

Določanje velikosti in oblike krošnje s pomočjo krošnjemera

Determination of crown size and shape using crown window

Rok ČARMAN¹, Andrej SMREKAR², Aleš KADUNC³, Marijan KOTAR⁴

Izvleček:

Čarman, R., Smrekar, A., Kadunc, A., Kotar, M.: Določanje velikosti krošnje s pomočjo krošnjemera. Gozdarski vestnik 66/2008, št. 2. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 14. Prevod v angleščino: avtorji. Lektura angleškega besedila Breda Misja.

V nalogi smo preizkusili dve metodi za izračun volumna in površine krošenj pri bukvi in smreki. Prva metoda temelji na pripomočku, imenovanem krošnjemer, s pomočjo katerega smo volumne in površine krošenj izračunali po sekcijah, druga pa na izračunu volumnov in površin krošenj na osnovi geometrijskih teles. V vzorec smo zajeli 60 dreves bukve in 40 dreves smreke. Ugotovili smo velika odstopanja v izračunih, predvsem pri bukvi v sončni krošnji. Pri smreki se izračuni bolje ujemajo. Kazalci oblike krošnje se z debelino dreves večinoma spreminjajo. Pri ugotavljanju odvisnosti med debelinskim prirastkom in parametri krošnje smo ugotovili, da pri bukvi senčna krošnja pomembneje vpliva na debelinski prirastek, kot pa sončna krošnja, pri smreki pa je ravno nasprotno.

Ključne besede: krošnjemer, oblika krošnje, volumen krošnje, površina krošnje, *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst.

Abstract:

Čarman, R., Smrekar, A., Kadunc, A., Kotar, M.: Determination of crown size and shape using crown window. Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry) 66/2008, Vol. 2. In Slovenian, with abstract and summary in English, lit. quot. 14.

We tested two methods for measuring the volume and surface of beech and spruce tree crowns. The first method is based on an instrument called *crown window*, by means of which the volumes and surfaces of crowns were measured in sections, whereas the measurement according to the other method is based on geometric shapes. The sample comprised 60 beech and 40 spruce trees. We found major discrepancies in the measurements, especially with the sunny part of the beech tree crown. The measurements tally to a greater extent with the spruce tree. Indicators of the shape of the crown mainly change with the thickness of the tree. When establishing the dependence of the increment on the crown parameters, we realized that with the beech tree the sunny crown more strongly affects the increment than the shady part of the crown, whereas it is just the opposite with the spruce tree.

Key words: crown window, crown shape, crown volume, crown surface, *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst.

1 UVOD IN OPREDELITEV PROBLEMA

Krošnja je zeleni del drevesa, ki opravlja funkcijo nosilca asimilacijskega organa, cvetov ter plodov in ima osrednjo vlogo pri produktivnosti drevesa. Omogoča stalen pretok vode iz tal preko korenin, debela, vej in listja v atmosfero, pri tem pa transportira v vodi raztopljene hranilne snovi iz tal v listje. Velikost in oblika krošnje odražata vitalnost drevesa. S starostjo se oblika in velikost krošnje spreminjata, na le-to pa lahko vplivamo z gojitvenimi ukrepi.

Poznamo nekaj osnovnih oblik krošenj, ki so v največji meri odvisne od drevesne vrste in neposredne okolice drevesa. Tako poznamo stožčaste, stebra-ste, okroglaste, dežnikaste, jajčaste oblike krošenj, lahko pa so tudi nepravilne oblike. Na prostem, kjer

drevesa niso pod vplivom drugih dreves, razvijejo večjo, bolj tipično obliko krošnje kot pa drevesa v sestoju, kjer je velika konkurenca za svetlobo in je rastni prostor omejen.

Pomen krošenj dreves za ljudi je raznovrsten in se s časom ter prostorom spreminja. V preteklosti so krošnje predstavljale predvsem vir (dodatnega) lesa za kurjavo, dodatno krmo ter steljo za živino, določeni plodovi in cvetovi pa tudi hrano ter zdravilne učinkovine za ljudi.

¹ R. Č. dipl. inž. gozd., Sp. Senica 23a, 1215 Medvode

² A. S. dipl. inž. gozd., Libušnje 15, 5222 Kobarid

³ dr. A. K., Oddelek za gozdarstvo in obn. g. vire, BF, Večna pot 83, 1000 Ljubljana

⁴ prof. dr. M. K., Oddelek za gozdarstvo in obn. g. vire, BF, Večna pot 83, 1000 Ljubljana

Z naraščanjem standarda prebivalstva stopajo v ospredje druge vloge. Krošnje predstavljajo pomemben estetski element tako na podeželju kot v urbanem okolju, zlasti v slednjem cenimo njihov prispevek k čistejšemu zraku, poletni senci in zmanjševanju moči vetra.

Z vidika lesnoproizvodne funkcije gozdov pa krošnje predstavljajo enega najpomembnejših kriterijev za določanje izbrancev. Gozdarska stroka je namreč že v svojih začetkih dojela povezavo med velikostjo krošnje, vitalnostjo drevesa oziroma njegovim priraščanjem.

Danes gozdarski strokovnjaki vlogo krošenj razumemo mnogo širše. Gledano izven okvirja drevesa imajo velik vpliv na procese v ekologiji gozda. Posebno velik vpliv imajo na procese v tleh (opad, razgradnja,...), na uspevanje in razporeditev podstojnih rastlin, na živalsko komponento ipd.

Krošnje so tudi indikator številnih okoljskih dejavnikov (svetlobe, vetra, ujem, onesnaženja).

Za razumevanje fizioloških in rastnih procesov ter zgradbe dreves je med drugim potrebno poznati tudi velikost in obliko krošnje. Poznavanje teh procesov pa je lahko nadgrajeno s povsem uporabnimi izsledki. Vitalnost drevesa, njegova rast in predvsem njegov rastni potencial sta pogojena – med drugim – z velikostjo ter obliko (strukturom) krošnje.

Ugotavljanje velikosti in oblike krošenj pa praviloma ni enostavno delo. Pri odraslem drevju neposredna izmera ni enostavna, saj se krošnja prične precej nad tlemi, še višje pa je njen vrh. To zahteva izmero z določene oddaljenosti, kar je v sestojih precej nerodno. Namreč krošnje posameznih dreves se bolj ali manj prepletajo ter so z razdalje praviloma »prekrite« s krošnjami sosednjih dreves. Dodatne težave lahko nastopijo tudi na razgibanem terenu.

Dosedanji raziskovalci so razvili vrsto pristopov, metod oziroma tehnik za določanje velikosti (oblike) krošnje. Na tem mestu povzemamo kratek pregled, podrobnejši pregled metod je opisan v Polenšek (2005) in Čarman / Smrekar (2007).

Najpreprostejši pristop je, da se za krošnjo predpostavi poenostavljeno obliko s pomočjo različnih geometrijskih teles. Najpogosteje se poslužujemo stožca, kvadratičnega paraboloida, kubičnega paraboloida, polkrogle in prisekane stožca. Za izračun velikosti (površine, volumna) krošnje po tej metodi potrebujemo dolžino krošnje in pogosto tudi maksimalen premer krošnje.

Številni avtorji so ugotovili večjo ali manjšo primernost posameznih geometrijskih teles po drevesnih vrstah in tudi za različna starostna obdobja pri

isti drevesni vrsti (npr. ASSMANN 1961, MOHREN *et al.* 1984, PRETZSCH 1992).

Zahtevnejši pristop temelji na sekcioniranju krošnje po njeni dolžini in ugotavljanju dimenzij (širine-premera, površine, volumna) vsake sekcije posebej. S sumiranjem sekcij dobimo skupno velikost krošnje za posamezno drevo. Poznamo številne načine izmere, ki temeljijo na metodi sekcij:

- izmere na podrtem drevju (npr. BIGING / WENSEL 1990),
- izmere s pomočjo razdaljemerov (merimo razdalje od konca veje do debla na različnih višinah drevesa; npr. BIGING / GILL 1997),
- izmere s pomočjo posnetkov (digitalne kamere; npr. PYYSALO 2004, POLENŠEK 2005),
- izmere s pomočjo »krošnjemera« (HUSSEIN / ALBERT 1999, HUSSEIN *et al.* 2000).

Uporabnost slednjega pripomočka smo želeli preizkusiti tudi v naših razmerah. K temu nas je vodilo naslednje:

- raziskave kažejo, da ima poenostavljanje oblike krošenj s pomočjo geometrijskih teles precejšnje pomanjkljivosti oziroma je nenatančno (npr. POLENŠEK 2005),
- tudi nekatere izmere, ki temelje na metodi sekcioniranja, imajo precejšnje omejitve (digitalna fotografija, POLENŠEK 2005) in
- krošnjemer (angl.: crown window, nem.: Kronenfenster) je instrument, katerega izdelava je preprosta in poceni.

Cilji študije so:

- ugotoviti morebitna odstopanja v velikostih krošnje med izračuni na podlagi geometrijskih teles in izračuni na podlagi sekcij izmerjenih s pomočjo krošnjemera,
- ugotoviti ali se oblika krošnje spreminja z debelino dreves,
- ugotoviti jakost odvisnosti prirastkov dreves od dimenzij krošenj ter
- pridobiti izkušnje za delo s krošnjemerom.

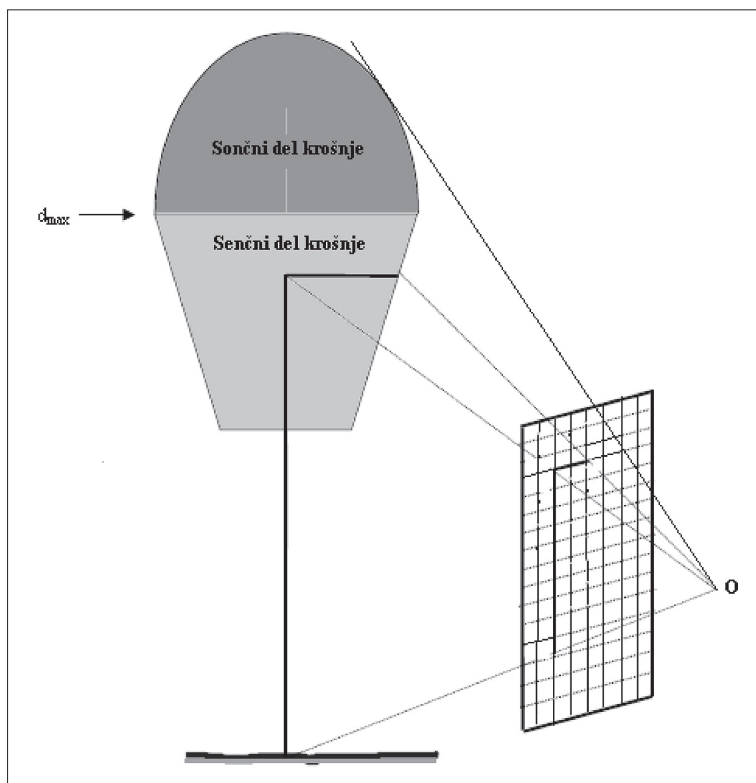
2 METODE DELA

2.1 Pripomočki

Metodo dela smo povzeli po HUSSEINU / ALBERTU (1999). Gre za metodo merjenja premerov krošnje na različnih višinah s pomočjo krošnjemera (Slika 1). Krošnjemer je enostaven pripomoček, sestavljen iz stekla, ki je vpeto v pravokotno ohišje, v sredini pa ima kukalo. Premere krošenj se lahko dobi s štetjem

Slika 1: Krošnjemer (O - žariščnica). Maksimalna širina krošnje (d_{max}) deli krošnjo na zgornji, sončni del in na spodnji, senčni del.

Figure 1: Crown window (O – position of the operator's eye). Above the maximal diameter of crown (d_{max}) is upper or sunny crown, below it is located the lower or shady crown.



vrisanih kvadratkov ali pa z risanjem obrisa krošnje, ki se ga nato digitalizira. Če so veje v pravokotni ravnini glede na deblo in vzporedne s krošnjemerom, dobimo na tak način merjenja širine krošenj zelo natančne podatke. V praksi je to nemogoče, zato posledično dobimo napako perspektive.

Krošnjemer smo prilagodili našim razmeram tako, da smo mu zmanjšali težo, kolikor je bilo mogoče. V našem primeru smo uporabili pleksi steklo dimenzije 600 x 1.000 mm. Pleksi steklo smo pritrdili med dva aluminijasta L-profila. Na sredini aluminijastega profila smo vpeli kukalo, ki je od stekla oddaljeno 400 mm in je na višini 400 mm od dna stekla. Za stojalo krošnjemera smo uporabili geodetski tripod.

Premere krošenj (za vsako sekcijo po dolžini-profilu krošnje) smo dobili z risanjem obrisa krošnje, ki se ga nato digitalizira.

Poleg krošnjemera smo potrebovali še libelo za uravnavanje krošnjemera, 30-metrski merski trak, busolo, padomer, premerko, Presslerjev sveder, barvni sprej in trasirko.

2.2 Terenske meritve

Na terenu je bilo treba najprej poiskati ustrezno drevo, katerega naris je bilo možno narisati z dveh položajev. Sledila je določitev položajev, ki sta bila pod kotom 90°. S prvega položaja smo izmerili azimut in naredili obris krošnje ter se glede na ta azimut premaknili za 90° v izbrano smer, od koder se je videlo drevo. Z drugega položaja smo tako izmerili še višino drevesa, višino do krošnje in – tako kot pri prvi poziciji – azimut ter naredili obris krošnje. Pred vsakim obrisom krošnje smo morali centrirati krošnjemer na razdaljo 30 m, 20 m ali 40 m, treba ga je bilo centrirati tudi horizontalno.

Na terenu smo izmerili še prsni premer drevesa.

Po meritvah s krošnjemerom smo pri analiziranih bukvah izvedli debelne analize, na podlagi katerih smo pridobili podatke o debelinskem, temeljničnem in volumenskem prirastku ter podatek o starosti dreves.

Pri smreki smo ugotavljali le radialni prirastek na prsni višini za vsako izmerjeno drevo. Prirastek smo ugotavljali za dobo zadnjih 10 let na 1 mm natančno, podatek pa smo pridobili s Presslerjevim prirastnim svedrom.

2.3 Računalniška obdelava podatkov

Ko smo na terenu naredili obrise vseh dreves, je prišla na vrsto digitalizacija podatkov. Skice smo pretvorili v digitalni zapis (jpg). Obdelava skic je potekala v programu AutoCAD 2002. Po vnosu vsake skice v okolje AutoCAD 2002 je bilo treba skico najprej pretvoriti v pravilno merilo, kar smo izvedli z ukazom Scale ter vsakemu kvadratu na skici priredili velikost 4 x 4 cm. V nadaljnjem postopku smo čez skico drevesa položili mrežo, ki je bila v merilu, in sicer tako, da je bila vsaka sekcija višine drevesa visoka 1 m v naravi. V merilu pa je to predstavljalo za razdaljo iz 20 m 2,3 cm, za razdaljo 30 m 1,53 cm in za razdaljo 40 m 1,15 cm. Če se je višina drevesa, dobljena s pomočjo krošnjemera, razlikovala od višine, izmerjene z višinomerom, smo skico korigirali s slednjo. Po pretvorbi skice v pravilno merilo je prišlo na vrsto merjenje polmerov in dolžine krošnje. Merili smo dolžine mreže znotraj obrisa krošnje, to smo storili za vsako linijo posebej, in sicer z ukazom Distance. Dobljene vrednosti so se izpisovale v okencu programa, ki smo jih z ukazom Copy prenesli v program Microsoft Excel.

Dodati je potrebno, da napake perspektive nismo odpravljali. Napaka širine krošnje praviloma znaša nekaj odstotkov, le izjemoma v zelo »skrajnih« razmerah preseže 10 % (HUSSEIN *et al.* 2000).

Statistične analize smo izvedli s programom SPSS 14.0 for Windows.

2.4 Postopek izračuna volumna in površine krošnje pri bukvi in smreki po metodi sekcioniranja

Izračun volumna in površine krošnje je potekal na podlagi teorije, da lahko obris krošnje razdelimo na manjše like trapeza. S pomočjo le-tega z rotacijo likov izračunamo volumen in površino. Z rotacijo teh likov dobimo prisekane stožce. Za vsako drevo smo površino in volumen krošnje izračunali kot povprečje obeh položajev.

Na tej podlagi uporabimo slednja obrazca za volumen in površino krošenj (KOTAR 2005).

Krošnjo smo razdelili na dva dela, in sicer na zgornji, sončni del in spodnji, senčni del. Razdelitev je bila narejena na podlagi največjega premera krošnje, in sicer tako, da je sončni del krošnje segal od največjega premera krošnje navzgor, senčni pa od največjega premera navzdol.

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

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

V_c - volumen krošnje

P - površina krošnje

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

a_k - širina krošnje v višini krošnje x_k

2.5 Volumni in površine krošenj bukve ter smreke izračunani po enačbah za geometrijska telesa

Omenili smo, da je volumen krošnje mogoče izračunati na več načinov. Za primerjavo bomo izračunali volumne in površine krošenj dreves kot geometrijskih teles s pomočjo enačb iz Gozdarskega priročnika (KOTAR 2003) in enačb po Pretzschu (PRETZSCH 2002), ki je predpostavil, da je pri bukvi senčni del krošnje prisekani stožec, sončni del krošnje pa kubični paraboloid. Prav tako je pri smreki senčni del prisekani stožec, sončni del pa je oblike stožca. Za vsako drevo smo površino in volumen krošnje izračunali kot povprečje obeh položajev.

Dobljene površine in volumne smo izračunali po naslednjih enačbah iz Gozdarskega priročnika (KOTAR 2003):

$$\text{Stožec:} \quad (3)$$

$$V = \frac{r^2 \cdot \pi \cdot h}{3} \quad (4)$$

$$P = r \cdot \pi \cdot s$$

r - polmer kroga

s - dolžina stranice

$$\text{Prisekani stožec:} \quad (5)$$

$$V = (R^2 + R \cdot r + r^2) \cdot \left(\frac{\pi \cdot h}{3} \right) \quad (6)$$

$$P = (R + r) \cdot s \cdot \pi$$

r - polmer zgornjega kroga

R - polmer spodnjega kroga

s - dolžina stranice

Kubični paraboloid:

$$V = \frac{3}{5} \cdot r^2 \cdot \pi \cdot h \quad (7)$$

$$P = \frac{a \cdot \pi}{2} \cdot \left[h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{9}{a} \cdot h^{\frac{4}{3}} + 1} + \sqrt{\frac{a}{9}} \cdot \ln \left(\frac{3}{\sqrt{a}} \cdot h^{\frac{2}{3}} + \sqrt{\frac{9}{a} \cdot h^{\frac{4}{3}} + 1} \right) \right] \quad (8)$$

$$a = \frac{r^2}{h^{\frac{2}{3}}} \quad (9)$$

2.6 Izračun kazalcev oblike in velikosti krošnje

Na podlagi dimenzij krošnje in drevesa smo za bukev in smreko ugotavljali tudi naslednje kazalce, ki nam pomagajo opisati obliko krošnje. Tudi ti kazalci so predstavljeni kot povprečje dveh položajev, ki sta bila izmerjena za vsako drevo.

Ti kazalci so:

- razmerje med dolžino krošnje in dolžino celotnega drevesa (cl/h)
- širina krošnje, kjer je premer največji (cw)
- razmerje med dolžino sončnega dela krošnje in dolžino celotne krošnje (cl_{so}/cl)
- razmerje med širino krošnje in dolžino krošnje ali tršatost (cw/cl)
- razmerje med širino krošnje in višino drevesa (cw/h)
- razmerje med širino krošnje in prsnim premerom drevesa ali indeks rastnega prostora (cw/dbh)
- asimetrija krošnje, ki smo jo ugotavljali po enačbi (10)

$$\frac{(c_{r_l} - c_{r_r})}{c_{r_l} + c_{r_r}} \cdot 100 \quad (10)$$

c_l – manjši polmer krošnje, kjer je krošnja najširša

c_r – večji polmer krošnje, kjer je krošnja najširša

dbh – prsni premer v cm

h – višina drevesa v m

cw – širina krošnje v m

cl – dolžina krošnje v m

cl_{so} – dolžina sončnega dela krošnje

3 OBJEKTI RAZISKAVE

Metodo smo preizkusili na dveh drevesnih vrstah, ki zavzemata največji delež v slovenskih gozdovih in sta hkrati gospodarsko najpomembnejši drevesni vrsti, to sta bukev in smreka.

Vsa izmerjena drevesa smo merili v času olitavanja, ker smo menili, da je tako lažje razločevati, kateremu drevesu pripada posamezna veja. Meritve za bukev smo opravili v Gozdku v bližini kraja Krka in na Brezovi rebri v bližini Straže pri Novem

mestu (nadmorska višina lokacij bukke je 300–500 m, združbe *Lamio orvalae-Fagetum* in *Hedero-Fagetum*). Smreko pa smo v celoti izmerili na Sorškem polju med Jeprco in Mejo pri Kranju. Analizirane smreke se nahajajo na 340 m nadmorske višine. Gre za evtrična rjava tla na rečno-ledeniškem prođu oziroma na konglomeratnih terasah. Potencialno vegetacijo večinoma predstavlja združba *Quercus-Carpinetum*, vendar smreka v sestoji prevladuje s 60 % deležem v lesni zalogi.

Ker je bilo treba vsako drevo izmeriti z dveh položajev, smo izbirali predvsem drevesa, ki so bila locirana na robovih pomladitvenih jeder ali gozdnem robu. Dreves v pomlajencih velikokrat ni bilo mogoče izmeriti zaradi prevelike višine pomladka. Ta problem se je pojavljal predvsem pri bukvi, pri smreki pa smo vse meritve opravili na robovih žarišč lubadarja in nekaj tudi na gozdnem robu.

Vsi izmerjeni sestoji bukke so bili v fazi pomlajenja, kjer še ni bilo visokega mladja, ki bi onemogočalo meritve. Možnost merjenja so dopuščala pomladitvena jedra s premerom večjim od 30 m.

Skupno smo analizirali 60 dreves bukke in 40 smrek.

4 REZULTATI

4.1 Primerjava povprečnih vrednosti volumnov in površin krošenj med metodama krošnjemera in geometrijskih teles

Rezultate prikazujemo po razširjenih debelinskih razredih (v nadaljevanju RDR) ločeno za obravnavani vrsti ter ločeno za sončni in senčni del krošnje. Pri bukvi imamo v prvem RDR 14 dreves, v drugem 27 in v tretjem 19. Pri smreki pa v prvem 13, drugem 15 in v tretjem 12 dreves.

Iz preglednice 1 je razvidno, da se izračunani volumni krošnje pri bukvi močno razlikujejo med metodama (krošnjemer – metoda sekcij, geometrijska telesa – poenostavljena metoda). Izračuni se bolje ujemajo za senčni del krošnje kot za sončni. Izračuni po geometrijskih telesih nam dajejo veliko večje vrednosti kot metoda po krošnjemeru. Odstopanje je največje v prvem RDR.

Preglednica 1: Primerjava povprečnih vrednosti volumnov senčne in sončne krošnje (m^3/drevo) pri bukvi po razširjenih debelinskih razredih ($N = 60$)

Table 1: Comparison of average values of sunny and shady crown volumes (m^3/tree) for beech by extended diameter classes ($N = 60$)

RDR (cm)	VOLUMEN								
	Senčna krošnja			Sončna krošnja			Skupaj		
	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Kroš-njemer	Geome-trijska telesa	Razmerje
< 30	170,88	383,52	0,45	129,37	555,43	0,23	300,25	938,95	0,32
30-50	320,18	494,24	0,65	155,71	424,85	0,37	475,89	919,09	0,52
≥ 50	683,09	1057,64	0,65	409,47	997,29	0,41	1092,56	2054,93	0,53
Skupaj	391,38	645,13	0,61	231,52	659,19	0,35	622,90	1304,32	0,48

Iz naslednje preglednice (preglednica 2) lahko ugotovimo, da tudi pri površinah krošnje bukve dobimo znatno večje vrednosti pri geometrijskih telesih. Tokrat se bolje ujemajo sončne krošnje. Ujemanje pri površinah je v celoti nekoliko boljše kot pri volumnih.

Preglednica 2: Primerjava povprečnih vrednosti površin senčne in sončne krošnje (m^2/drevo) pri bukvi po razširjenih debelinskih razredih ($N = 60$)

Table 2: Comparison of average values of sunny and shady crown surfaces (m^2/tree) for beech by extended diameter classes ($N = 60$)

RDR (cm)	POVRŠINA								
	Senčna krošnja			Sončna krošnja			Skupaj		
	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje
< 30	153,26	335,99	0,46	130,73	232,21	0,56	283,99	568,19	0,50
30-50	215,27	308,52	0,70	125,24	177,00	0,71	340,51	485,52	0,70
≥ 50	349,27	631,88	0,55	229,66	306,95	0,75	578,93	938,83	0,62
Skupaj	239,27	425,46	0,56	161,88	238,72	0,68	401,15	664,18	0,60

Preglednica 3: Primerjava povprečnih vrednosti volumnov senčne in sončne krošnje (m^3/drevo) pri smreki po razširjenih debelinskih razredih ($N = 40$)

Table 3: Comparison of average values of sunny and shady crown volumes (m^3/tree) for spruce by extended diameter classes ($N = 40$)

RDR (cm)	VOLUMEN								
	Senčna krošnja			Sončna krošnja			Skupaj		
	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje
< 30	35,58	42,51	0,84	43,39	36,28	1,20	78,97	78,79	1,00
30-50	78,72	77,45	1,02	174,35	129,37	1,35	253,07	206,82	1,22
≥ 50	163,09	171,21	0,95	386,38	241,24	1,60	549,47	412,45	1,33
Skupaj	92,46	97,06	0,95	201,37	135,63	1,48	293,84	232,69	1,26

Preglednica 4: Primerjava povprečnih vrednosti površin senčne in sončne krošnje (m^2/drevo) pri smreki po razširjenih debelinskih razredih ($N = 40$)

Table 4: Comparison of average values of sunny and shady crown surfaces (m^2/tree) for spruce by extended diameter classes ($N = 40$)

RDR (cm)	POVRŠINA								
	Senčna krošnja			Sončna krošnja			Skupaj		
	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje	Krošnje-mer	Geome-trijska telesa	Razmerje
< 30	49,03	47,87	1,02	63,16	32,30	1,96	112,19	80,18	1,40
30-50	90,09	84,98	1,06	164,36	68,81	2,39	254,45	153,79	1,65
≥ 50	151,74	159,97	0,95	269,39	121,92	2,21	421,13	281,89	1,49
Skupaj	96,95	97,61	0,99	165,64	74,34	2,23	262,59	171,95	1,53

Precej manjša so odstopanja med metodama pri volumnu krošenj smreke (preglednica 3). Ujemanje je zelo dobro pri senčnem delu krošenj in slabše pri sončnem delu. V celoti vzeto se z naraščanjem debeline smrek povečuje precenjevanje metode geometrijskih teles.

Iz preglednice 4 je razvidno, da se površine senčnih krošenj odlično ujemajo, nasprotno pa so površine sončnih krošenj z metodo geometrijskih teles močno podcenjene. Tudi krošnje kot celota so z metodo geometrijskih teles podcenjene.

4.2 Kazalci oblike krošenj

V nadaljevanju nas je zanimalo, kako se spreminja oblika krošnje z naraščanjem prsnega premera dreves. To smo ugotavljali s pomočjo regresijske analize, kjer smo preizkušali morebitno odvisnost kazalcev oblike krošnje od prsnega premera dreves.

Na podlagi rezultatov, ki so zajeti v preglednicah 5 in 6, lahko oblikujemo naslednje sklepe:

- Širina krošnje pri bukvi narašča s prsnim premerom.
- Najvišje razmerje med širino in dolžino krošnje so imele bukve med 50 in 60 cm, tanjše oz. močnejše bukve so imele nižja razmerja.
- Pri bukvi dolžinski delež krošnje z debelino pada. Debelejše bukve imajo relativno krajše krošnje.
- Dolžinski delež sončne krošnje v skupni dolžini krošnje pri bukvi pada s prsnim premerom.
- Volumenski delež sončne krošnje pri bukvi sprva pada s prsnim premerom (približno do debeline 50 cm), nato začne naraščati, podobno odvisnost od prsnega premera kaže tudi površinski delež sončne krošnje.

- Razmerje med širino krošnje in višino drevesa z debelino bukev pada, podobno je z razmerjem med širino krošnje in prsnim premerom pri bukvi.
- Asimetričnost krošnje tako pri bukvi kot pri smreki je neodvisna od debeline drevja.
- Volumenski delež sončne krošnje pri smreki narašča z debelino drevja nelinearno.
- Površinski delež sončne krošnje pri smreki ni odvisen od prsnega premera.
- Dolžinski delež krošnje v višini drevesa narašča pri smreki linearno s prsnim premerom. Morda so pri debelih smrekah velike suše in topla leta na Sorškem polju preživela predvsem smrekova drevesa z velikimi, dolgimi krošnjami.
- Dolžinski delež sončne krošnje v skupni dolžini krošnje pri smreki po prsnem premeru nad 40 cm praktično ne narašča več.
- Širina krošnje smreke linearno narašča s prsnim premerom.
- Razmerje med širino in dolžino krošnje pri smreki je neodvisno od prsnega premera.
- Razmerje med širino krošnje in višino drevesa z debelino pri smreki pada, podobno je tudi z razmerjem med širino krošnje in prsnim premerom.

4.3 Odvisnost prirastka zadnjih desetih let od parametrov krošnje

S pomočjo korelacijske analize smo želeli ugotoviti, v kolikšni meri dimenzije krošnje vplivajo na prirastek bukve in smreke. Ker je bilo drevje različnih starosti, ki praviloma močno pogojuje rast v debelino, smo

Preglednica 5: Odvisnost kazalcev oblike krošnje od prsnega premera pri bukvi (X = prsni premer; $N = 60$)
Table 5: The dependence of crown shape indicators on dbh by beech (X = dbh; $N = 60$)

Odvisna spremenljivka	St. tveganja	R ²	Funkcija
Delež sončne krošnje – volumen	0,001	0,228	$Y = 110,837 - 3,283X + 0,034X^2$
Delež sončne krošnje – površina	0,003	0,208	$Y = 97,901 - 2,627X + 0,027X^2$
Cl/h	0,000	0,502	$Y = 0,279 + 7,657/X$
Cw	0,005	0,128	$Y = 9,700 + 1,008X$
Cl _{so} /cl	0,001	0,165	$Y = 0,237 + 4,390/X$
Cw/cl	0,005	0,201	$Y = 2,787 - 0,167X + 0,004X^2 - 0,0000X^3$
Cw/h	0,000	0,406	$Y = 0,165 + 9,665/X$
Cw/dbh	0,000	0,649	$Y = -0,867 + 1410,767/X$
Asimetrija	Povezava ni statistično značilna		

Preglednica 6: Odvisnost kazalcev oblike krošnje od prsnega premera pri smreki (X = prsni premer; $N = 40$)
Table 6: The dependence of crown shape indicators on dbh by spruce (X = dbh; $N = 40$)

Odvisna spremenljivka	St. tveganja	R ²	Funkcija
Delež sončne krošnje – volumen	0,000	0,437	$Y = \exp(4,573 - 15,661/X)$
Delež sončne krošnje – površina			Delež sončne krošnje (površina) ni statistično značilno odvisen od prsnega premera
Cl/h	0,000	0,320	$Y = 0,370 + 0,006X$
Cw	0,000	0,836	$Y = -6,862 + 3,638\ln(X)$
Cl _{so} /cl	0,000	0,312	$Y = \exp(-0,123 - 9,735/X)$
Cw/cl	Povezava ni statistično značilna		
Cw/h	0,001	0,256	$Y = 0,249 + 0,992X$
Cw/dbh	0,000	0,499	$Y = 11,969 + 156,619/X$
asimetrija	Povezava ni statistično značilna		

pri bukvi s pomočjo parcialne korelacije vpliv starosti odstranili (preglednica 7). Vse vrste dimenzij krošnje vplivajo na volumenski prirastek pozitivno. Najmočnejši vpliv imata skupen volumen in skupna površina. Samo razmerje med površino in volumnom vpliva negativno. Volumenski prirastek je močnejše odvisen od dimenzij krošnje kot pa debelinski. Pri debelinskem prirastku je vpliv senčnega dela krošnje praktično enak vplivu celotne krošnje.

Pri smreki starosti nismo ugotavljali, zato smo morebitne starostne razlike poskušali odpraviti s tem, da smo s parcialno korelacijo izločili vpliv višine dreves. Višina smrek iz enomernih gozdov je praviloma v statistično značilni pozitivni korelaciji s starostjo dreves. Prav tako smo pri smreki razpolagali le z debelinskim in ne tudi volumenskim prirastkom (preglednica 8).

Od vseh parametrov le površina sončne krošnje (značilno) pozitivno vpliva na prirastek. Značilen

je tudi negativen vpliv razmerja med površino in volumnom sončne krošnje na debelinski prirastek. Vse to pojasnjuje večji delež sončne krošnje pri smreki. Na meji statistične značilnosti sta tudi površina in volumen celotne krošnje.

5 RAZPRAVA Z ZAKLJUČKI

Cilj naše naloge je bil preveriti tri hipoteze.

Hipotezo, da se volumni in površine krošenj, ugotovljeni na podlagi geometrijskih teles, razlikujejo od vrednosti, ugotovljenih s pomočjo krošnjemera, lahko v celoti potrdimo. Do največjih odstopanj prihaja pri bukvi, kjer smo za izračun senčne krošnje uporabili enačbo za prisekani stožec, za sončno krošnjo pa kubični paraboloid. Največje razlike v izračunu smo opazili pri sončni krošnji. Te razlike so ponekod presegle celo dvakratno vrednost.

Preglednica 7: Odvisnost volumenskega oziroma debelinskega prirastka bukve (zadnjih 10 let) od parametrov krošnje (ob statistično izključenem vplivu starosti, N=54)

Table 7: The dependence of volume or diameter increment on crown parameters with beech (the influence of age is statistically excluded; N = 54)

Neodvisna spremenljivka	Volumenski prirastek zadnjih 10 let		Debelinski prirastek zadnjih 10 let	
	Korelacijski koeficient	Stopnja tveganja	Korelacijski koeficient	Stopnja tveganja
Volumen senčne krošnje	0,7162	0,0000	0,4385	0,0010
Volumen sončne krošnje	0,6758	0,0000	0,3524	0,0097
Volumen celotne krošnje	0,7404	0,0000	0,4255	0,0015
Površina senčne krošnje	0,6919	0,0000	0,4359	0,0011
Površina sončne krošnje	0,6333	0,0000	0,3579	0,0085
Površina celotne krošnje	0,7339	0,0000	0,4417	0,0009
Razmerje med površino in volumnom sončne krošnje	-0,5460	0,0000	-0,3978	0,0032

Preglednica 8: Odvisnost debelinskega prirastka smreke (zadnjih 10 let) od parametrov krošnje (ob statistično izključenem vplivu drevesne višine, N = 40)

Table 8: The dependence of diameter increment on crown parameters with spruce (the influence of tree height is statistically excluded; N = 40)

Neodvisna spremenljivka	Debelinski prirastek zadnjih 10 let	
	Korelacijski koeficient	Stopnja tveganja
Volumen senčne krošnje	0,2324	0,1545
Volumen sončne krošnje	0,2826	0,0813
Volumen celotne krošnje	0,2948	0,0684
Površina senčne krošnje	0,2346	0,1505
Površina sončne krošnje	0,3222	0,0455
Površina celotne krošnje	0,3073	0,0571
Razmerje med površino in volumnom sončne krošnje	-0,4098	0,0096

Pri smreki je prihajalo do manjših odstopanj, saj enačba za prisekani stožec bolje ponazarja obliko senčne krošnje. Do relativno majhnih odstopanj pa je prišlo pri sončni krošnji, kjer stožec lepo ponazarja obliko sončne krošnje.

V raziskavi smo ugotovili, da geometrijska telesa pri bukvi slabo ponazarjajo obliko krošnje, zato so dobljene vrednosti precenjene glede na vrednosti, ugotovljene s krošnjemerom. To si lahko razlagamo z zelo raznoliko obliko krošnje pri bukvi ter velikimi vrzeli v krošnjah, ki jih geometrijska telesa ne upoštevajo.

Rezultatov merjenja krošenj s krošnjemerom nismo korigirali za napako perspektive, glede na študijo iz Nemčije (HUSSEIN *et al.* 2000) pa večje napake s tem nismo napravili.

Kot smo že v začetku predpostavili, se oblika krošnje spreminja s prsnim premerom. Naši izračuni so v določeni meri to potrdili, vendar ne pri vseh parametrih oblike krošnje. Pri bukvi se delež krošnje glede na celotno višino drevesa zmanjšuje, kasneje se delež bolj ali manj ustali. Delež sončne krošnje se z debelino spreminja, največji pa je v prvem razširjenem debelinskem razredu.

Pri smreki pa se oblika krošnje drugače spreminja z naraščanjem debeline. Delež krošnje glede na celotno dolžino drevesa je največji v tretjem razširjenem debelinskem razredu. Delež sončne krošnje je največji v drugem razširjenem debelinskem razredu, najmanjši pa v prvem, morda je to posledica tega, da se po določeni starosti razmerje stabilizira. Tršatost se z večanjem debeline nekoliko zmanjša,

prav tako se nekoliko zmanjša razmerje med širino krošnje in dolžino drevesa, kar je očitno posledica tega, da se pri določeni starosti krošnja ne razrašča več. Pri starejših in debelejših smrekah se razmerje med širino krošnje in prsnim premerom zmanjša, posledica tega pa je, da se krošnja ne razrašča tako hitro, kot se drevo debeli. Asimetrija se po debelinskih razredih ne spreminja bistveno. Najmanjša je v prvem debelinskem razredu.

Hipotezo, da sta oblika in velikost krošnje pri določanju temeljnici in volumenskega prirastka pomembna kazalca, lahko potrdimo, saj vse vrste dimenzij krošnje pri buki pozitivno vplivajo na volumenski prirastek. Najmočnejši vpliv na volumenski prirastek imata skupni volumen in površina krošnje. Pri buki ima močnejši vpliv senčni del krošnje, kar je posledica večjega deleža senčne krošnje. Pri smreki smo prišli do slabših rezultatov, saj je bila stopnja tveganja v večini primerov previsoka za potrditev hipoteze. Potrdimo lahko le večji vpliv sončne krošnje na debelinski prirastek, kar je posledica večjega deleža sončne krošnje. Z veliko gotovostjo lahko trdimo le, da razmerje med površino in volumnom sončne krošnje negativno vpliva na debelinski prirastek.

Če naše ugotovitve primerjamo z ugotovitvami Polenškove (2005), ugotavljamo, da prihaja do razlik v deležu sončne krošnje pri buki. Polenškova navaja, da znaša delež sončne krošnje pri buki približno polovico dolžine krošnje in se po debelinskih razredih praktično ne spreminja, kar je velika razlika v primerjavi z našimi ugotovitvami, kjer zavzema sončni delež krošnje približno tretjino dolžine krošnje. V obeh primerih pa ugotavljamo, da imajo smreke večji delež sončne krošnje ter manjšo asimetrijo.

Študija rabe krošnjemera je tudi pokazala, da moramo s stojišč krošnjo dobro videti, da morajo biti stojišča od drevesa primerno oddaljena tako kot pri meritvah drevesnih višin.

Potrebno je tudi opozoriti, da v študiji dreves nismo izbirali v vzorec slučajnostno. Pri smreki smo gotovo v vzorec zajeli populacijo z nekoliko večjimi, zdravimi krošnjami, saj so manj vitalna drevesa v bližini odstranili zaradi napadenosti s podlubniki. Tudi pri buki tanjša podstojna drevesa, ki smo ji zajeli v vzorec, ne morejo »predstavljati« populacije dreves tanjših od 30 cm v drogovnjakih, kjer so ti osebki v vladajoči plasti.

6 POVZETEK

V tej nalogi smo s pomočjo doma izdelanega krošnjemera poskušali ugotoviti površine in volumne krošenj posameznih dreves bukve in smreke. Za določitev površine in volumna krošnje je bilo najprej potrebno narediti obris iz dveh položajev, ki med seboj tvorita pravi kot. V nadaljnjem postopku smo skice obdelali v okolju AutoCAD-a, jim priredili merilo ter razdelili krošnjo na sekcije. Volumne in površine krošenj smo ugotavljali posebej za senčni in sončni del krošnje. Kriterij za razdelitev krošnje pa je bil najširši premer krošnje. Površino in volumen smo izračunali s pomočjo formul za rotirajoče trapeze.

Poskušali smo tudi ugotoviti, ali se površine in volumni krošenj, ugotovljeni s pomočjo krošnjemera, razlikujejo od površin in volumnov, ugotovljenih na podlagi geometrijskih teles. Za bukev smo predpostavili, da je senčni del krošnje prisekani stožec, sončni pa kubični paraboloid. Pri smreki pa, da je senčni del prisekani stožec, sončni pa stožec (PRETZSCH 2002). Po primerjavi podatkov, ugotovljenih po teh dveh metodah, smo ugotovili, da je prišlo do velikih odstopanj. Podatki, ugotovljeni na podlagi geometrijskih teles, nam kažejo večje površine in volumne krošenj pri buki, pri smreki pa so površine in volumni krošenj manjši.

Oblika krošnje se spreminja s prsnim premerom. Pri buki se delež krošnje glede na celotno višino drevesa zmanjšuje, kasneje se delež bolj ali manj ustali. Delež sončne krošnje se z debelino spreminja, največji pa je v prvem razširjenem debelinskem razredu.

Pri smreki pa se oblika krošnje drugače spreminja z naraščanjem debeline. Delež krošnje glede na celotno dolžino drevesa je največji v tretjem razširjenem debelinskem razredu. Delež sončne krošnje je največji v drugem razširjenem debelinskem razredu, najmanjši pa v prvem, morda je to posledica tega, da se po določeni starosti razmerje stabilizira. Tršatost se z večanjem debeline nekoliko zmanjša, prav tako se nekoliko zmanjša razmerje med širino krošnje in dolžino drevesa, kar je očitno posledica tega, da se pri določeni starosti krošnja ne razrašča več. Pri starejših in debelejših smrekah se razmerje med širino krošnje in prsnim premerom zmanjša, posledica tega pa je, da se krošnja ne razrašča tako hitro, kot se drevo debeli. Asimetrija se po debelinskih razredih ne spreminja bistveno. Najmanjša je v prvem debelinskem razredu.

Za vsa izmerjena drevesa smo pridobili tudi podatke o prirastkih. Tako smo lahko preizkušali odvisnost volumenskega oziroma debelinskega prirastka zadnjih 10 let od parametrov krošnje. Ugotovili smo, da na prirastek pri buki najbolj vpliva senčni del krošnje, ker je njegov delež večji od deleža sončnega dela krošnje. Pri smreki pa ravno nasprotno, na prirastek vpliva sončni del krošnje, katerega delež presega delež senčnega dela krošnje.

7 SUMMARY

In this study, we tried to establish the surface and the volume of individual beech and spruce tree crowns by means of a home-made *crown window*. In order to do this, we first needed to make an outline of two positions that form a right angle together. Afterwards, we made the outlines in an AutoCAD environment, adjusted the measure and divided the crown into sections. The volumes and the surfaces of crowns were separately established for the sunny and the shady part of the crown. The criterion for the division of the crown was the widest diameter of the crown. The surface and the volume were then measured by means of the formulas for the rotating trapezium.

We also tried to ascertain whether the surfaces and the volumes measured by means of the *crown window* differ from those measured on the basis of the geometric shapes. We assumed that the lower part of the beech tree crown is a truncated cone, and the upper part a cubical paraboloid. For the spruce tree, we assumed that the lower part is a truncated cone, and the upper a cone (PRETZSCH 2002.). After the comparison of the data acquired according to the two methods, major discrepancies were observed. The data acquired on the basis of the geometric shapes indicate larger surfaces and volumes of the beech crowns, whereas the surfaces and the volumes of the spruce crowns are smaller.

The crown shape changes with dbh. The crown share of beech within tree height diminishes with dbh at the beginning, later it stabilizes. The share of sunny crown changes with dbh; its highest values are achieved in the first extended diameter class (EDC).

The crown shape of spruce changes differently with dbh as the crown shape of beech. The share of the crown within the tree height is the highest in the third EDC, while the share of the sunny crown culminates in the second EDC. The ratio between crown width and crown length slightly diminishes

with dbh. Furthermore, the ratio between crown width and tree length diminishes as well. Obviously, this is the consequence of the fact that the crown at a particular age does not extend anymore. With older and thicker spruce trees the ratio between crown width and dbh becomes lower, which is a consequence of slower crown extension in comparison with diameter growth of the stem. Asymmetry does not change with dbh.

We also obtained the data on the increment for all measured trees. On that basis we were able to test the dependence of volume or diameter increment of last 10 years on the crown parameters. We came to the conclusion that the greatest effect on the increment of the beech tree is exercised by the shady part of the crown, since this part of the crown is bigger than the sunny part. Just the opposite is true of the spruce tree – the sunny part of the crown greatly affects the increment, as this part exceeds the shady part of the crown.

8 VIRI / REFERENCES

- ASSMANN, E., 1961. Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien, 492 s.
- BIGING, G., S., GILL S., J., 1997. Stochastic models for conifer tree crown profiles. *Forest Science*, 43, 1: 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: 1137-1142
- ČARMAN, R., SMREKAR, A., 2007. Določanje velikosti in oblike krošnje s pomočjo krošnjemera. Diplomsko delo, Ljubljana, samozaložba, 55 s.
- 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.): 230-240
- HUSSEIN, K., A., ALBERT, M., GADOW, K., von, 2000. The Crown Window – a simple device for measuring tree crowns. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 119: 43-50
- KOTAR, M., 2003. Gozdarski priročnik. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta: 414 s.
- KOTAR, M., 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 500 s.

- 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: 27-49
- PRETZSCH, H., 1992. Modellierung der Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 163, 11-12: 203-213
- PRETZSCH, H., 2002. *Grundlagen der Waldwachstumsforschung*. Berlin, Parey Verlag, 414 s.
- POLENŠEK, M., 2005. Velikost in oblika krošnje pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in smreki (*Picea Abies* (L.) Karst). Diplomsko delo, Ljubljana, samozaložba, 62 s.
- PYYSALO, 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 July 2004, Istanbul, Turkey Commission 3