

Velikost in oblika krošnje pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) In smreki (*Picea abies* (L.) Karst.)

Shape and size of tree crown in Common Beech (Fagus sylvatica L.) and Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.)

Maja POLENŠEK*, David HLADNIK**, Marijan KOTAR***

Izveček:

Polenšek, M., Hladnik, D., Kotar, M.: Velikost in oblika krošnje pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in smreki (*Picea abies* (L.) Karst.). *Gozdarski vestnik*, 64/2006, št. 2. V slovenščini, z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 21. Prevod izvečka in povzetka v angleščino: avtorji. Lektura angleškega besedila: Jana Oštir.

Oblika in velikost drevesne krošnje se v sestoji zelo razlikujeta od drevesa do drevesa, zato je ugotavljanje oblike in velikosti krošnje pogosto problematično. Najbolj natančne podatke dobimo pri sekcioniranju krošnje, ker pa je v sestoji pogosto težko dobiti dovolj podatkov, smo preizkusili, ali lahko oblike krošenj za bukev in smreko podamo z analitično funkcijo. Proučevali smo obliko in velikost krošnje v sestoji rastočih dreves, in sicer za bukev in smreko po razširjenih debelinskih razredih. Za ta namen smo fotografirali celotna drevesa z digitalno kamero. Primerjava je pokazala, da analitična funkcija dobro poda vrednosti za površino krošnje, medtem ko so pri volumnih odstopanja večja. Enačbe na osnovi premera in dolžine krošnje so zelo odstopale od pravih vrednosti. Odvisnost med širino krošnje in prsnim premerom lahko dobro prikažemo z alometrijsko funkcijo.

Ključne besede: drevesna krošnja, oblika krošnje, volumen krošnje, površina krošnje, smreka, bukev

Abstract:

Polenšek, M., Hladnik, D., Kotar, M.: Shape and size of tree crown in Common Beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Gozdarski vestnik*, Vol. 64/2006, No. 2. In Slovene, with abstract and summary in English, lit. quot. 21. Translated into English by the authors. English language editing by Jana Oštir.

The shape and size of crowns within a stand vary considerably from tree to tree, hence determining the shape and size of a crown can often be problematic. The most accurate data can be obtained by sectioning the crown. It is however often difficult to get sufficient data in a stand, so we examined whether the crown shapes of spruce and beech trees could be calculated by an analytic function. We studied the shape and size of the crown in a stand of growing trees, specifically Common Beech and Norway Spruce, according to their diameter class. For this purpose we photographed whole trees in the field with a digital camera. The comparison showed that the analytic function is accurate enough to determine the values of crown surface, but the volumes proved to be more discrepant. Formulas for cone and paraboloid describe crowns inaccurately, in most cases underestimating them. The relationship between crown width and DBH (tree diameter at breast height) can be described well by an allometric function.

Key words: tree crown, crown shape, crown volume, crown surface, Common Beech, Norway Spruce

1 UVOD

Drevesna krošnja je pomembna komponenta drevesa in gozdnega sestoja. Je kompleksna struktura vej, listov, cvetov in plodov, ki opravlja številne funkcije. Od nje so odvisni številni procesi, ki so za drevo življenjskega pomena.

Čeprav sta oblika in velikost krošnje vrstno značilni, je njena končna oblika zelo modificirana glede na okolje. V sestoji, kjer je stalno prisotna konkurenca za prostor in svetlobo, razvijejo drevesa ožje in krajše krošnje, ki so nesimetričnih in nepravilnih oblik (ZIMMERMANN / BROWN 1974).

Pri proučevanju dreves in gozdnih sestojev sta pomembni oblika in velikost drevesnih krošenj. Tu pa se pojavijo problemi ugotavljanja oblike in velikosti krošnje. V preteklosti so krošnjam določali različne pravilne geometrijske oblike, s

* M. P. univ. dipl. inž. gozd. Valburga, 1216 Smlednik, SI
** doc. dr. D. H. univ. dipl. inž. gozd., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SI
*** prof. dr. M. K. univ. dipl. inž. gozd., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana

katerimi so poenostavili izračun volumna in površine (MOHREN et al. 1984, BIGING / WENSEL 1990, PRETZSCH 1992). V kasnejših raziskavah so proučevali fraktalne dimenzije krošnje (ZEIDE 1990, cit. po DORUSKA 1998), s strukturnimi modeli so podajali rast, število in dolžino vej v krošnjah (BIGING / GILL 1997), v zadnjih letih pa so se začele pojavljati različne analitične funkcije za ponazoritev zunanjega profila krošnje (DORUSKA 1998, POLENŠEK 2005).

Za izračun volumna in površine krošnje se največkrat uporabi le največji premer in dolžina krošnje (AMBERGER et al. 1990, PRETZSCH 1992, MAGUIRE / HANN 1989). Pri tem se lahko obe vrednosti izračuna za celotno krošnjo ali pa se le to razdeli na zgornjo sončno in spodnjo senčno krošnjo.

Medtem ko višino enostavno izmerimo z optičnimi višinomeri, nimamo enostavnega pripomočka za izmero premera krošnje. Uporabljene so bile različne metode za čim lažjo izmero premerov krošnje, vse od tega, da so drevo posekali in merili na tleh (BIGING / WENSEL 1990, DORUSKA 1998), do horizontalne projekcije krošnje na tla

(AMBERGER et al. 1990, PRETZSCH 1992), merjenja kotov (RAUTIAINEN / STENBERG 2005) in uporabe krošnjemera (HUSSEIN / ALBERT 1999). V zadnjih letih so se z razvojem tehnologije pojavile nove metode merjenja premerov z laserskimi merilnimi napravami (BIGING / GILL 1997) in digitalno kamero (PYYSALO 2004).

2 NAMEN RAZISKAVE

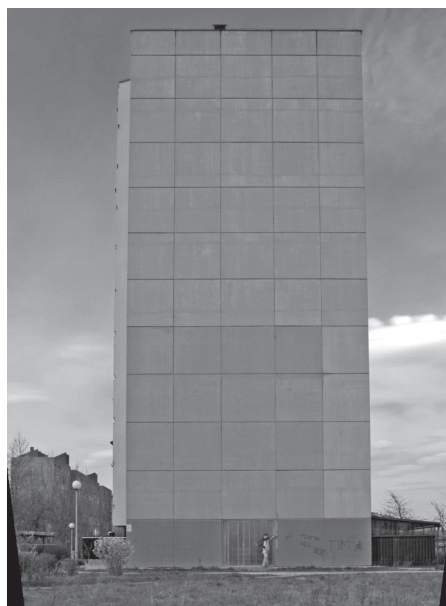
V našem prispevku želimo prikazati metodo dela in rezultate raziskave, ki je bila izvedena v sestojih bukve in smreke (POLENŠEK 2005), da bi povečali natančnost ocen volumna in površine krošenj, in da preizkusimo natančnost obrazcev za izračun površine in volumna krošnje, ki jih uporabljajo raziskovalci pri proučevanju odvisnosti prirastka drevesa od površine in volumna krošnje.

Nadaljnji namen prispevka je preizkus obrazcev oziroma natančnosti rezultatov, ki jih uporabljamo za izračun površine in volumna krošnje na osnovi dolžine sončne in dolžine senčne krošnje ter največjega premera krošnje. V prispevku izhajamo iz tega, da je najnatančnejša ocena za volumen in površino krošnje tista, ki temelji na metodi sekcij.



Slika 1: Nepopravljena fotografija bloka – vidna napaka perspektive. Fotografija je bila narejena v Šiški v Ljubljani (2005). (Foto: M. Polenšek)

Figure 1: Uncorrected picture of block – visible error of perspective. The photo was taken at Šiška in Ljubljana (2005).



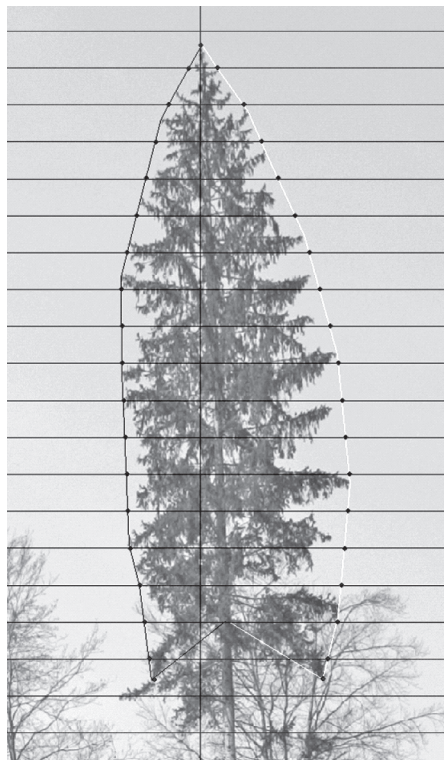
Slika 2: S programom PanoTool 2.6 popravljena fotografija – brez napake perspektive

Figure 2: Photo corrected with computer program PanoTool 2.6 – without perspective error.



Slika 3: Obris krošnje smreke, ki smo jo posneli v Podgozdu pozimi 2005.

Figure 3: Outline of spruce crown. Photo was taken at Podgozd in winter 2005.



Slika 4: Krošnja smreke, ki smo jo posneli v Podgozdu pozimi 2005, razdeljena na sekcije dolžine 1 m.

Figure 4: Spruce crown divided into sections 1 meter of length. The photo was taken at Podgozd in winter 2005.

V tem primeru krošnjo sekcioniramo na sekcije, ki imajo obliko trapeza in te trapeze rotiramo. Za oblikovanje sekcij pa moramo pred tem izdelati natančen naris krošnje. Za natančnejše rezultate je primerno, če imamo izdelana dva narisa krošnje, ki stojita pravokotno drug na drugega. Narise smo dobili na podlagi slik digitalne kamere.

Naslednji cilj prispevka je, da ugotovimo odvisnost širine (največji premer) krošnje od prsnega premera in višine drevesa pri bukvi in smreki. V prispevku analiziramo tudi odnose med posameznimi znaki, ki nam prikazujejo obliko in velikost krošnje.

3 METODA DELA

3.1 Določitev narisa krošnje drevesa in sekcij

Metodo dela pri ugotavljanju oblike in velikosti krošnje ter njeni grafični predstavitvi (narisu) smo

povzeli po Pyysalo (2004) ter jo prilagodili našim terenskim razmeram, razpoložljivim podatkom ter računalniškim programom.

Terensko delo smo opravili v sestojih na Dolenjskem v okolici Žužemberka, v Prekmurju v Redičkem gozdu nad Lendavo, v bližini Vodici pri Ljubljani ter na Pokljuki. Delali smo v zimskem času v mesecu februarju in marcu 2005, ko drevesa (bukev) niso bila olistana, ker smo tako lažje razločili posamezne krošnje v sestoji. Izbrali smo 12 bukev in 17 smrek ter jih razdelili v tri razširjene debelinske razrede:

- do pod 30 cm,
- od 30 do pod 50 cm in
- nad 50 cm.

Izbrana drevesa smo fotografirali z DSLR (digitalno zrcalno refleksno) kamero Olympus E-1, z objektivom Zuiko Digital 14-54 mm f 2,8-3,5. Kamero smo namestili na tripod, v oddaljenosti

30 ali 15 metrov od drevesa, odvisno od višine le tega. Kadar nam terenske razmere niso dopuščale tako velikih razdalj, smo jih ustrezno skrajšali. Za sam posnetek smo drevesa centriralni na sredino slike v pokončnem formatu. Goriščne razdalje so variirale od 14 do 25 mm oz. od 28 do 50 mm po 35-milimetrskem sistemu (širokokotni do normalni objektiv). Da smo lahko posneli celotno drevo na eno sliko, smo morali posneli celotno in izmeriti njegov nagib. Vsem drevesom smo izmerili tudi celotno višino in višino do začetka krošnje drevesa. Pri smreki smo za začetek krošnje vzeli prvi venec s tremi živimi vejami (VAN LAAR / AKCA 1997), pri bukvi pa prvo debelejšo vejo, nad katero sta bili vsaj dve živi veji. Poleg drevesa smo postavili referenčno palico (trasirko) dolžine dveh metrov, ki smo jo potrebovali pri obdelavi digitalnih fotografij. Če palice od tal nismo videli, smo jo dvignili za pol oz. cel meter. Kadar so nam terenske razmere dopuščale, smo celoten postopek ponovili z druge strani drevesa, približno pravokotno na prvo stran. Na ta način smo dobili dva narisa drevesa.

Vse fotografije dreves smo nato obdelali z računalniškimi programi. Zaradi širikotnega objektivna in nagnjenosti kamere je nastala napaka perspektive. Napako lahko zelo hitro opazimo pri ravnih linijah, predvsem arhitekturi (slika 1 in slika 2). Napako perspektive smo odpravili s programom PanoTool 2.6 za Adobe Photoshop CS, ki smo ga dobili na internetni strani.

Nadaljnje obdelave smo naredili v programu Idrisi 32 (EASTMAN 1999), kjer smo slike prevedli v metrični koordinatni sistem. Tako smo namesto v piksljih imeli vse točke na sliki podane s koordinatama x in y v metrih. Na vsakem drevesu smo določili oslonilne točke in sicer začetek drevesa, začetek krošnje ter vrh drevesa. Posebej smo oslonilne točke določili tudi na drevesih in v njihovi okolici. Pri tem smo si pomagali s trasirko, ki smo jo položili ob drevo pred fotografiranjem.

V zbirko podatkov smo za vse oslonilne točke zapisali koordinate s slike in pripisali koordinate oz. višino drevesa. Tu smo uporabili meritve, ki smo jih naredili na terenu. Ker smo želeli imeti koordinatno izhodišče na vrhu drevesa, smo vrh označili z $x = 0$ in $y = 0$, začetek drevesa

pa z izmerjeno višino. Vse slike v metričnem sistemu smo nastavili na enako velikost oz. na enako merilo.

Na sliki v metričnem sistemu (Idrisi 32) smo naredili obrise krošenj, in sicer posebej za levo in posebej za desno stran (slika 3). Začetek linije je bil vedno na vrhu drevesa. Obrisi smo izdelali za zunanji del krošnje in pri tem upoštevali glavne veje. Zaključili smo vedno na začetku krošnje. Na koncu smo krošnjo oz. obrise krošenj s pomočjo mrežnih črt razdelili na sekcije višine enega metra (slika 4). Prva sekcija na vrhu krošnje in zadnja sekcija na začetku krošnje sta bili ponavadi krajši. Prva je bila krajša, kadar so pri pretvorbi v metrični koordinatni sistem nastale manjše napake.

3.2 Izračun površine in volumna krošnje po sekcijah

Iz koordinat sekcij smo izračunali premere krošenj po višinah. Pri največjem premeru smo krošnjo razdelili na zgornji sončni in spodnji senčni del.

S sekcioniranjem razdelimo krošnjo na prisekane stožce, in če predpostavimo, da so narisi teh presekanih stožcev trapezi, potem sta obrazca za volumen in površino naslednja (KOTAR 2005):

$$V_c = \frac{\pi}{12} \sum_{k=1}^n (x_k - x_{k-1})(a_k^2 + a_k a_{k-1} + a_{k-1}^2) \quad (1)$$

$$P_c = \frac{\pi}{4} \left[a_0 + a_n + \sum_{k=1}^n \sqrt{4(x_k - x_{k-1})^2 + a_k^2 + a_{k-1}^2} \right] - 4a_0^2 a_{k-1}^2 \quad (2)$$

V_c - volumen krošnje,

P_c - površine krošnje.

Pri tem velja:

$$0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n$$

$$a_0 \geq 0; a_i \geq 0; a_n \geq 0$$

x_0 - višina, kjer se prične krošnja,

x_n - vrh krošnje,

a_0 - širina krošnje pri x_0 ,

a_n - širina krošnje pri x_n (na vrhu drevesa),

a_k - širina krošnje v višini krošnje x_k ,

n - število sekcij.

Dobljeni volumen in površino sončne in senčne krošnje posameznega drevesa smo sešteli in tako dobili volumen ter površino celotne krošnje drevesa.

3.3 Izračun volumna in površine krošnje z analitično funkcijo obrisa krošnje

3.3.1 Prikaz obrisa krošnje s funkcijo

Obris vsake krošnje smo razdelili na štiri dele, in sicer na levi in desni obris sončne krošnje ter levi in desni obris senčne krošnje. Zaradi nesimetričnosti obrisov smo imeli največje polmere za levo in desno stran krošnje na različnih višinah. Zato smo izračunali povprečje višine začetka krošnje ter povprečje višine največjih polmerov. Za ponazoritev obrisa krošnje smo uporabili funkcijo:

$$y = K \cdot x^p \quad (3)$$

$$K = \frac{c}{a^p}$$

$$a > 0$$

$$c > 0$$

$$p > 0$$

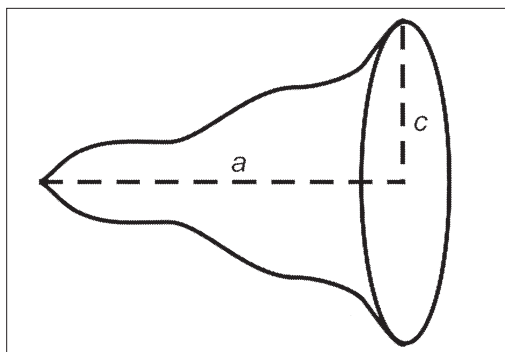
a - dolžina krošnje,

c - širina krošnje.

To funkcijo (3) smo logaritmirali, da smo dobili linearno obliko enačbe, nato pa prek linearne regresije izračunali parameter oziroma potenco p . V bistvu smo točkam na zunanjem robu sekcij prilagodili analitično funkcijo.

Za vsako krošnjo smo izračunali štiri vrednosti parametra p , in sicer za levi del sončne ter senčne krošnje in desni del sončne ter senčne krošnje. Kadar pa smo drevo fotografirali z dveh pozicij, smo za vsako krošnjo imeli na koncu osem vrednosti parametra p . S parametrom p prikažemo obliko vrtenine, ki ima za konturo potenčno krivuljo

$$y = Kx^p \text{ (enačba 3) (CEDILNIK 1997: 320).}$$



Slika 5: Vrtenina za izračun volumna in površine krošnje (CEDILNIK 2005).

Figure 5: Rotation body for calculation of volume and surface of crown (CEDILNIK 2005)

3.3.2 Izračun površine in volumna vrtenin

Za sam izračun volumna in površine krošnje po funkciji smo zavrteli vrtenino (slika 5) po naslednjih obrazcih (4, 5) (CEDILNIK 2005):

$$V_c = \pi \int_0^a K^2 x^{2p} dx \quad (4)$$

$$P_c = 2\pi K \int_0^a x^p \sqrt{1 + K^2 p^2 x^{2p-2}} dx \quad (5)$$

Iz integrala za volumen (4) smo izpeljali formulo za izračun volumna (6).

$$V_c(p) = \frac{\pi a c^2}{2p+1} \quad (6)$$

Površino krošnje izračunano s pomočjo dveh matematičnih enačb, in sicer prvo (7 za primere, ko je p večji od ena (neiloidna oblika), in drugo (8) za primere, ko je p manjši od ena (paraboloidna oblika). Obrazci za izračun površine so izpeljani tako, da smo obrazec (5) razvili v Taylorjevo vrsto in integrirali posamezne člene. Program za izračun površine nam je v Visual Basic Excel razvil Blaž Lenarčič.

$$P_c(p > 1) = \pi c^2 \frac{2p}{p+1} \sqrt{1 + \left(\frac{a}{cp}\right)^2} \left[1 - \frac{R}{(3p-1)} - \frac{1R^2}{(3p-1)(5p-3)} - \frac{1 \cdot 3 \cdot R^3}{(3p-1)(5p-3)(7p-5)} - \dots \right] \quad R = \frac{p-1}{1 + \left(\frac{a}{cp}\right)^2} \quad (7)$$

$$P_c(p < 1) = \pi c^2 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{cp}\right)^2} \left[1 - R - \frac{1R^2}{(2-p)} - \frac{1 \cdot 3 \cdot R^3}{(2-p)(3-2p)} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot R^4}{(2-p)(3-2p)(4-3p)} - \dots \right] \quad R = \frac{(1-p)\left(\frac{a}{cp}\right)^2}{2 \left[1 + \left(\frac{a}{cp}\right)^2 \right]} \quad (8)$$

Vrtenino smo zavrteli dvakrat za sončni in dvakrat za senčni del krošnje. Razlika je bila v polmeru krošnje, ker leva in desna stran krošnje nista bili enako široki. Zato smo na koncu za oba volumna in za obe površini sončne krošnje izračunali povprečje. Enako smo ponovili pri senčni krošnji.

3.4 Izračun volumna in površine krošnje na osnovi premera in dolžine krošnje

Pri pregledu literature smo opazili, da so mnogi raziskovalci opisovali obliko krošnje kot stožec in kot paraboloid. Zato smo za primerjavo izračunali volumne krošnje po enačbi za stožec (9) ter za paraboloid (10).

$$V_c = \frac{\pi}{12} cw^2 cl \quad (9)$$

$$V_c = \frac{\pi}{10} cw^2 cl \quad (10)$$

cw - premer krošnje
 cl - dolžina krošnje

Pri površini pa smo se odločili za enačbo enakostraničnega stožca (11) ter za enačbo, ki sta jo predlagala Laar in Akca (1997, cit. po KOTAR 2005) (12). Ta naj bi dala nekoliko boljše rezultate kot enačba paraboloida.

$$P_c = \frac{\pi}{4} cw \sqrt{4cl^2 + cw^2} \quad (11)$$

$$P_c = \frac{\pi cw}{12cl^2} \left[\left(4cl^2 + \frac{1}{4} cw^2 \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{cw^3}{8} \right] \quad (12)$$

3.5 Odvisnost med premerom krošnje in premerom debla

Med premerom krošnje in premerom debla drevesa obstaja alometrijska povezava, ker predpostavimo, da je relativni prirastek širine krošnje proporcionalen relativnemu povečanju prsnega premera (KOTAR 1979).

$$\frac{d(cw)}{dt} \cdot \frac{1}{cw} = b \cdot \frac{d(dbh)}{dt} \cdot \frac{1}{dbh} \quad (13)$$

Z razrešitvijo te diferencialne enačbe dobimo znano alometrijsko funkcijo (potenčno funkcijo)

$$cw = a(dbh)^b \quad (14)$$

To funkcijo (14) smo uporabili za prikaz odvisnosti med obema znakoma. Poleg te funkcije pa smo uporabili še funkcije 15, 16 in 17, ki so večparametrške in vključujejo tudi višino drevesa:

$$cw = a \frac{(dbh)^b}{h} \quad (15)$$

$$cw = e^{\left(a_1 + a_2 \ln(dbh) + a_3 h + a_4 \ln\left(\frac{h}{dbh}\right) \right)} \quad (16)$$

$$cw = a_1 + a_2 \left(\frac{h}{dbh} \right) + a_3 (dbh) + a_4 h \quad (17)$$

cw - premer krošnje,
 dbh - prsni premer drevesa,
 h - višina drevesa.

3.6 Izračun kazalcev oblike in velikosti drevesne krošnje

Na osnovi vrednosti posameznih dimenzij drevesa smo za bukev in smreko ugotavljali naslednje kazalce po treh razširjenih debelinskih razredih:

- delež krošnje v višini drevesa oz. relativno dolžino krošnje ($cl : h$),
- širino krošnje (cw),
- delež sončne krošnje v dolžini krošnje,
- tršatost krošnje ($cw : cl$),
- razmerje krošnja – višina drevesa ($cw : h$),
- razmerje prsni premer debla in premer krošnje ($dbh : cw$) ter premer krošnje in prsni premer debla ($cw : dbh$),
- asimetrijo krošnje po obrazcu (18):

$$\frac{(cr_l - cr_r)}{cr_l + cr_r} \cdot 100 \quad (18)$$

cr_l - manjši polmer krošnje, kjer je krošnja najširša,

cr_r - večji polmer krošnje, kjer je krošnja najširša.

4 REZULTATI

4.1 Osnovni kazalci oblike analiziranih dreves

V preglednici 1 in 2 so prikazani povprečni osnovni znaki po treh razširjenih debelinskih razredih, ki ponazarjajo obliko in velikost krošnje pri bukvi in smreki.

Preglednica 1: Povprečni osnovni kazalci oblike krošnje pri bukvah po razširjenih debelinskih razredih. (N = 12)
Table 1: Average primary descriptors of tree crown shape for beech by diameter classes (N = 12).

	cl:h	cw [m]	cl _{so} :cl	cw:cl	cw:h	cw:dbh	dbh:cw	asimetrija
< 30	0,43	4,9	0,48	0,58	0,24	21,68	0,05	0,43
30 - 50	0,46	9,0	0,46	0,63	0,28	20,86	0,05	0,36
≥ 50	0,45	12,2	0,52	0,70	0,31	19,64	0,05	0,33

Preglednica 2: Povprečni osnovni kazalci oblike krošnje pri smrekah po razširjenih debelinskih razredih. (N = 17)
Table 2: Average primary descriptors of tree crown shape for spruce by diameter classes (N = 17).

	cl:h	cw [m]	cl _{so} :cl	cw:cl	cw:h	cw:dbh	dbh:cw	asimetrija
< 30	0,78	5,40	0,79	0,50	0,40	23,62	0,04	0,08
30 - 50	0,48	5,61	0,65	0,38	0,18	14,21	0,07	0,21
≥ 50	0,54	8,72	0,66	0,45	0,24	13,55	0,07	0,08

- cl : h - delež krošnje v višini drevesa oz. relativna dolžina krošnje,
 cw - širina krošnje,
 cl_{so}:cl - delež sončne krošnje v dolžini krošnje,
 cw : cl - tršatost krošnje,
 cw : h - delež krošnje v višini drevesa,
 dbh : cw - razmerje prsni premer debla in premer krošnje,
 cw : dbh - razmerje premer krošnje in prsni premer debla.

Že na prvi pogled lahko opazimo, da se tako pri bukvah kot pri smrekah kazalci oblike krošnje spreminjajo po razširjenih debelinskih razredih. Pri bukvah v povprečju zavzema krošnja malo manj kot polovico višine drevesa v vseh razširjenih debelinskih razredih. Smreke pa imajo v prvem razširjenem debelinskem razredu daljšo krošnjo (78 %), v drugih dveh pa tako kot bukev blizu polovice višine drevesa. V prvem razširjenem debelinskem razredu ima smreka (5,4 m) širšo krošnjo kot bukev (4,9 m), v drugih dveh pa ima bukev širšo. Pri smreki je v prvih dveh razredih razlika v širinah manjša, pri bukvah pa večja. Deleži sončne krošnje glede na njeno dolžino so večji pri smrekah kot pri bukvah. Pri teh so deleži v vseh razširjenih debelinskih razredih približno enaki in znašajo polovico krošnje. Pri smrekah je v prvem razširjenem debelinskem razredu delež največji (79 %), v drugih dveh pa je delež 65 % oz. 66 %.

Tršatost krošnje oz. razmerje med širino in dolžino krošnje se pri bukvi po razširjenih debelinskih razredih poveča od 0,58 do 0,70, pri smreki v drugem razredu pade z 0,50 na 0,38, v tretjem pa se poveča na 0,45. Razmerje med širino kroš-

nje in višino drevesa se pri bukvi po razširjenih debelinskih razredih poveča od 0,24 do 0,31, pri smreki pa je v prvem razredu največje (0,40), v drugem 0,18 in v tretjem 0,24. Razmerje med širino krošnje in prsnim premerom debla je pri obeh vrstah veliko in pri obeh se nekoliko zmanjšuje po razširjenih debelinskih razredih, pri smreki pa je zmanjšanje med prvima dvema razredoma nekoliko večje. Razmerje med prsnim premerom debla in premerom krošnje je pri bukvah v vseh razširjenih debelinskih razredih enako 0,05, pri smrekah pa je v prvem razredu 0,04, v drugih dveh pa 0,07. Asimetrija krošnje je večja pri bukvah in se po razširjenih debelinskih razredih zmanjšuje od 0,43 do 0,33. Pri smreki je v prvem in tretjem razredu zelo majhna in enaka 0,08, v drugem pa se poveča na 0,21. Tako pri bukvi kot pri smreki so odstopanja pri asimetriji znotraj razširjenih debelinskih razredov velika.

4.2 Volumen in površina krošnje, izračunana po sekcijah

Iz sekcij oz. obrisa krošnje smo izračunali volumen in površino, posebej za sončni in posebej za senčni del, na koncu pa oba dela sešteli. Za bukve

Preglednica 3: Volumni in površine krošenj pri bukvah, izračunani po sekcijah (N = 12).

Table 3: Volume and surface calculated by crown sections for beeches (N = 12).

Razširjeni debelinski razred [cm]	Drevo	Volumen				Površina				
		Krošnja [m ³]			Delež sončne krošnje [%]	Krošnja [m ²]			Delež sončne krošnje [%]	
		Sončna	Senčna	Skupaj		Sončna	Senčna	Skupaj		
< 30	2 a	118,2	28,9	147,1	80,4	126,5	48,2	174,7	72,4	
	2 b	46,2	63,3	109,6	42,2	60,8	73,1	133,9	45,4	
	11	60,2	67,7	127,9	47,0	67,8	80,4	148,1	45,7	
	12	4,4	13,6	18,0	24,4	15,3	28,4	43,8	35,0	
	Skupaj	57,3	43,4	100,6	56,9	67,6	57,5	125,1	54,0	
30 - 50	1	305,5	300,2	605,7	50,4	198,8	182,6	381,5	52,1	
	3 a	267,7	138,8	406,5	65,9	200,6	109,0	309,6	64,8	
	3 b	37,7	259,6	297,3	12,7	65,6	204,4	270,0	24,3	
	4 a	82,8	289,7	372,5	22,2	84,3	194,2	278,5	30,3	
	4 b	206,5	446,8	653,3	31,6	147,8	250,7	398,6	37,1	
	5 a	308,7	93,9	402,6	76,7	245,5	89,8	335,3	73,2	
	5 b	165,3	235,2	400,5	41,3	126,5	174,4	300,9	42,0	
	6 a	285,3	593,7	879,0	32,5	185,3	287,5	472,8	39,2	
	6 b	289,9	297,8	587,7	49,3	202,5	203,2	405,7	49,9	
	7	133,2	277,7	410,9	32,4	114,9	186,2	301,2	38,2	
	Skupaj	208,3	293,3	501,6	41,5	157,2	188,2	345,4	45,5	
	≥ 50	8 a	295,1	389,8	685,0	43,1	190,9	214,9	405,8	47,1
		8 b	461,5	357,8	819,3	56,3	255,2	184,2	439,4	58,1
9 a		853,5	894,9	1748,5	48,8	380,5	334,9	715,4	53,2	
9 b		1310,3	1902,0	3212,3	40,8	656,2	501,4	1157,7	56,7	
10 a		335,0	400,8	735,8	45,5	211,1	203,7	414,8	50,9	
10 b		236,0	330,3	566,2	41,7	174,9	238,2	413,1	42,3	
Skupaj		581,9	712,6	1294,5	45,0	311,5	279,6	591,0	52,7	

so rezultati podani v preglednici 3, za smreke pa v preglednici 4. Drevesa, ki so bila fotografirana z dveh pozicij, imajo posebej podane izračune za stran a in stran b.

Primerjava med obema vrstama pokaže, da sta povprečni volumen in povprečna površina krošnje v prvem razširjenem debelinskem razredu večji pri smreki, v ostalih dveh razredih pa sta večji pri bukvi. Delež sončne krošnje glede na volumen in glede na površino je pri smreki večji kot pri bukvi. Pri bukvi je povprečni volumen celotne krošnje v prvem razširjenem debelinskem razredu manjši kot povprečna

površina, v drugih dveh razredih pa je povprečni volumen večji.

V primerih, ko smo izračunali volumne in površine krošenj na osnovi dveh narisov krošenj, ki sta pravokotna drug na drugega (2a, 2b; 3a, 3b; 4a, 4b), vidimo, da so razlike med volumni kot tudi med površinami krošenj znotraj istega drevesa (2a:2b; 3a:3b; itd.) zelo velike pri bukvi in razmeroma majhne pri smreki. Iz tega lahko sklepamo, da moramo pri bukvi pri določevanju volumna in površine krošnje uporabiti dva narisa krošnje, sicer so rezultati obremenjeni s preveliko napako.

Preglednica 4: Volumni in površine krošenj pri smrekah, izračunani po sekcijah (N = 17).

Table 4: Volume and surface calculated by crown sections for spruces (N = 17).

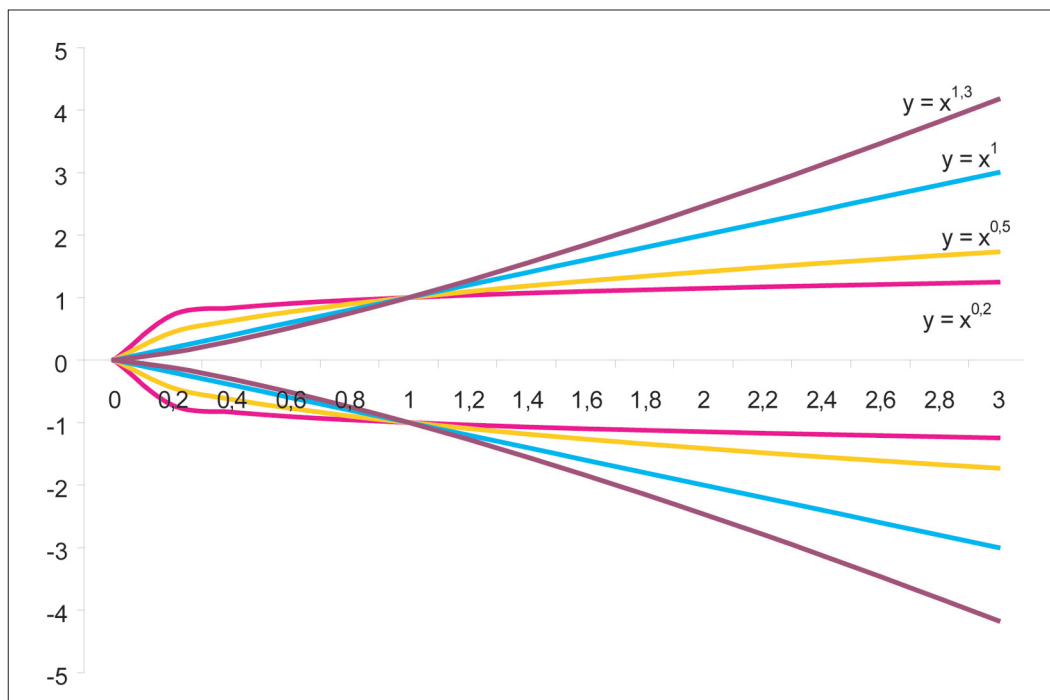
Razširjeni debelinski razred [cm]	Drevo	Volumen				Površina			
		Krošnja [m ³]			Delež sončne krošnje [%]	Krošnja [m ²]			Delež sončne krošnje [%]
		Sončna	Senčna	Skupaj		Sončna	Senčna	Skupaj	
< 30	3 a	97,8	35,7	133,5	73,3	112,8	38,9	151,7	74,3
	3 b	79,7	72,2	151,9	52,5	104,7	76,4	181,1	57,8
	11 a	50,6	12,5	63,1	80,2	73,7	26,8	100,5	73,4
	11 b	54,2	0,0	54,2	100,0	75,0	4,0	79,1	94,9
	12 a	107,6	0,0	107,6	100,0	108,5	4,9	113,3	95,7
	12 b	93,6	150,3	243,9	38,4	98,1	51,1	149,2	65,8
	13 a	99,5	19,2	118,7	83,8	115,2	8,1	123,3	93,4
	13 b	63,4	85,4	148,8	42,6	89,1	34,8	124,0	71,9
	14 a	103,5	35,3	138,9	74,6	117,7	12,8	130,5	90,2
	14 b	156,4	76,0	232,4	67,3	149,5	27,3	176,8	84,5
	17 a	131,9	78,7	210,7	62,6	124,9	21,5	146,4	85,3
	17 b	120,6	191,2	311,8	38,7	118,2	58,1	176,3	67,0
	Skupaj	96,6	63,1	159,6	60,5	107,3	30,4	137,7	77,9
30 - 50	1 a	260,0	122,5	382,6	68,0	225,5	121,0	346,6	65,1
	1 b	317,2	171,3	488,5	64,9	225,5	121,0	346,6	65,1
	4	196,4	122,0	318,4	61,7	171,6	98,0	269,6	63,6
	5	172,5	100,6	273,1	63,2	151,2	89,5	240,6	62,8
	6	52,3	52,9	105,2	49,7	67,7	53,8	121,5	55,7
	7	146,9	74,5	221,3	66,4	143,1	78,5	221,6	64,6
	10	111,7	43,4	155,0	72,0	117,3	50,2	167,5	70,0
	16 a	132,8	131,6	264,4	50,2	128,9	39,7	168,7	76,5
	16 b	137,1	213,1	350,3	39,1	140,0	68,6	208,6	67,1
	Skupaj	169,7	114,7	284,3	59,7	152,3	80,1	232,4	65,5
≥ 50	2 a	243,2	147,4	390,6	62,3	181,7	99,5	281,2	64,6
	2 b	222,3	149,5	371,7	59,8	175,7	99,3	275,0	63,9
	8	502,6	644,6	1147,3	43,8	278,2	310,3	588,5	47,3
	9	483,9	163,0	646,9	74,8	299,0	93,7	392,6	76,1
	15 a	414,7	292,2	706,9	58,7	266,4	54,2	320,6	83,1
	15 b	451,7	867,3	1319,1	34,2	277,4	177,0	454,4	61,0
	Skupaj	386,4	377,3	763,7	50,6	246,4	139,0	385,4	63,9

4.3 Volumen in površina krošnje, izračunana s pomočjo analitične funkcije

Za vsako drevo smo izračunali štiri parametre oz. potence p , in sicer za sončno in senčno krošnjo ter levo in desno stran drevesa ter ugotovili, da se vrednosti p zelo razlikujejo pri posameznih drevesih. Pri bukvi je povprečen p za sončno krošnjo v prvem razširjenem debelinskem razredu 0,881, v drugem 0,843 in v tretjem 0,773. Za senčno krošnjo pa je v prvem razredu 0,438, v drugem 0,274 in tretjem 0,096. Pri smreki je povprečen p za sončno krošnjo v prvem razširjenem debelinskem razredu enak 0,883, v drugem 0,796 in tretjem 0,863, za senčno krošnjo pa so vrednosti po razširjenih debelinskih razredih naslednje: 0,115, 0,105 in 0,106.

Pri primerjavi volumnov in površin sončne in senčne krošnje, izračunanih po analitični funkciji s tistimi, ki smo jih izračunali po sekcijah krošnje, smo ugotovili, da so tako pri bukvi kot pri smreki v povprečju velika odstopanja. Vendar, ko pri-

merjamo volumne in površine celotnih krošenj, so ta odstopanja veliko manjša (preglednica 5 in 6). Pri bukvi so največja odstopanja pri volumnu krošenj, in to po vseh treh razširjenih debelinskih razredih, v vseh treh razredih pa je volumen krošnje precenjen. V prvem razširjenem debelinskem razredu znaša povprečno odstopanje 49,8 %, v drugem pade na 23,3 %, v tretjem pa se zmanjša na 20,2 %, skupno povprečje je tako 31,1 %. Pri površinah so odstopanja veliko manjša. V prvem razredu znaša 5,2 %, v drugem –3,8 %, v tretjem pa je nekoliko večje (11,5 %). Skupno povprečno odstopanje površine pri bukvah je 4,3 %. Pri smreki so odstopanja pri volumnu veliko manjša kot pri bukvi. V prvem razširjenem debelinskem razredu znaša odstopanje –13,3 %, v drugem –8,8 % in v tretjem –16,3 %. Za razliko od bukev so tu volumni podcenjeni, skupno povprečno odstopanje pa je –12,8%. Pri površinah po razširjenih debelinskih razredih so odstopanja nekoliko večja kot pri bukvah, in sicer v prvem razredu 8,4 %, v drugem –7,0 % in v tretjem –5,5 %. Skupno povprečno odstopanje pa je manjše (–1,4 %).



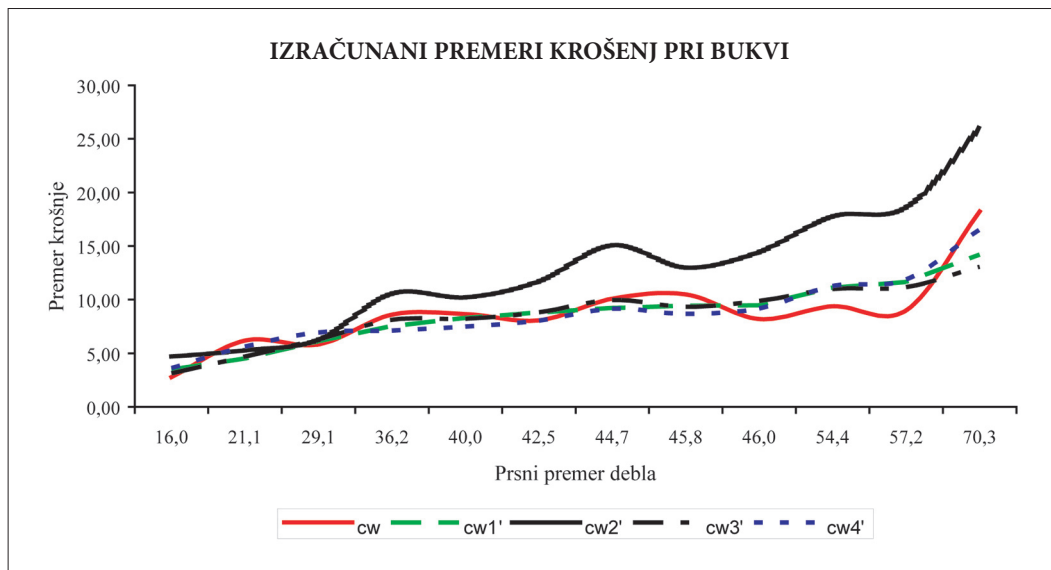
Slika 6: Oblika potenčne funkcije pri $p = 0,2$, $p = 0,5$, $p = 1$ in $p = 1,3$.

Figure 6: Shape of potential function at $p = 0,2$, $p = 0,5$, $p = 1$ and $p = 1,3$.

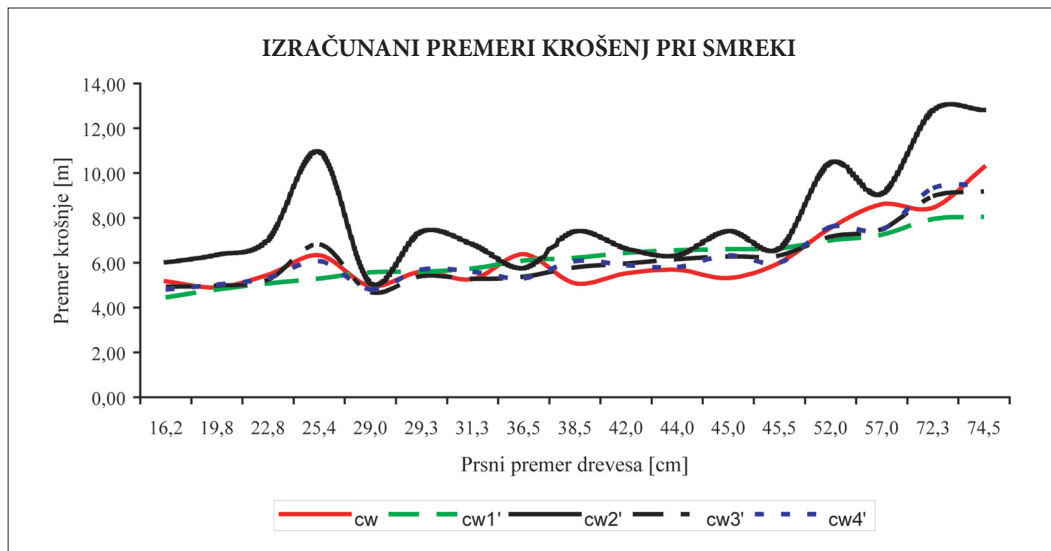
4.4 Izračun volumna in površine krošnje na osnovi premera in dolžine krošnje

Pri izračunu volumnov in površin krošenj pri bukvi in smreki na osnovi premera in dolžine krošnje smo ugotovili, da od volumnov in površin, izračunanih s pomočjo sekcij krošenj, najbolj

odstopa oblika stožca, in sicer so vse vrednosti podcenjene. Enako so podcenjene tudi vrednosti, dobljene z enačbo za paraboloid in z enačbo, ki sta jo predlagala Van Laar in Akca (1997, cit. po KOTAR 2005). Ta odstopanja so prikazana v preglednicah 5 in 6. Pri večini se najboljše prilagajajo vrednosti, izračunane preko analitične



Slika 7: Izračunani največji premeri krošenj pri bukvah (N = 12).
 Figure 7: Calculated maximal crown diameters for beeches (N = 12).



Slika 8: Izračunani največji premeri krošenj pri smrekah (N = 17).
 Figure 8: Calculated maximal crown diameters for spruces (N = 17).

Preglednica 5: V odstotkih prikazana odstopanja volumnov in površin za vrtenine in enačbe na osnovi premera in dolžine krošnje od rezultatov dobljenih z metodo sekcioniranja za bukve. Odstopanja so izračunana po enačbah 19 in 20.

Table 5: Deviations of volumes and surfaces for rotation bodies and equations (shown as percentage) based on diameter and crown length from the results obtained with the method of sectioning crowns for beeches. Deviations were calculated with equations 19 and 20.

Razširjeni debelinski razred	Drevo	Odstopanje volumna			Odstopanje površine		
		[%]			[%]		
		Vrtenina	Stožec	Paraboloid	Vrtenina	Stožec	Laar-Akca
< 30	2 a	-4	-27	-12	-17	-39	-20
	2 b	23	-33	-20	-10	-35	-15
	11	130	-22	-6	32	-32	-10
	12	10	-43	-32	-3	-48	-31
30 - 50	1	13	-33	-20	0	-35	-16
	3 a	-3	-26	-12	-8	-32	-10
	3 b	75	-31	-18	13	-38	-18
	4 a	14	-47	-37	9	-42	-24
	4 b	3	-51	-41	-2	-47	-31
	5 a	20	-24	-9	-31	-34	-13
	5 b	2	-43	-32	-42	-39	-19
	6 a	41	-44	-33	12	-40	-22
	6 b	14	-43	-31	-7	-42	-24
	7	44	-36	-24	5	-36	-16
≥ 50	8 a	49	-57	-48	8	-47	-31
	8 b	-8	-51	-42	-5	-43	-25
	9 a	9	-47	-36	8	-40	-22
	9 b	39	-22	-7	20	-33	-15
	10 a	-6	-51	-41	30	-42	-23
	10 a	38	-30	-15	8	-32	-10

funkcije. Edino pri tanjših bukvah (dbh < 30 cm) se, pri izračunu volumnov krošenj, bolje prilagaja formula za paraboloid.

Odstopanja oziroma napako smo izračunali po naslednjem obrazcu:

$$\text{Napaka}(V_v) = \frac{V_v - V_s}{V_s} \cdot 100 \quad (19)$$

$$\text{Napaka}(P_v) = \frac{P_v - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (20)$$

V_s - volumen krošnje, ki smo ga izračunali na osnovi sekcij,

V_v - volumen krošnje, ki smo ga izračunali na osnovi vrtenine,

P_s - površina krošnje, ki smo jo izračunali na osnovi sekcij,

P_v - površina krošnje, ki smo jo izračunali na osnovi vrtenine.

Analogno smo izračunali tudi napako, kjer smo izračunali volumen in površino krošnje na osnovi širine in dolžine krošnje.

4.5 Odvisnost med premerom krošnje in premerom debla ter višino drevesa

4.5.1 Odvisnost med premerom krošnje in premerom debla ter višino drevesa pri bukvi

Pri izračunu odvisnosti med največjim premerom krošnje, prsnim premerom drevesa in drevesno višino smo preizkusili štiri funkcije.

Prvi premer ($cw1'$) smo izračunali po alometrijski funkciji - enačba 14 ($R = 0,908$):

$$cw = 0,248 \cdot (dbh)^{0,952}$$

Preglednica 6: V odstotkih prikazana odstopanja volumnov in površin za vrtenine in enačbe na osnovi premera in dolžine krošnje od rezultatov dobljenih z metodo sekcioniranja za smreke. Odstopanja so izračunana po enačbah 19 in 20.

Table 6: Deviations of volumes and surfaces for rotation bodies and equations (shown as percentage) based on diameter and crown length from the results obtained with the method of sectioning crowns for spruces. Deviations were calculated with equations 19 and 20.

Razširjeni debelinski razred	Drevo	Odstopanje volumna			Odstopanje površine			
		[%]			[%]			
		Vrtenina	Stožec	Paraboloid	Vrtenina	Stožec	Laar-Akca	
< 30	3 a	-7	-35	-22	-6	-32	-10	
	3 b	-8	-39	-27	-12	-36	-14	
	11 a	15	-8	10	-5	-30	-8	
	11 b	37	3	24	26	-13	14	
	12 a	12	-12	5	17	-16	11	
	12 b	-43	-59	-51	-5	-34	-14	
	13 a	-8	-32	-18	13	-23	2	
	13 b	-40	-59	-51	-7	-34	-13	
	14 a	-16	-40	-28	5	-23	3	
	14 b	-33	-51	-41	63	-32	-10	
	17 a	-12	-49	-38	26	-22	3	
	17 b	-56	-72	-67	-14	-43	-25	
	30 - 50	1 a	1	-44	-33	-2	-37	-17
		1 b	0	-46	-35	2	-31	-9
4		-2	-48	-38	-28	-38	-17	
5		-19	-54	-44	-12	-43	-25	
6		-3	-42	-30	-2	-39	-19	
7		9	-43	-31	-6	-37	-16	
10		-13	-41	-30	-12	-37	-16	
16 a		-20	-49	-38	27	-13	15	
16 b		-48	-72	-67	-5	-43	-24	
≥ 50		2 a	-4	-42	-30	1	-34	-13
	2 b	8	-30	-16	-34	-23	3	
	8	-9	-47	-36	-7	-38	-18	
	9	-27	-44	-33	-12	-34	-13	
	15 a	-14	-50	-40	30	-18	8	
	15 b	-48	-70	-64	-3	-38	-18	

Drugi premer ($cw2'$) smo izračunali po enačbi 15 ($R = 0,909$):

$$cw = 0,228 \frac{(dbh)}{h} (dbh)^{0,986}$$

Tretji premer ($cw3'$) smo izračunali po enačbi 16 ($R = 0,917$):

$$cw = e^{\left(-3,546+1,975 \ln(dbh)+(-0,043)h+0,916 \ln\left(\frac{h}{dbh}\right)\right)}$$

Četrti premer ($cw4'$) smo izračunali po enačbi 17 ($R = 0,909$):

$$cw = -15,592 + 21,905 \left(\frac{h}{dbh}\right) + 0,633(dbh) + (-0,613)h$$

dbh - prsni premer debla,

h - višina drevesa,

cw - izmerjeni največji premer krošnje,

$cw1'$ - največji premer krošnje po enačbi 14,

$cw2'$ - največji premer krošnje po enačbi 15,

$cw2'$ - največji premer krošnje po enačbi 16,

$cw2'$ - največji premer krošnje po enačbi 17.

Vse štiri enačbe se pri bukvi dokaj dobro prilagajajo. Od prvotne vrednosti najmanj odstopajo premeri krošnje $cw3'$ ($R = 0,917$), ki smo jih izračunali po enačbi 16. Premeri pod $cw2'$ in $cw4'$ imajo $R = 0,909$, najmanjši $R = 0,908$, pa imajo premeri $cw1'$, izračunani preko alometrijske funkcije. Vendar so razlike med koeficienti R zelo majhne, zato zaključujemo, da je pri bukvi širina krošnje tesno povezana s prsnim premerom debla.

4.5.2 dvisnost med premerom krošnje in premerom debla ter višino drevesa pri smreki

Enako kot pri bukvi smo tudi pri smreki preizkusili štiri enačbe za izračun največjega premera krošnje pri bukvi.

Prvi premer ($cw1'$) smo izračunali po alometrijski funkciji - enačba 14 ($R = 0,761$):

$$cw = 1,506 \cdot (dbh)^{0,388}$$

Drugi premer ($cw2'$) smo izračunali po enačbi 15 ($R = 0,885$):

$$cw = 1,256 \frac{(dbh)}{h} (dbh)^{0,388}$$

Tretji premer ($cw3'$) smo izračunali po enačbi 16 ($R = 0,904$):

$$cw = e^{\left(1,369 + (-0,169) \ln(dbh) + 0,025h + (-0,927) \ln\left(\frac{h}{dbh}\right)\right)}$$

Četrti premer ($cw4'$) smo izračunali po enačbi 17 ($R = 0,912$):

$$cw = 4,510 + (-1,374) \left(\frac{h}{dbh}\right) + 0,107(dbh) + (-0,058)h$$

Pri smreki vsi štirje načini izračuna premerov krošnje kažejo na manj tesno odvisnost. Najbolj natančni so premeri, ki smo jih izračunali po enačbi 17 ($cw4'$, $R = 0,912$). Nekoliko slabše se prilagajajo premeri izračunani po enačbi 16 ($cw3'$, $R = 0,904$), premeri izračunani po enačbi 15 pa imajo $R = 0,885$ ($cw2'$). Tudi pri smreki kot pri bukvi se premeri krošenj, ki so izračunani preko alometrijske enačbe najslabše prilagajajo ($R = 0,761$). Odvisnost med maksimalno širino krošnje in prsnim premerom pri smreki ni toliko tesna kot pri bukvi. Pri obeh drevesnih vrstah so v vseh štirih primerih največja odstopanja pri večjih prsnih premerih.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Primerjava volumnov in površin, izračunanih po analitični funkciji z volumni in površinami, izračunanimi s pomočjo sekcij krošenj, je pokazala, da so odstopanja velika, če primerjamo sončno in senčno krošnjo posebej. Kadar pa primerjamo celotno krošnjo, so odstopanja veliko manjša. Razlog za to je največkrat v tem, da en del krošnje precenimo, drugega pa podcenimo, v povprečju celotne krošnje pa se rezultati izravnavajo. Največja odstopanja so nastala pri izračunu volumna krošnje. Pri bukvi je bilo odstopanje največje, krošnjo pa smo močno precenili (31,1 %). Pri smreki smo krošnjo podcenili, vendar je odstopanje manjše kot pri bukvi (-12,8 %). Pri izračunu površine krošnje so pri obeh vrstah nastala veliko manjša odstopanja. Tudi tu smo slabše rezultate dobili pri bukvi, kjer smo krošnjo zopet nekoliko precenili (4,3 %). Pri smreki pa smo površino krošnje podcenili le za -1,4 %.

Izračun volumna in površine krošnje z uporabo enačb na osnovi premera in dolžine krošnje je pokazal, da rezultati v povprečju veliko bolj odstopajo kot volumni in površine, izračunani po analitični funkciji. S predpostavko, da ima krošnja stožčasto obliko, smo dobili najslabše rezultate, krošnje pa smo močno podcenili tako pri izračunu volumna kot površine.

Na osnovi rezultatov, ki smo jih dobili s pomočjo analitične funkcije ($y = Kx^p$) ter rezultatov, ki smo jih dobili s pomočjo obrazcev, ki so uveljavljeni v gozdarski stroki (izračun volumna in površine krošnje na osnovi premera in dolžine krošnje) ugotavljamo, da so izračunane vrednosti volumna in površine krošnje na osnovi širine in dolžine krošnje premalo natančne za posamezno drevo. Zato je vsako izračunavanje posameznega drevesa glede na velikost krošnje (volumen in površina), ki je ugotovljena na osnovi širine in dolžine krošnje neustrezno oziroma premalo natančno. Najnatančnejša metoda je ugotavljanje velikosti krošnje (njene volumna in površine) s pomočjo dveh narisov krošnje, ki jih dobimo prek digitalne kamere ali pa krošnjemera (*crown window*). Vendar je ta metoda v gostih sestojih v večini primerov neuporabna, ker narisa krošnje ne moremo posneti. Zato je v teh primerih uporabna metoda določanja velikosti krošnje z uporabo

analitične funkcije $y = Kx^p$, kjer določimo posebej p za spodnji, tj. senčni in posebej za zgornji, tj. sončni del krošnje. Za določitev p pa potrebujemo dolžino krošnje, tj. dno in vrh krošnje, širino krošnje (maksimalni premer krošnje) ter višino drevesa, kjer ima krošnja največji premer ter še dva premera krošnje v poljubni višini krošnje, s tem, da je en premer ugotovljen v sončnem, drug pa v senčnem delu krošnje.

Pri izračunu odvisnosti med premerom krošnje in premerom debla ter višino drevesa smo ugotovili, da lahko le to dovolj dobro podamo z uporabljenimi funkcijami, največja odstopanja pa so pri večjih prsnih premerih debla. Pri bukvi so bile ocene boljše kot pri smreki. Z alometrijsko funkcijo, ki nam podaja odvisnost med širino krošnje in prsnim premerom drevesa, smo dobili dobre ocene premerov krošnje, ki so bile najboljše pri bukvi ($R = 0,908$), pri smreki pa malo slabše ($R = 0,761$). Glede na ostale tri funkcije se je alometrijska najslabše prilagajala, kar je razumljivo, saj je edina odvisna le od prsnega premera drevesa.

Pri izračunu osnovnih kazalcev drevesne krošnje smo ugotovili, da se po razširjenih debelinskih razredih skoraj vsi spreminjajo. Najmanjše spremembe so pri bukvi pri deležu sončne krošnje ter razmerju med prsnim premerom drevesa in premerom krošnje. Delež krošnje v višini drevesa pri bukvi je v povprečju 44,7 %, brez večjih odstopanj po razširjenih debelinskih razredih. Pri smreki je pri drevesih, ki imajo prsni premer debla manjši od 30 centimetrov, delež krošnje v višini drevesa 78 %, pri ostalih pa v povprečju 51 %. Širina krošnje se po razširjenih debelinskih razredih povečuje, največja je pri bukvi, razen v prvem razširjenem debelinskem razredu, kjer je večja pri smreki. Deleži sončne krošnje, glede na dolžino krošnje, so večji pri smrekah kot pri bukvah. Pri bukvah zavzema sončna krošnja v povprečju 48,7 % (1/2) krošnje in se po razširjenih debelinskih razredih praktično ne spreminja. Pri smreki zavzema sončna krošnja v prvem razširjenem debelinskem razredu 79 %, v drugih dveh pa 65,5 % oz. 2/3 krošnje. Razmerje med širino krošnje in dolžino krošnje ter razmerje med širino krošnje in višino drevesa se je pri bukvi po razširjenih debelinskih razredih povečalo, pri smreki pa so

vrednosti po razredih nihale. Asimetrija krošnje je največja pri bukvah, po razširjenih debelinskih razredih se zmanjšuje. Pri smreki je asimetrija največja v drugem razredu. Tako pri bukvi kot pri smreki so odstopanja pri asimetriji znotraj razširjenih debelinskih razredov velika.

6 POVZETEK

Dolžina in razporeditev vej določa obliko krošnje, ki je pogojena tako z dedno osnovo kot vplivi okolja. V sestoji razvijejo drevesa zelo različno, nepravilno in nesimetrično krošnjo, kar je predvsem posledica gostote sestoja oz. večje ali manjše konkurence. Pri proučevanju drevesnih krošenj v sestoji zato pogosto nastopijo težave pri določanju oblike in velikosti krošnje za posamezne drevesne vrste.

V želji, da dobimo čim več podatkov o dimenzijah krošnje, smo preizkusili metodo fotografiranja dreves s tal z digitalno kamero. Metodo je na Finskem razvila Pyysalo (2004), mi pa smo jo priredili za naše razmere. Fotografirali smo celotna drevesa z razdalje 30 oz. 15 metrov. Izbrana drevesa smo posneli v močno redčenih sestojih in na posekah, zato da jih sosednja drevesa niso zastirala. S pomočjo računalniških programov smo fotografije obdelali, prevedli v metrični sistem ter enotno merilo. Nato smo naredili obrise krošenj ter jih razdelili na sekcije. Izmerili smo njihove dimenzije ter izračunali velikost (volumen in površino) krošnje pri posameznem drevesu. Krošnje smo razdelili na zgornji sončni in spodnji senčni del. Obliko in velikost krošnje smo proučevali pri bukvi in smreki po treh razširjenih debelinskih razredih. Z ozirom na precejšnje nihanje posameznih parametrov, ki ga pogosto ne znamo interpretirati, se je potrebno zavedati, da je vzorec v dani raziskavi relativno majhen in v določenih pogledih precej heterogen.

Za natančen izračun volumna in površine krošnje smo le te razdelili na sekcije in izračunali površine in volumne preko rotirajočih trapezov. Ker pa je v sestoji pogosto zelo težko in v nekaterih primerih praktično nemogoče dobiti dovolj podatkov za sekcioniranje krošnje, smo obliko prikazali tudi z analitičnimi funkcijami. Pri primerjavi smo ugotovili, da ima vsaka krošnja svojo posebno obliko, zato je ne moremo

vedno posplošiti v preproste matematične enačbe. Analitična funkcija se je pri izračunu površine krošnje izkazala za dovolj natančno, medtem ko so pri izračunu volumna krošnje nastale večje napake. S predpostavko, da imajo krošnje obliko pravilnih geometrijskih teles, dobimo zelo velika odstopanja, krošnje pa v večini primerov podcenimo. Alometrijska funkcija dobro prikazuje odvisnost med premerom krošnje in prsnim premerom drevesa. Kazalci krošnje se skoraj vsi brez izjeme spreminjajo po razširjenih debelinskih razredih, zato predpostavka o konstantni obliki krošnje ne drži.

7 SUMMARY

The length and arrangement of branches define crown shape, which is conditioned by its genetic make-up as well as by the environment. Within a stand, trees form different, irregular or asymmetric crowns, mostly as a result of stand density, i.e. more or less competition. When studying tree crowns in a stand it is therefore often difficult to determine the shape and size of the crown in a specific tree species.

In order to acquire more data about tree crown dimensions, we used the method of photographing trees from the ground with a digital camera. This method was developed by Pyysalo (2004) in Finland; we adapted the method to our conditions. We took a picture of a whole tree from a distance of 30 or 15 meters. We photographed the chosen tree in thinned stands and on clearings so that other trees did not cover the selected one. With the help of computer programs images were corrected and converted into the metric system and equal scale. After that we traced the outlines of crowns and divided them into sections. We measured the crown dimensions and calculated crown size (volume and surface) for individual trees. The crowns were then divided into an upper sunny part and lower shady part. Crown shape and size were studied in Common Beech and Norway Spruce trees with regard to tree diameter classes. Considering considerable oscillation of individual parameters which we often do not know how to interpret, one should be aware that the sample in this research is relatively small and in certain views rather heterogeneous.

For an accurate calculation of crown volume and surface we divided the crown into sections and calculated the surface and volumes by rotating trapeziums. But due to the fact that it is often very difficult and in some cases virtually impossible to obtain enough data for crown sectioning, we described the shape by an analytical function as well. A comparison showed that every crown has a special shape and therefore cannot always be simplified into a simple mathematical shape. The analytic function has proved to be accurate enough for calculating crown surface, while larger errors were observed in crown volume calculations. The assumption that crowns are shaped as regular geometrical bodies leads to great discrepancies, and the crowns are mostly underestimated. The allometric function is suitable for showing the relationship between crown diameter and DBH. Almost without exception, all crown indicators vary according to diameter class, which means the assumption of constant crown shape is false.

8 VIRI

- AMBERGER, H. / MARX U. / STAAP A.F., 1990. Ein neues Gerät zur Vermessung von Baumkronen.- Allgemeine Forstzeitschrift, 27, S. 709-711.
- BIGING G.S. / GILL S.J., 1997. Stochastic models for conifer tree crown profiles.- Forest Science, 43, 1, p. 25-33.
- BIGING G.S. / WENSEL L.C., 1990. Estimation of crown form for six conifer species of northern California.- Canadian Journal of Forest Research, 20, 8, p. 1137-1142.
- CEDILNIK A., 1997. Matematični priročnik.- 2. izdaja, Radovljica, Didakta, 462 s.
- CEDILNIK A., 2005. Rokopis.
- DORUSKA P.F., 1998. Methods for quantitatively describing tree crown profiles of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.).- Dissertation, Blacksburg (Faculty of the Virginia Polytechnic Institute), samozaložba p. 129.
- DUBRASICH M.E. / HANN D.W. / TAPPEINER J.C.II., 1997. Methods for evaluating crown area profiles of forest stands.- Canadian Journal of Forest Research, 27, 3, p. 385-392.
- EASTMAN, J.R., 1999. IDRISI for Windows. User's Guide Version.- Worcester, IDRISI Production, Clark University, 1999.
- HUSSEIN K.A. / ALBERT M., 1999. Flexible

- Kronenformmodellierung mit Hilfe des Kronenfensters.- V: Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Volpriehausen, 19.-21. maj 1999, Kenk G. (ur.), S. 230- 240.
- KOTAR M., 1979. Prirastoslovje.- Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 196 s.
- KOTAR M., 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah.- Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove, 500 s.
- MAGUIRE D.A. / HANN D.W., 1989. The relationship between cross crown dimensions and sapwood area at crown base in Douglas-fir.- Canadian Journal of Forest Research, 19, 5, p. 557-565.
- MOHREN G.M.J. / VAN GERWEN C.P. / SPITTERS C.J.T., 1984. Simulation of primary production in even – aged stands of Douglas – fir.- Ecology Manage, 9, p. 27-49.
- PanoTool 2.6 <http://www2.arnes.si/~mmitru/hitgor/programs/all%20for%20pano-tools2.6.zip>
- POLENŠEK M., 2005. Velikost in oblika krošnje pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in smreki (*Picea abies* (L.) Karst.).- Univerza v Ljubljani, BF, oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Diplomsko delo, 61 s.
- PRETZSCH H. 1992. Modellierung der Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen.- Allgemeine Forst und Jagd Zeitung, 163, 11-12, p. 203-213.
- PYYSSALO U., 2004. Tree crown determination using terrestrial imaging for laser scanned individual tree recognition.- V: Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress, Istanbul, 12-23 Julij 2004, Istanbul, Turkey Commission 3. <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm3/papers/271.pdf> (31. jan. 2005)
- RAUTIANEN M. / STENBERG P., 2005. Simplified tree crown model using standard forest mensuration data for Scots pine.- Agricultural and Forest Meteorology, 128, p. 123-129. <http://www.sciencedirect.com/> (28. feb. 2005)
- SCHOMAKER M., 2003. Tree crown condition indicator.- Forest Inventory and Analysis, FIA Fact Sheet Series. <http://fia.fs.fed.us/library/fact-sheets/p3-factsheets/Crowns.pdf> (28. feb. 2005)
- VAN LAAR A. / AKCA A., 1997. Forest mensuration.- Cuvillier Verlag Göttingen, p. 418.
- ZIMMERMAN M.H. / BROWN C.L., 1974. Trees structure and function.- New York, Springer-Verlag, p. 335.