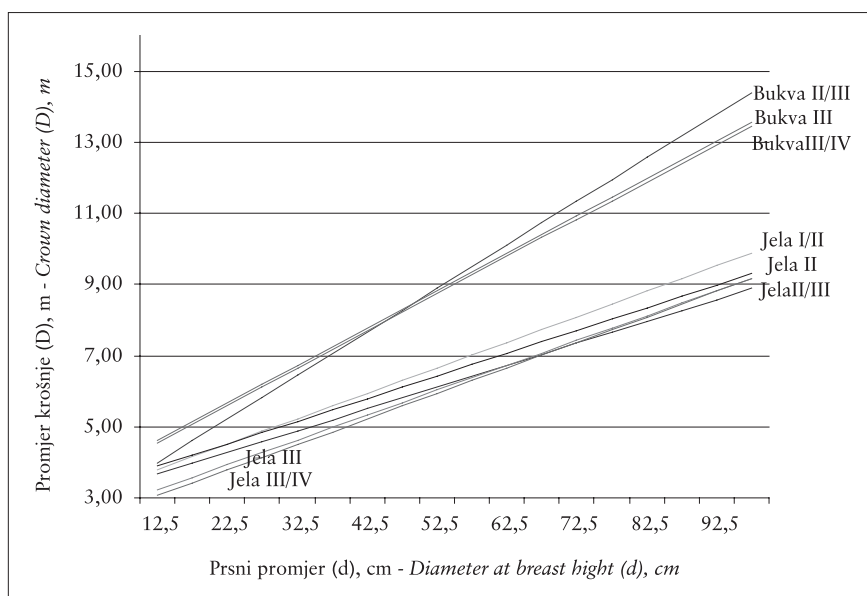
* Članovi u modelu su varijable i kvadrati varijabli / Term in the model are variables and their squares

** Članovi u modelu su varijable, njihovi kvadrati te interakcije između izvornih varijabli / Terms in the model are variables, their squares and interaction term

Tablica 4. Deskriptivna statistika izjednačenja promjera krošanja (N – veličina uzorka, R – koeficijent korelacije, R^2 – koeficijent determinacije, b_0 i b_1 – parametri funkcije izjednačenja (pravca))

Table 4. Descriptive statistics of crown diameter modelling (N – sample size, R – correlation coefficient, R^2 – determinant coefficient, b_0 i b_1 – parameters of fitted model (linear))

	Širine (promjer) krošanja (D)						Bukva			
	Jela									
Bonitet	N	R	R^2	b_0	b_1	N	R	R^2	b_0	b_1
I/II	120	0,7687	0,5909	2,9006	0,0716	-	-	-	-	-
II	201	0,7031	0,4943	3,0878	0,0637	-	-	-	-	-
II/III	352	0,6831	0,4667	2,8916	0,0614	157	0,7235	0,5241	2,4593	0,12250
III	257	0,7557	0,5711	2,3575	0,0699	194	0,6662	0,4438	3,2999	0,10503
III/IV	118	0,7244	0,5248	2,1671	0,0718	228	0,6743	0,4547	3,2503	0,10456
Ukupno	1048	0,7238	0,5238	2,6320	0,0675	787	0,6783	0,4601	2,9413	0,10887



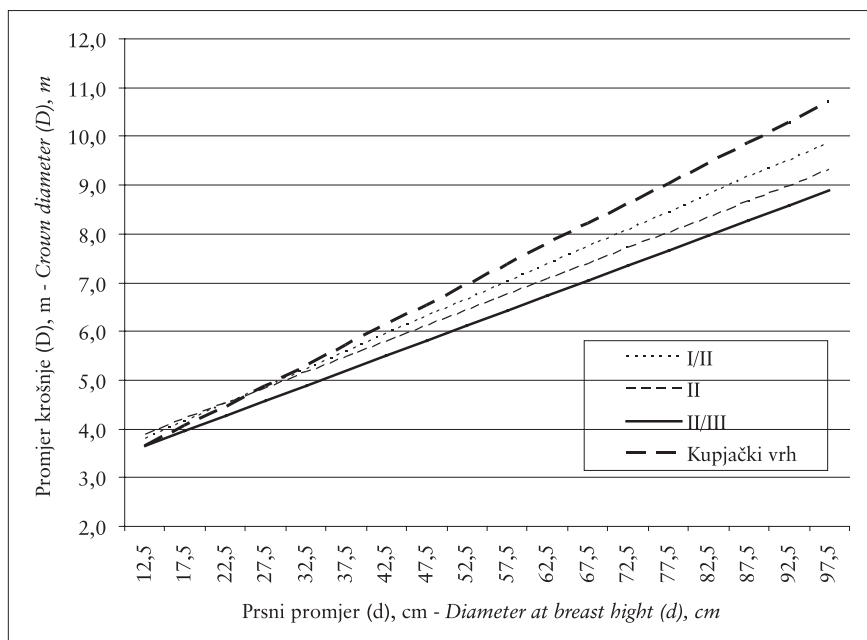
Slika 12. Modeli (linearni) ovisnosti promjera krošanja o prsnom promjeru jele i bukve za odabrane bonitete.

Figure 12. Models (linear) of crown diameter dbh as independent variable for fir and beech at sites with different site quality class.

metode izmjere dva unakrsna promjera (eliminiranje ekstrema), a preciznost izmjere (u metrima) pri našem mjerenju, kao što je već spomenuto (vidi Materijali i metode) bila je definirana umnoškom mogućnosti procjene širine krošnje na jednu četvrtinu ili polovinu RU udaljenosti od stabla.

Iz tablice 4 se vidi da su koeficijenti determinacije nešto veći odnosno manji u odnosu na koeficijente determinacije ukupnog uzorka. Na slici 12 prikazane su dobiveni modeli ovisnosti širine krošnje u odnosu na prsni promjer za pojedinu vrstu drveća i bonitet.

Na slici 12 je vidljivo da stabla bukve u prosjeku imaju veću širinu krošnje u istom debljinskom stupnju u odnosu na stabla jele. Ovi se rezultati podudaraju s rezultatima Križaneca (1987), koji navodi da je najuža krošnja u bukovo-jelovim sastojinama izmjerena kod smreke, a potom slijede jela, javor i bukva. I kod jele i kod bukve, s tim što je kod jele to izraženije, stabla uzrasla na boljem bonitetu imaju uz isti prsni promjer veći promjer krošanja. Rezultati za bukvu nisu jednoznačni, pa ih treba uzeti s rezervom jer je uzorak bio koncipiran prema jeli, prikazan je samo radi usporedbe s jelom. Iz slike 12 je vidljivo da te linije po bonitetima nisu sve paralelne. To je posljedica i same varijabilnosti širine krošnje, načina uzorkovanja, što je i ranije napomenuto, kao i radi toga što je bonitet uzet kao kategorička, a ne kao kontinuirana varijabla. Do sličnog rezultata o pravilnosti nizanja linija izjednačenja po bonitetima došao je i Križanec (1987), pri čemu napominje da to vrijedi za stabilni prostorni raspored stabala, dok za grupimični



Slika 13. Usporedba naših modela ovisnosti širina krošanja o prsnom promjeru s modelom Križanca (1987.) za g.j. Kupjački vrh.

Figure 13. Comparison of our models for crown diameter according to site class according with the model of Križanec (1987.) from data obtained in m.u. Kupjački vrh.

prostorni raspored krošnje stabala slabijeg boniteta mogu uz iste ostale uvjete razvitka, biti prosječno uže, jednake ili šire od krošanja stabala uzraslih na boljem bonitetu (utjecaj različitog razmaka između stabala).

Na slici 13 uspoređeni su modeli ovisnosti širine krošanja o prsnom promjeru obične jele za gospodarsku jedinicu Kupjački vrh (Križanec, 1987) s rezultatima ovoga istraživanja.

Na slici je vidljivo da su promjeri krošanja za gospodarsku jedinicu Kupjački vrh koja se u prosjeku nalazi na II/III bonitetu za jelu, značajno veće od dobivenih rezultata za isti bonitet. Čak su veće i od promjera krošanja dobivenog na I/II bonitetnog razreda.

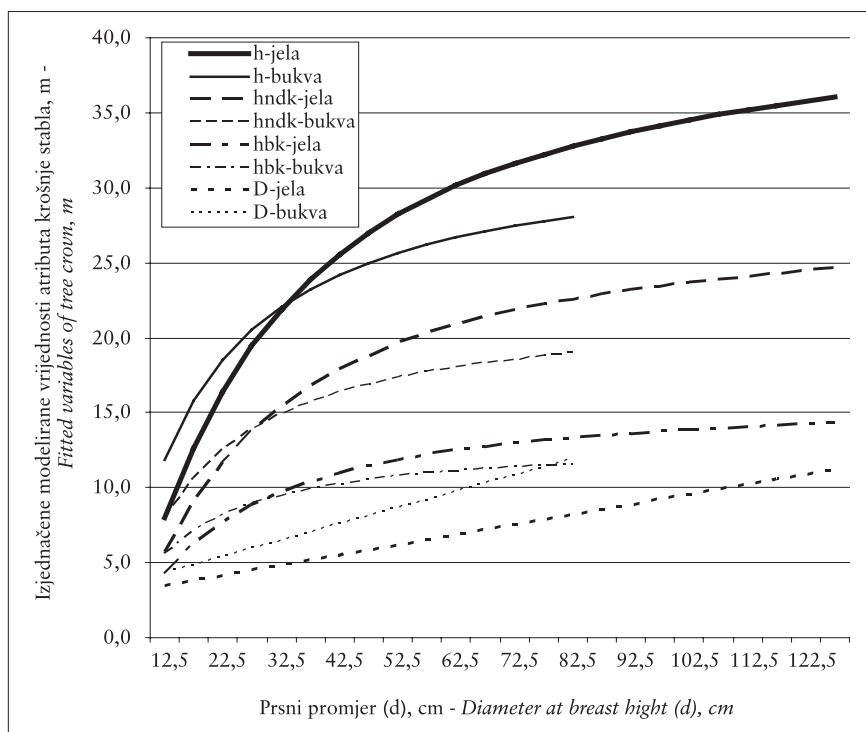
Koeficijent determinacije za gospodarsku jedinicu Kupjački vrh je iznosio 68,06 posto (Križanec, 1987) u odnosu na 52,05 posto u našem istraživanju. Ovo može biti posljedica veće prirodne varijabilnosti promjera krošanja na širem području, kao i pojednostavljenja načina mjerenja promjera krošanja o čemu je ranije bilo riječi.

S obzirom na to da su se modeliranjem promjera krošanja stabala obične jele bavili mnogi autori, veći dio tih modela nalazi se prikupljen u radu Križanca (1987). U navedenom radu se vidi velika varijabilnost promjera krošanja u ovisnosti o prsnom promjeru u istraživanjima različitih autora, što je vjerojatno posljedica lokaliteta na kojem su istraživanja provedena, boniteta, omjera smjese kao i odnosa

Tablica 5. Parametri izjednačenja te koeficijenti determinacije za attribute krošnji (h , h_{ndk} , h_{bk}) za običnu jelu i bukvu.

Table 5. Parameters for fitted models with coefficients of determinant. Models of h (tree height), $hndk$ (height of widest crown diameter) and hbk (height of crown base) are linear with respect to d .

d (cm)	h-jela	h-bukva	hndk- jela	hndk-bukva	hbk-jela	hbk-bukva
b_0	41,4855	31,5799	28,9105	22,1516	16,3491	13,2229
b_1	22,7501	13,6652	20,3376	12,9047	16,7936	10,799
R^2	0,8261	0,6861	0,5780	0,5115	0,2944	0,2972



Slika 14. Prikaz modeliranih atributa krošnje stabla jele i bukve (h -visina stabla, h_{ndk} -visina najšireg dijela krošnje, h_{bk} -visina baze krošnje, D -promjer krošnje).

Figure 14. Fitted variables of tree crown of Silver fir and European beech (h - tree height, $hndk$ - height of widest crown diameter, hbk - height of crown base, D - crown diameter).

stvarnog stanja tih sastojina prema normalnom (normali). Uspoređujući naše rezultate (model 1.1) s rezultatima više autora koje je u sklopu svog istraživanja rekapitulirao Križanec (1987) te istraživanjima Hrena (1968), primjećujemo da su ona najbliža rezultatima Drinića, Matića i Križaneca (Križanec, 1987).

Osim promjera krošanja koje su najviše istraživane, značajni su i drugi parametri krošnje: duljina, duljina osunčanog dijela krošnje, što je spomenuto u uvodu

ovog poglavlja. U nastavku će se, radi dobivanja bolje slike o izgledu prosječnih stabala, prikazati rezultati modeliranja visine stabla (h), visine najšireg dijela krošnje (h_{ndk}) i visine baze krošnje (h_{bk}), koji daju jasniju sliku samog stabla. Rezultati ovog modeliranja prikazani su u tablici 5 te na slici 15.

U tablici 5 prikazani su ukupni koeficijenti determinacije (R^2) za pojedine atribute krošanja po vrstama drveća. Iz toga vidimo da visina jelovih stabala ima najveći koeficijent determinacije od čak 82,61 posto u odnosu na visinu bukovih stabala od 68,61 posto, što je za 14 posto manje u odnosu na visinu jelovih stabala.

Na slici 14 vidi se da jela do debljinskog stupnja 32,5 ima manje visine, dok su visine stabala promjera većeg od 32,5 cm znatno veće u odnosu na bukvu. Visine najšireg dijela krošnje i visine baze krošnje su do debljinskog stupnja 27,5 cm kod jele niže, a iznad tog debljinskog stupnja više u odnosu na bukvu, s tim da je ta razlika manje izražena kod visine baze krošnje (h_{bk}). Isto tako se na slici 14 vidi da bukva ima znatno veće širine krošanja od jele, o čemu je već ranije bilo riječi. Križanec (1987) navodi da krošnje stabala obične jele prekrivaju 45-65 posto duljine debla. Prema ovom istraživanju, za izjednačene podatke to iznosi od 50 posto za niže debljinske stupnjeve do 60 posto za više debljinske stupnjeve (slika 10), dok za običnu bukvu se taj raspon kreće od 53-59 posto (slika 11).

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Prsni promjer stabala je najznačajnija i najlakše mjerljiva varijabla koja se koristi pri modeliranju promjera krošanja obične jele. To potvrđuju i dobiveni rezultati prema kojima prsni promjer objašnjava varijabilnost promjera krošanja obične jele s oko 52 posto. Stanišne varijable u kombinaciji s prsnim promjerom objašnjavaju varijabilnost promjera krošanja za dodatnih 4 posto.

Rezultati istraživanja su pokazali da uz isti prsni promjer stabla jele na boljim bonitetima imaju i veći promjer krošnje. Što je uzrok tomu, možemo samo nagađati. Je li veći promjer krošnje uz isti prsni promjer stabala na boljem bonitetu "luksuz" koji si stabla na boljim bonitetima mogu priuštiti, za razliku od stabala koja rastu na lošijim staništima, gdje je svjetla možda u izobilju, ali nedostaju drugi hranjivi elementi, ostaje otvoreno pitanje za neka druga istraživanja. Stabla bukve uz isti prsni promjer imaju zapaženo veću širinu krošnje u odnosu na stabla jele. Osim toga, totalne visine stabala, visine najšireg dijela krošnje i visine baze krošnje stabala bukve su u prosjeku veće kod tankih, a niže kod srednje debelih i debelih stabala.

Dobiveni rezultati mogu poslužiti za izradu normala čistih jelovih sastojina, kao i mješovitih bukovo-jelovih sastojina, s tim da je u tom slučaju potrebno provesti slično istraživanje i za običnu bukvu.

Visina stabala, visine najšireg dijela krošnje i visine baze krošnje stabala bukve su u prosjeku veće kod tankih, a niže kod srednje debelih i debelih stabala u odnosu na jelu. Udio duljine krošnje u odnosu na ukupnu visinu stabla iznosi kod jele od 47 posto u debljinskom stupnju 7,5 cm do 60 posto u debljinskim stupnjevima iz

nad 72,5 cm, nakon čega postaje gotovo konstantan. Kod bukve taj se odnos nalazi između 53 posto u debljinskom stupnju 7,5 cm i 59 posto iznad debljinskog stupnja 67,5 cm, nakon čega također postaje gotovo konstantan.

LITERATURA

REFERENCES

- Bachmann, M., 1998. Indizies zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Forstliche Forschungsberichte 171, 261 str, München.
- Bončina, A., 1994. Prebiralni dinarski gozd jelke in bukve. Strokovna in znanstvena dela 115, 95 str., Ljubljana.
- Božić, M., 2003. Utjecaj stanišnih i sastojinskih elemenata na prirast obične jele (*Abies alba* Mill.) u jelovim sastojinama na kršu u Hrvatskoj. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
- Dubravac, T., Krejči, V., 1993. Ovisnost promjera horizontalne projekcije krošanja hrasta lužnjaka o totalnim visinama stabala pojedinih dobnih razreda ekološko-gospodarskog tipa II-G-10 (*Carpino betuli-Quercetum roboris* /Anić/ emend. Rauš 1969). Rad. Šumar. inst. 28(1/2):79-91.
- Dubravac, T., 1997. Istraživanje strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba u zajednici *Carpino betuli – Quercetum roboris* Anić ex Rauš 1969. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 112 str, Zagreb.
- Dubravac, T., 1998. Istraživanje strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* /Anić /Rauš 1969. Rad. Šumar. inst. 33(2):61-102.
- Dubravac, T., 1999. Utjecaj broja stabala na promjer krošnje hrasta lužnjaka u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić ex Rauš 1969. Rad. Šumar. inst. 34(2):23-37.
- Dubravac, T., 2002. Zakonitosti razvoja strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi u zajednici. *Carpino betuli – Quercetum roboris* Anić em Rauš 1969. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 196 str., Zagreb.
- Dubravac, T., 2003. Dinamika razvoja promjera krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. Rad. Šumar. inst. 38(1):35-54.
- Dubravac, T., 2004. Dinamika razvoja dužina krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. Rad. Šumar. inst. 39(1):51-69.
- Gill, S.J., Biging, G.S., Murphy, E.C., 2000. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. *Forest Ecology and Management* 126, 405-416.
- Grubešić, M., 1986. Utjecaj ekspozicije na odnos promjera krošnje i prsnog promjera u jelovim sastojinama (Blechno-Abietetum, Horvat), Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
- Hasenauer, H., Monserud, R.A., 1996. A crown ratio model for Austrian forests. *Forest Ecology and Management* 84, 49-60.
- Hren, V., 1968. Dinamika horizontalnog širenja krošanja bukve i jele u nekim zajednicama zapadne Hrvatske. Šumarski list 92(5-6), 189-198, Zagreb.
- Križanec, R., 1987. Distribucija i projekcija krošanja u korelaciji s prsnim promjerom stabala u jelovim šumama. Disertacija, Vol. I i II, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 667 str., Zagreb
- Kušan, V., Pernar, R., 1996. Procjena prsnoga promjera i temeljnice najznačajnijih vrsta drveća gorskog područja na temelju veličina mjerljivih na aerosnimkama. U: Mayer, B. (ur.), Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava, 157-167, Zagreb.

- Matić, S., 1972. Prirodno pomlađivanje kao faktor strukture sastojine u šumama jele s rebračom (*Blechno-Abietetum* Horv.). Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 77 str., Zagreb.
- Matić, V., 1956. Normalno stanje u jelovim i smrčevim prebornim šumama. Radovi Poljoprivredno-šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu br. I/1: 3-80, Sarajevo
- Ott, R.L., 1993. Introduction to Statistical Methods and Data Analysis. Duxbury Press, Belmont, 1152 str.
- Poštenjak, K., 1997. Zavisnost prirasta jelovih stabala o nekim stanišnim i taksacijskim čimbenicima u zajednici jele i rebrače (*Blechno-Abietetum* Horv.). Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 283 str., Jastrebarsko.
- Pranjić, A., 1965. Korelaciona analiza između prsnog promjera, promjera krošnje, visine i drvne mase stabla kod nekih tipova jelovih šuma i šuma poljskog jasena. Šum. list 89 (1-2), 58-60, Zagreb.
- Pranjić, A., 1966. Interpolirane Šurićeve jednoulazne tablice za jelu-smreku i bukvu. Šum. list 90 (3-4), 185-212, Zagreb.
- Pranjić, A., Lukić, N., 1997. Izmjera šuma. 405 str., Zagreb.
- Roeh, R.L., Maguire, D.A., 1997. Crown profile models based on branch attributes in coastal Douglas-fir. Forest Ecology and Management 96, 77-100.
- Špiranec, M., 1976.: Tablice drvnih masa jele i smreke. Radovi 29, 119 str., Zagreb.
- Tomašegović, Z., 1961. Ovisnost promjera $d_{1,3}$ jele i smreke o širini krošnje i visini stabala. Šumarski list 85 (7-8): 254-261, Zagreb.
- Vidaković, M., 1982. Četinjače. Morfologija i varijabilnost. 77-88, Zagreb.

MODELLING CROWN DIMENSIONS OF SILVER FIR TREES

Summary

Aim of the research is to create models that will characterise some of the attributes of tree crown of silver fir (diameter, crown length, length of sunlit part of the crown) in Dinaric beech-fir forests of Croatia, as a function of chosen habitat (i.e. ecological) and stand (i.e. structural) variables.

Habitat variables used in modelling include elevation above sea level, inclination and orientation of the terrain, while stand variables include diameter at breast height (dbh), tree height, basal area and volume per hectare. Site class, as category variable, was also used. Apart from modelling crown attributes for silver fir, modelling was partially performed also for common beech (preliminary models were compared with models for silver fir).

Sample was made from 1117 trees of silver fir and 787 trees of common beech. On all trees diameter at breast height, crown diameter, tree height, height of widest part of the crown, and height of crown base was measured.

Research was conducted in the Dinaric part of the natural distribution area of silver fir in Republic of Croatia (Forest Administrations Delnice, Gospić, Ogulin and Senj).

Results of the research indicate that diameter at breast height is most significant variable in modelling diameter of tree crown. Model that used diameter at breast height as the only independent variable could explain 52 percent of variability of crown width in silver fir. Models in which we used habitat variables in combination with dbh improved the explanation of variability by further 4 percent.

Silver fir trees of the same dbh have wider crowns in stands with better site class. Beech trees have wider crown than corresponding silver fir trees of the same dbh. Tree height, height of widest part of the crown, and height of crown base of thin beech trees have higher values than corresponding silver fir trees of the same dbh while for the medium and thick trees the situation is opposite.

Key words: *crown diameter, crown length, crown light length, Silver fir, modelling*