

GDK: 22:524.626:176.1 *Fagus sylvatica* L.(045)=163.6

Prispelo / *Received*: 02. 09. 2009

Sprejeto / *Accepted*: 11. 11. 2009

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

ANALIZA HORIZONTALNE ZGRADBE BUKOVIH SESTOJEV S PODATKI S STALNIH VZORČNIH PLOSKEV

Tina SIMONČIČ¹, Aleš KADUNC², Andrej BONČINA³

Izvleček

Na vzorcu petih izbranih gozdnogospodarskih enot smo po glavnih sestojnih tipih analizirali horizontalno zgradbo bukovih sestojev. Zgradbo smo prikazali z indeksi diverzitete, podrobneje smo obravnavali razmestitev dreves in diferenciacijo njihovega premera. Ugotavljali smo vpliv nekaterih okoljskih dejavnikov ter intenzivnosti poseka na razmestitev. Za analizo smo uporabili podatkovno zbirko stalnih vzorčnih ploskev (SVP) Zavoda za gozdove Slovenije. Razmestitev v sestojih se približuje naključni enakomerni razmestitvi, opazne so posamezne tendence dreves k šopasti oziroma sistematični razmestitvi. V sestojih prevladuje povprečna diferenciacija premerov, kar kaže na večjo enomernost. V mlajših razvojnih fazah je nekoliko močnejše nakazana šopasta razmestitev, diferenciacija premerov je manjša. Na manjšo diferenciacijo premera vplivamo z večjo intenziteto poseka, šopasta razmestitev dreves je močnejše nakazana na terenih s strmejšimi nakloni. Različne indekse diverzitete lahko izračunamo s podatki s SVP, ki so primerni predvsem za metodo izbranega drevesa in njegovih štirih najbližjih sosedov. Vzorec horizontalne zgradbe omogoča natančnejši vpogled v sestojno zgradbo, pomemben je pri ocenjevanju mehanske stabilnosti sestojev, biodiverzitete, sestojne gostote in učinkov gospodarjenja.

Ključne besede: *Fagus sylvatica*, horizontalna zgradba, indeksi diverzitete, razmestitev dreves, diferenciacija premerov, stalne vzorčne ploskve, sestojni tip, rastišče, vpliv gospodarjenja

AN ANALYSIS OF HORIZONTAL STRUCTURE IN BEECH STANDS USING DATA FROM PERMANENT SAMPLE PLOTS

Abstract

On the sample of five forest management units, we analysed horizontal structure of beech stands by prevalent stand types. We used several diversity indices to describe horizontal stand structure (spatial distribution of trees and differentiation of their DBH). We checked if spatial distribution is influenced by site parameters and cutting intensity. Data was used from measurements on permanent sample plots of the Slovenia Forest Service. The results show mainly average DBH differentiation and random tree positions with some tendency to clustered and regular arrangement. Trees in younger stages are prone to clustered distribution and their DBH differentiation is smaller. Small DBH differentiation in younger stages is caused by higher intensity of cutting and clustered arrangement is more common on steeper slopes. Several diversity indices can be calculated based on data from PSP, which are suitable mostly for sampling method of reference tree and its four nearest neighbours. A pattern of horizontal stand structure gives a more precise insight in stand structure and is also important when assessing stand stability, biodiversity, stand density and management impact.

Key words: *Fagus sylvatica*, horizontal structure, diversity indices, spatial tree distribution, DBH differentiation, permanent sampling plots, stand type, site, management impact

UVOD INTRODUCTION

Bukev je ena najbolj razširjenih drevesnih vrst v srednji in jugovzhodni Evropi (BOHN *et al.* 2000), njen ekološki in ekonomski pomen se je v zadnjih desetletjih povečal (e. g. GUERICKE 2002, PRETZSCH 2005). Slovenija je ena izmed evropskih držav z največjim deležem bukovih rastišč (DAKSKOBLER 2008), ta zavzemajo kar 70 % celotne gozdne površine (PERKO 2004). Bukev uspeva in oblikuje svoje združbe vse od kolinskega do subalpinskega pasu,

v različnih fitogeografskih območjih, legah in na talnih tipih (DAKSKOBLER 2008). Kot prevladujoča drevesna vrsta v sestoju nastopa na četrtini celotne površine gozdov (FICKO *et al.* 2008). Zastopanost bukve in njen delež v lesni zalogi gozdnih sestojev na naravnih bukovih rastiščih se povečujeta (MARINČEK 1987, KOTAR 1989, BONČINA 1994, POLJANEC 2008). K temu je delno prispevalo zavedanje, da je naravna zgradba gozdov temeljni pogoj za trajnostno in večnamensko gospodarjenje z gozdovi, delno pa abiotske in biotske motnje, ki so prizadele drevesne vrste, predvsem smreko, ki smo jih prekomerno pospeševali na bukovih rasti-

¹ T. S., univ. dipl. inž. gozd., UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, SI-1000 Ljubljana, tina.simoncic@bf.uni-lj.si

² doc. dr. A. K., UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, SI-1000 Ljubljana, ales.kadunc@bf.uni-lj.si

³ prof. dr. A. B., UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, SI-1000 Ljubljana, andrej.boncina@bf.uni-lj.si

ščih (KOTAR / BRUS 1999). Pomen bukve se povečuje zlasti zaradi njenega pozitivnega vpliva na biološko in mehansko stabilnost gozdnih ekosistemov, uspešnega naravnega pomlajevanja, ohranjenega genofonda, ugodnega vpliva na revitalizacijo degradiranih rastišč in navsezadnje tudi ekonomske vrednosti (ROŽENBERGAR / FICKO / DIACI 2008). Raziskave bukovih gozdov in gospodarjenja z njimi postajajo zato vse bolj aktualne (FICKO *et al.* 2008, ROŽENBERGAR / FICKO / DIACI 2008).

Kotar s sodelavci (KOTAR 1989, 1994, KADUNC 2006) je opravil številne analize zgradbe bukovih sestojev v Sloveniji, saj je poznavanje strukture gozdnih sestojev temeljni pogoj za ustrezno ukrepanje v gospodarskem gozdu (KOTAR 1993). Nekatere raziskave so obravnavale horizontalno zgradbo bukovih sestojev, predvsem prostorsko razmestitev dreves (KOTAR 1993, BONČINA 1997). Vzorec horizontalne zgradbe omogoča natančnejši vpogled v sestojno zgradbo in lahko pojasnjuje sestojne značilnosti, ki jih z najpogosteje uporabljenimi sestojnimi kazalniki (drevesna sestava, debelinska struktura) ne zaznamo. Tako so vzorci razmestitve dreves uporabni za posredno ocenjevanje diverzitete in stabilnosti gozdov, ki sta pomembni merili trajnostnega in sonaravnega gospodarjenja (MCPFE 2007). Horizontalna struktura gozdov se spreminja, zato je spoznavanje vzorcev v času enako pomembno kot v prostoru (BONČINA 1997).

Horizontalno zgradbo sestojev lahko opisujemo z vrstno diverzitetjo, razmestitvijo dreves (osebkov), variacijami dimenzij (ALBERT 1999, cit. po POMMERENING 2002). V literaturi so se za opisovanje horizontalne zgradbe uveljavili številni indeksi diverzitete (GLEICHMAR / GEROLD 1998, PRETZSCH 1997, 2002, POMMERENING 2002, NEUMANN / STARLINGER 2001, AGUIRRE *et al.* 2003, GRAZ 2004, GADOW 2005, POMMERENING / STOYAN 2005, MONTES *et al.* 2005). V Sloveniji so raziskave horizontalne zgradbe gozdnih sestojev manj pogoste, pritegnile pa so že nekaj raziskovalcev (CEDILNIK / KOTAR 1992, KOTAR 1993, BONČINA 1994, 1997, PUHEK 1998a, PUHEK 1998b, HLADNIK 2004, KOBAL 2005, FIRM 2006, BONČINA / KADUNC / ROBIČ 2007).

Pridobivanje podatkov za izračun indeksov diverzitete je časovno in finančno zahtevno, saj meritve največkrat zahtevajo snemanje razdalj in (ali) kotov med drevesi. Zato iščemo nadomestne načine – kako bi z že zbranimi podatki o gozdnih sestojih, ki se sicer uporabljajo za druge namene, analizirali horizontalno zgradbo gozdnih sestojev. Največ podatkov o gozdnih sestojih pridobimo z meritvami na stalnih vzorčnih

ploskvah (SVP) v okviru gozdne inventure pri pripravi gozdnogospodarskih načrtov. Ti podatki se lahko uporabljajo tudi za ugotavljanje značilnosti habitatov, učinkov motenj, napadov bolezní, nevarnosti požarov (GRAY 2003), rastiščnega indeksa in relativne gostote sestojev (WOODALL / PERRY / MILES 2006), strukturne diverzitete (STERBA / LEDERMANN 2006), oblikovanje rastiščnih modelov (LEXEROD 2005), ugotavljanje učinkov redčenj (KÖHL / SCOTT / ZINGG 1995), oceno nevarnosti poškodb od snegoloma in vetroloma, raziskave gostote sestojev in njenega vpliva na rast in kakovost dreves (HEROLD / ULMER 2001).

Pommerening (2002) ugotavlja, da je podatke meritev s krožnih vzorčnih ploskev mogoče uporabiti tudi za izračun indeksov diverzitete za opis horizontalne zgradbe sestojev. Tudi Hladnik (2004) ugotavlja, da je ocenjevanje prostorske razmestitve dreves mogoče izpeljati s podatki, zbranimi s kontrolno vzorčno metodo. Isti avtor meni, da bo treba v gozdni inventuri razviti in preizkusiti metode za analizo prostorske razmestitve dreves, s katerimi bi lahko sklepali tudi o stabilnosti, strukturni raznovrstnosti in razvojni dinamiki gozdnih sestojev.

Pri uporabi podatkov s SVP za analizo horizontalne zgradbe smo omejeni, saj moramo v naboru številnih metod izbrati tiste, ki jih je glede na razpoložljive podatke s krožnih vzorčnih ploskev sploh mogoče uporabiti. Podatki s SVP, ki jih pridobiva Zavod za gozdove Slovenije pri pripravi gozdnogospodarskih načrtov za gozdnogospodarske enote, so zato zanimiv in doslej premalo izrabiljen vir za analizo horizontalne zgradbe gozdnih sestojev.

NAMEN PURPOSE

Na vzorcu petih izbranih gozdnogospodarskih enot smo želeli z različnimi indeksi diverzitete podrobneje analizirati horizontalno strukturo bukovih sestojev. Želeli smo preveriti naslednje hipoteze:

- Rastiščne razmere značilno vplivajo na horizontalno zgradbo sestojev. V ekstremnejših rastiščnih razmerah je šopasta razmestitev izrazitejša.
- Razmestitev dreves se z razvojem sestojev značilno spreminja.
- Z gospodarjenjem pospešujemo sistematično razmestitev dreves in enomernejšo zgradbo.
- Podatki s SVP, ki jih zbira Zavod za gozdove Slovenije, so primerni za izračun indeksov diverzitete.

RAZISKOVALNI OBJEKT IN METODE DE LA

RESEARCH AREA AND METHODS

V raziskavo smo zajeli pet gozdnogospodarskih enot (preglednica 1): Gomance kot predstavnika aldimontanskih bukovih gozdov, Gorjance in Rog kot predstavnika montanskega pasu, Željne Laze kot predstavnika submontanskega pasu ter Rogaško Slatino s prevladujočimi acidofilnimi bukovji. Večje komplekse naravnih bukovih rastišč najdemo tudi v alpskem svetu, vendar jih zaradi spremenjene drevesne sestave nismo vključili v analizo.

Analizirali smo podatke iz zbirke meritev na SVP Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS 1991, 1995, 1996, 1999, 2001, 2005, 2006, 2007). Podatke smo pripravili in analizirali s pomočjo programov Microsoft Excel 2003, Map Info Professional 7.8 in SPSS 15.0. Iz obdelave smo izključili vse ploskve, na katerih je bil delež smreke v lesni zalogi večji od trideset odstotkov. S tem smo izločili večino smrekovih nasadov, ki se pogosto pojavljajo na bukovih rastiščih. V izbranih enotah so tudi rastišča drugih drevesnih vrst, zato smo kot pogoj za uvrstitev ploskve v analizo določili še minimalni delež bukve (30 odstotkov). S tem smo se v Rogaški Slatini in na Gorjancih, kjer je večji delež združbe *Quercus-Carpinetum s. lat.*, izognili čistim hrastovim ali hrastovo-gabrovim sestojem, na Gomancah pa jelovo-smrekovim sestojem. Z raziskavo smo se omejili na 2-arsko ploskev, na kateri se merijo vsa drevesa, katerih premer je večji od 10 cm.

Najprej smo obdelali podatke na ravni gozdnogospodarskih enot, zatem pa še stratificirano glede na razvojno fazo. Oblikovali smo štiri stratume sestojnih tipov: največ (804) ploskev je pripadlo debeljakom ($N = 468,3$ N/ha, $s_N = 224,3$, $G = 31,2$, $s_G = 12,4$ m²/ha), 240 ploskev je bilo v drogovnjakih ($N = 888,8$ N/ha, $s_N = 436,9$ N/ha, $G = 26,6$ m²/ha, $s_G = 10,5$ m²/ha), 198 v sestojih v obnovi ($N = 293,7$, $s_N = 173,6$ N/ha, $G = 22,5$ m²/ha, $s_G = 11,7$ m²/ha) ter 142 v raznomernih sestojih ($N = 376,4$, $s_N = 235,1$ N/ha, $G = 28,2$ m²/ha, $s_G = 18,5$ m²/ha); v zadnjega smo združili posamično-šopasto ter skupinsko-gnezdsto raznomerne sestoje. Bukev drugih razvojnih faz (panjevec, pionirski in grmičav sestoj, dvoslojni sestoj) v izbranih enotah v glavnem ne oblikuje. Omejili smo se na minimalni vzorec 30 ploskev, zato vseh sestojnih tipov znotraj enot nismo mogli analizirati. V vseh enotah smo ploskve združili v stratum glede na naklon terena (prvi stratum je zajemal terene z nagibi pod 25°, drugi pa enake ali strmeje od 25°), v GGE Gomance tudi glede na višinski gradient (prvi stratum je obsegal nadmorske višine pod 1200 m in drugi enake ali večje od 1200 m). V drugih enotah, kjer so razlike v nadmorski višini manj izrazite, nismo opravili stratifikacije. Za enote, v katerih sta bili opravljeni že dve meritvi na SVP (GGE Rog, GGE Rogaška Slatina, GGE Željne Laze), smo glede na število posekanih dreves na ploskvi ugotavljali vpliv gospodarjenja. Stratum negospodarjeno je obsegal vse ploskve, na katerih je bilo število posekanih dreves 0 oziroma 1, stratum gospodarjeno pa 2 ali več posekanih dreves. Statistično značilne razlike v horizontalni zgradbi med posameznimi

Preglednica 1: Značilnosti analiziranih gozdnogospodarskih enot

Table 1: Characteristics of analysed forest management units

	Gozdnogospodarska enota / Forest management unit				
	Gomance	Gorjanci	Rog	Željne Laze	Rogaška Slatina
Gozdnogospodarsko območje / Forest management region	Postojna	Brežice	Kočevje	Kočevje	Celje
Površina (ha) / Area (ha)	3920,21	5394,71	3718,88	3825,01	4593,59
Število SVP / Number of PSP	409	418	675	613	348
Nadmorska višina (m) / Altitude (m)	1090-1370	271-850	670-930	555-780	272-663
Prevladujoča bukova združba / Prevailing beech community	<i>Adenostylo-Fagetum</i>	<i>Hacquetio-Fagetum, Lamio orvalae-Fagetum</i>	<i>Hacquetio-Fagetum, Omphalodo-Fagetum</i>	<i>Hedero-Fagetum, Hacquetio-Fagetum</i>	<i>Luzulo-Fagetum</i>
Št. analiziranih SVP / Number of analysed PSP	301	166	423	308	186
Št. dreves - N v N/ha (st. odkl. - s_N v N/ha) / Number of trees - N in N/ha (st. dev. - s_N in N/ha)	727,2 (379,9)	549,1 (371,9)	365,5 (191,1)	421,1 (231,0)	575,5 (352,0)
Temeljnica - G v m ² /ha (st. odkl. - s_G v m ² /ha) / Basal area - G in m ² /ha (st. dev. - s_G in m ² /ha)	31,4 (11,2)	29,6 (13,8)	28,2 (14,7)	26,6 (11,0)	29,5 (14,4)

*1. in 9. decil nadmorskih višin analiziranih SVP

*1. and 9. decil of altitudes of analysed PSPs

stratumi smo ugotavljali s parametričnim t-testom in kontingenčnim testom v programu SPSS 15.0.

INDEKSI DIVERZITETE DIVERSITY INDICES

Horizontalno zgradbo gozdnih sestojev lahko prikažemo na različne načine (slika 1). V literaturi so se uveljavili številni indeksi diverzitete, ki kot številke ali funkcije ponazarjajo značilnosti horizontalne zgradbe.

Za prikaz glavnih značilnosti horizontalne zgradbe smo uporabili različne indekse diverzitete: Shannonov indeks (H), Coxov indeks (CI), Clark-Evansov indeks (R), indeks družjenja (W), Ripleyevo funkcijo ($K(d)$), indeks diferenciacije premerov (T) (preglednica 2).

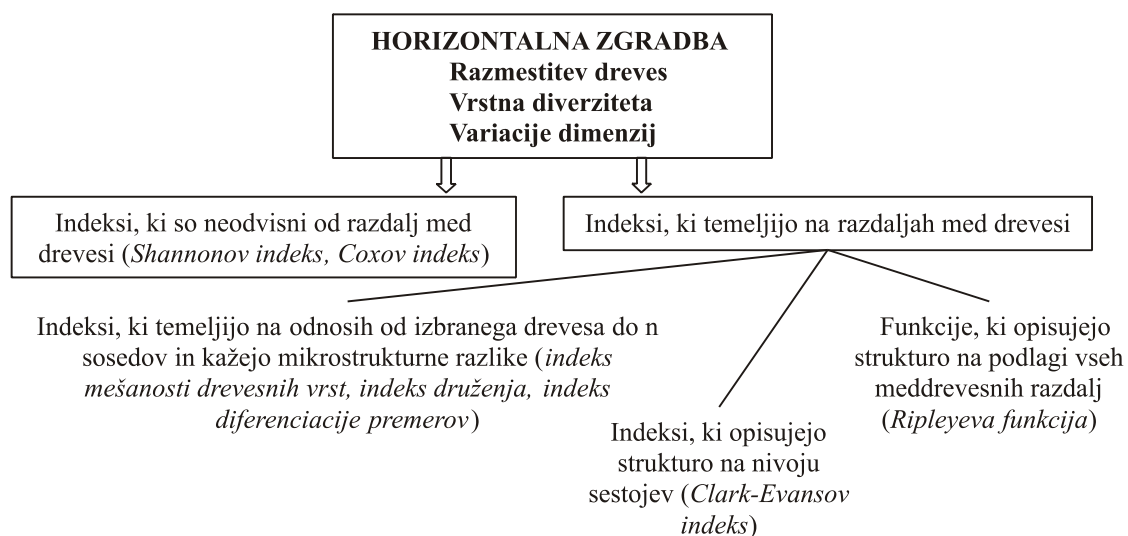
Shannonov indeks (H) v mešanih sestojih kaže vrstno diverziteto, v čistih pa ga lahko uporabimo za prikaz debelinske strukturiranosti. H narašča s številom debelinskih stopenj in kadar se pogostost med njimi izenačuje. Coxov indeks (CI) prikazuje način razmestitve dreves v sestoju, za izračun upošteva število dreves na ploskvi.

Clark-Evansov indeks agregacije (R) je najstarejša in najpogosteje uporabljena metoda ugotavljanja vzorcev razmestitve dreves v sestojih. R meri tudi stopnjo približevanja vzorca porazdelitve opazovane populacije k Poissonovi naključni porazdelitvi (KOTAR 1993). Za preizkus te metode smo na vsaki ploskvi izbrali prva tri drevesa, ki so bila najbliže središču SVP, izračunali razdalje do njihovega najbližjega sosedu (s predvidevanjem, da so bila najbližja sosednja drevesa na ploskvi) ter povprečno minimalno razdaljo na ploskvi. S pa-

rametrom z (CEDILNIK / KOTAR 1992, KOTAR 1993) smo ugotavljali, ali se razmestitev statistično značilno odklanja od Poissonove razmestitve. Če je izračunani z večji od 1,96, hipotezo o statistično značilnih razlikah potrdimo s tveganjem $\alpha = 0,05$, če je z večji od 2,58, pa s tveganjem $\alpha = 0,01$. Cedilnik in Kotar (1992) sta indeks agregacije modificirala na razdalje do treh najbližjih sosedov.

Indeks družjenja (W) spada v skupino indeksov, ki temeljijo na izbranem vzorčnem drevesu in njegovih n sosedih, so neodvisni od gostote dreves na ploskvi in kažejo sestojne razmere na manjši površini. Za izračun indeksa smo na vsaki SVP izbrali drevo, ki je bilo najmanj oddaljeno od njenega središča, in mu poiskali 4 najbližje sosedu (slika 2). Vsak par najbližjih sosedov oklepa dva kota ($\alpha + \beta = 360^\circ$ in $\beta \geq \alpha$). Druženje sosednjih dreves je definirano kot delež števila kotov α , ki so manjši od standardnega kota α_0 . Ta znaša v primeru povsem sistematične razmestitve štirih najbližjih sosedov 90° ($\alpha_0 = 360^\circ/4$). Kot med dvema sosedoma dobi torej vrednost 1, če je manjši od 90° , sicer pa vrednost 0. V skupini štirih sosedov lahko tako W_i zavzame pet vrednosti: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1. Podrobnejši vpogled v razmestitev dobimo s frekvenčno porazdelitvijo indeksa.

Indeks diferenciacije premerov (T) lahko tako kot indeks družjenja (W) računamo glede na štiri najbližje sosedu (slika 2), pomembne so razlike v premeru referenčnega drevesa in njegovih sosedov. Indeks uporabljamo za ugotavljanje diferenciacije drevesnih premerov. T je povprečje štirih indeksov, ki zavzemajo vrednost 0, če sta referenčno drevo in njegov sosed enakih premerov, in so večji, če so razlike v preme-



Slika 1: Metode za ugotavljanje glavnih značilnosti horizontalne sestojne zgradbe (glej tudi POMMERENING 2002)

Fig. 1: Methods for analysing main characteristics of horizontal stand structure (see also POMMERENING 2002)

Preglednica 2: Indeksi diverzitete

Table 2: Diversity indices

Indeks diverzitete	Izračun
Shannonov indeks (H) (STAUDHAMMER / LEMAY 2001; VARGA <i>et al.</i> 2005, KOTAR 2005)	$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$ H' ...povprečna nedoločenost za debelinsko stopnjo v sestoji s debelinskih stopenj z relativno frekvenco p_i
Coxov indeks (CI) (MONTES <i>et al.</i> 2005)	$CI = \frac{s_x^2}{\bar{x}}$ s_x^2 ...varianca števila dreves na ploskvi \bar{x} ..povprečno število dreves v stratumu $CI > 1$ šopasta razmestitev $CI < 1$ sistematična razmestitev
Clark-Evansov indeks agregacije (R) (CEDILNIK / KOTAR 1992, PRETZSCH 1997, POMMERENING 2002, POMMERENING / STOYAN 2005)	$R = \frac{x_{\text{obst}}}{x_{\text{prič}}}, \bar{x}_{\text{obst}} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \bar{x}_{\text{prič}} = \frac{1}{2\sqrt{\rho}}$ $z = \frac{x_{\text{obst}} - x_{\text{prič}}}{se(D)}, se(D) = \frac{0,2614}{\sqrt{n\rho}}$ N ...število dreves x_i ...razdalja do najbližjega soseda ρ ...število dreves na enoto površine n ...število sosedskih razdalj $R < 1$ šopasta razmestitev $R = 1$ naključna enakomerna razmestitev $R > 1$ sistematična razmestitev
Indeks druženja (W) (GADOW / HUI / ALBERT 1998, POMMERENING 2002)	$W = \frac{1}{n} \sum w_i; w_i \begin{cases} 1; & \alpha < \alpha_0 \\ 0; & \text{ostalo} \end{cases}$ α ...kot med dvema sosedoma α_0 ...kot med dvema sosedoma v naključni enakomerni razmestitvi w_i ...število kotov α , ki so manjši od α_0 $W > 0,6$ šopasta razmestitev $0,5 < W < 0,6$ naključna enakomerna razmestitev $W < 0,5$ sistematična razmestitev
Indeks diferenciacije premerov (T) (POMMERENING 2002)	$T_{ij} = 1 - \frac{\min(dbh_i, dbh_j)}{\max(dbh_i, dbh_j)}$ $0 < T < 0,3$ majhna diferenciacija $0,3 < T < 0,5$ povprečna diferenciacija $0,5 < T < 0,7$ velika diferenciacija $0,7 < T < 1$ zelo velika diferenciacija
Ripleyeva funkcija ($K(d)$) (SZWAGRZYK / CZERWEZAK 1993, MOEUR 1993, ANDERSEN 1992)	$\lambda K(d) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta_{ij}(d)}{n}; i \neq j; \delta_{ij}(d) \begin{cases} 1, & \text{če je } d_{ij} \leq d \\ 0, & \text{če je } d_{ij} > d \end{cases}$ $t = \pm 1,42 \sqrt{\frac{A}{(n-1)}}$ d_{ij} ...razdalja med drevesom i in j $\lambda K(d)$ pričakovano število dreves z razdaljo d do poljubnega drevesa A ...površina ploskve n ...število dreves na ploskvi t ...interval zaupanja

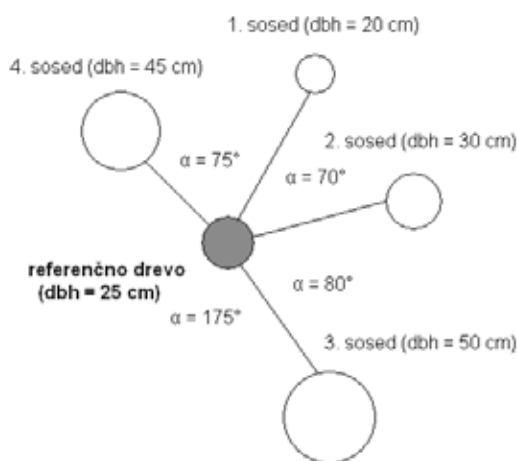
rih dveh sosedov velike. Podrobnosti lahko prikažemo s frekvenčno porazdelitvijo indeksa.

Ripleyeva funkcija ($K(d)$) upošteva razdalje med vsemi pari dreves na ploskvi. Okrog drevesa položimo krog z radijem r , znotraj tega kroga ugotovimo število dreves, s postopnim povečevanjem radija in ponavljanjem postopka dobimo kumulativno porazdelitveno funkcijo $\lambda K(d)$. Pri povsem naključni porazdelitvi dreves (Poisson) je $K(d)$ določena s parabolo πr^2 . Če so razdalje med drevesi v sestoji razmeroma velike, so vrednosti funkcije manjše od pričakovanih v Poissonovi porazdelitvi, če pa so vrednosti večje, je razmestitev bolj šopasta. Interval zaupanja lahko določimo s simulacijo Monte Carlo (ANDERSEN 1992, MOEUR 1993) ali s t -testom (RIPLEY 1979, cit. po SZWAGRZYK / CZERWEZAK 1993), ki smo ga uporabili v naši raziskavi. Razdalje smo merili le od tistih dreves, ki so bila od središča oddaljena manj kot polovico radija ploskve, kot največjo razdaljo od dreves (d) smo izbrali 4 m. S tem smo zagotovili, da nobeno izmed sosednjih dreves ni bilo zunaj ploskve.

Za izračun Shannonovega in Coxovega indeksa, ki nimata omejitev glede števila dreves, smo v analizo vključili vse SVP (drogovnjaki: $N = 240$, debeljaki: $N = 804$, sestoji v obnovi: $N = 198$, raznomerni: $N = 142$). Za izračun Clark-Evansovega indeksa, ki zahteva najmanj tri drevesa na ploskvi, smo v razvojni fazi drogovnjaki izločili 2, v debeljakih 26, v sestojih v obnovi 30 in v raznomernih sestojih 5 ploskev, za izračun

indeksa druženja in indeksa diferenciacije premerov, ki zahtevata minimalno pet dreves na ploskvi, pa v razvojni fazi drogovnjaki 11, v debeljakih 102, v sestojih v obnovi 82 in v raznomernih 39 ploskev.

Ker analize razmestitve dreves navadno zahteva poznavanje koordinat dreves, smo morali pri izračunu nekaterih indeksov podatke iz meritev na SVP pretvoriti iz polarnega v kartezijski koordinatni sistem. Za izračun Clark-Evansovega indeksa, ki upošteva razdalje med drevesi, smo le-te izračunali po formuli $y = \sqrt{Raz_1^2 + Raz_2^2 - 2Raz_1Raz_2 \cos(Azim_1 - Azim_2)}$, s katero dobimo iz azimutov in razdalj dveh dreves do istega središča razdaljo med tema dvema drevesoma. Pri indeksu druženja in indeksu diferenciacije, ki temeljita na sosedih najbližjega drevesa središču SVP, smo morali koordinatni sistem prestaviti v novo središče, v stojišče najbližjega drevesa. Vsakemu od štirih najbližjih sosedov smo iz azimuta in razdalje izračunali koordinate (x, y). Pri tem smo pazili na predznake, ki so odvisni od azimutov posameznih dreves od središča SVP. Koordinatam dreves smo nato odštevali koordinate središčnega drevesa, dobili nove koordinate dreves ter nove azimute, ki jih imajo sosednja drevesa glede na središčno drevo. Ti azimuti so bili podlaga za razvrščanje dreves od prvega do četrtega. Nato smo izračunali razdalje med prvim in drugim, drugim in tretjim itd. drevesom in na podlagi razdalj po kosinusnem izreku dobili kote, ki jih sosednja drevesa oklepajo med seboj.



Indeks druženja <i>Contagion index</i>	$W = \frac{1 + 1 + 1 + 0}{4} = 0,75$
Indeks diferenciacije premerov <i>DBH differentiation index</i>	$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} = \frac{\left(1 - \frac{20}{25}\right) + \left(1 - \frac{25}{30}\right) + \left(1 - \frac{25}{50}\right) + \left(1 - \frac{25}{45}\right)}{4} = 0,33$

Slika 2: Metoda izbranega drevesa in štirih najbližjih sosedov, indeks druženja in indeks diferenciacije premerov

Fig. 2: Method of reference tree and its four nearest neighbours, contagion index and DBH differentiation index

REZULTATI RESULTS

Najvišje vrednosti Shannonovega indeksa (H) so na Gomancah (preglednica 3), kar pomeni, da so drevesa v več debelinskih stopnjah in da so te zastopane z bolj enotnimi deleži. Na Rogu je razpon debelinskih stopenj najmanjši oziroma večkrat prevladuje posamezna stopnja. Vrednosti Coxovega indeksa (CI) so v vseh enotah zelo visoke, kar je posledica velike heterogenosti števila dreves po SVP. Najbližje šopasti razmestitvi (sodeč po CI) so sestoji na Gorjancih, v Gomancah in v Rogaški Slatini. Vrednosti Clark-Evansovega indeksa (R) nikjer statistično značilno ne odstopajo od naključne enakomerne razmestitve.

Vrednosti indeksa druženja (W) znašajo v vseh enotah okrog 0,6, kar nakazuje razmestitev, ki je vmes med naključno enakomerno in šopasto. Razlike med enotami so zelo majhne; nekoliko višji indeks je na Gorjancih, najnižji pa v Rogaški Slatini. V vseh enotah je povprečna diferenciacija premerov (T).

V drogovnjakih in debeljkih je sodeč po Shannonovem indeksu (H) najbolj pestra debelinska zgradba (preglednica 4). Debeljaki kažejo rahlo tendenco k sistematični razmestitvi. Sodeč po Coxovem (CI) in Clark-Evansovem (R) indeksu je rahla tendenca k sistematični razmestitvi dreves nakazana tudi v sestojih v obnovi, medtem ko indeks druženja (W) v tej

razvojni fazi nakazuje šibko tendenco dreves k šopasti razmestitvi. Sicer pa v nobenem sestojnem tipu nismo potrdili statistično značilnega odklona od naključne enakomerne razmestitve ($z > 1,96$). V drogovnjakih je v primerjavi z debeljki manjša diferenciacija premerov (T) (slika 3), s tveganjem $\alpha = 0,01$ smo odkrili statistično značilne razlike med tema sestojnima tipoma (t -test: $p = 0,000$).

Analiza razmestitve dreves v drogovnjakih in debeljkih znotraj posameznih gozdnogospodarskih enot je pokazala, da se sodeč po Coxovem indeksu drogovnjaki najbolj približujejo šopasti razmestitvi na Gorjancih ($CI = 6,64$, $N = 51$), debeljaki pa v Rogaški Slatini ($CI = 2,38$, $N = 97$). Tudi Clark-Evansov indeks je pokazal, da je šopasta razmestitev nakazana le v drogovnjakih na Gorjancih ($R = 0,86$, $z = -0,86$, $N = 49$), nasprotno pa se sistematični razmestitvi najbolj približujejo debeljaki v Rogaški Slatini ($R = 1,21$, $z = 1,37$, $N = 96$).

Glede na indeks druženja so najbližje šopasti razmestitvi drogovnjaki na Gorjancih ($W = 0,63$, $N = 43$) in v Rogaški Slatini ($W = 0,64$, $N = 55$), v debeljkih je šopasta razmestitev najmočneje nakazana na Gorjancih ($W = 0,64$, $N = 75$), sistematična pa v Rogaški Slatini ($W = 0,55$, $N = 87$) (slika 4). S tveganjem $\alpha = 0,01$ smo odkrili, da se debeljaki na Gorjancih in v Rogaški Slatini značilno razlikujejo v porazdelitvi indeksa druženja (W) (kontingenčna metoda: $p = 0,007$). Najmanjša diferenciacija premerov v drogovnjakih je na Goman-

Preglednica 3: Povprečne vrednosti indeksov diverzitete v petih analiziranih gozdnogospodarskih enotah

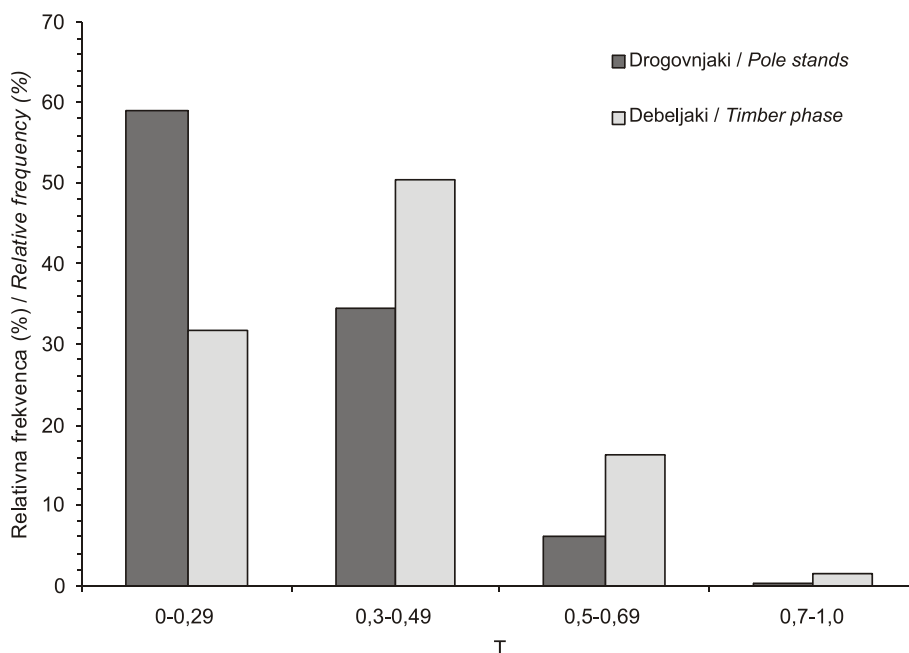
Table 3: Average values of diversity indices in five analysed forest management units

Indeks / Index	Gozdnogospodarska enota / Forest management unit				
	Gomance	Gorjanci	Rog	Rogaška Slatina	Željne Laze
H	1,36	1,21	1,16	1,27	1,28
CI	4,00	5,04	2,00	4,31	2,54
$R(z)$	1,11 (0,60)	0,99 (0,07)	1,08 (0,89)	1,12 (0,87)	1,02 (0,31)
W	0,61	0,63	0,61	0,59	0,62
T	0,33	0,36	0,38	0,34	0,39

Preglednica 4: Povprečne vrednosti indeksov diverzitete v analiziranih sestojnih tipih

Table 4: Average values of diversity indices in the analysed stand types

Indeks / Index	Sestojni tip / Stand type			
	Drogovnjaki Pole stands	Debeljaki Timber phase	Sestoji v obnovi Stands in regeneration	Raznomerni sestoji Uneven-aged stands
H	1,30	1,31	1,01	1,10
CI	4,30	2,15	2,05	2,94
$R(z)$	1,00 (-0,11)	1,09 (0,72)	1,07 (0,99)	1,07 (0,57)
W	0,62	0,61	0,67	0,58
T	0,29	0,38	0,38	0,38



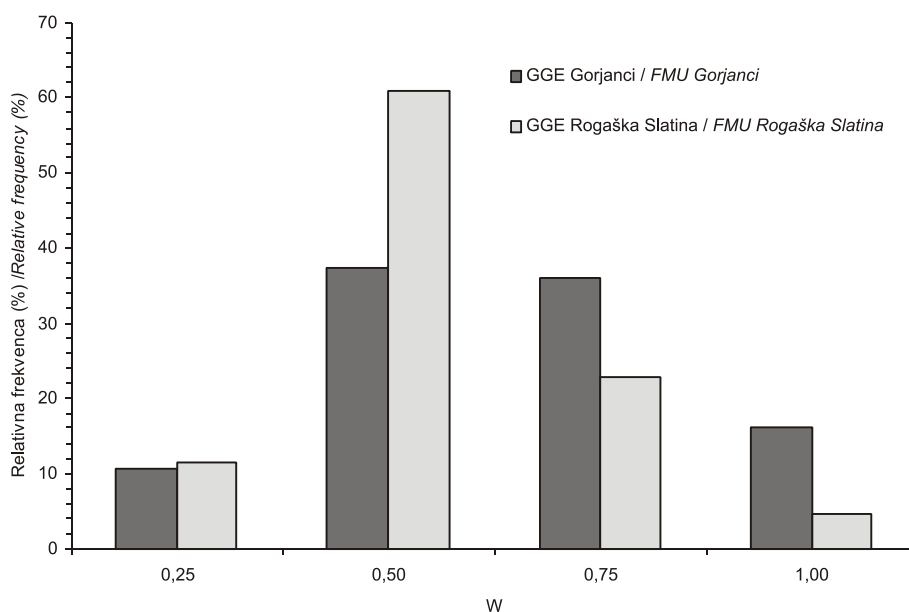
Slika 3: Porazdelitev indeksa diferenciacije premerov (T) v petih analiziranih GGE v drogovnjakih ($N=229$) in debeljaki ($N=702$)

Fig. 3: Distribution of DBH differentiation index (T) in five analysed FMU in pole stands ($N=229$) and in timber phase ($N=702$)

cah ($T = 0,28$, $N = 90$) in v Rogaški Slatini ($T = 0,27$, $N = 55$), v debeljaki je v vseh enotah dokaj podobna.

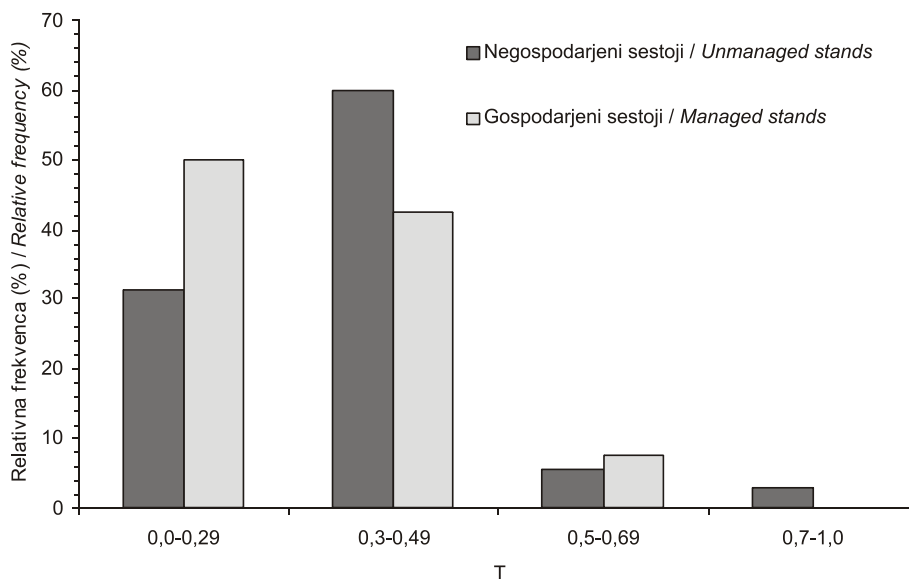
S testom (t) smo ugotovili, da se razmestitev dreves, izračunana z Ripleyevo funkcijo ($K(d)$), v nobenem primeru ne odklanja značilno od naključne razmestitve. V debeljaki so opazne rahle težnje k bolj sistematični razmestitvi, v drogovnjaki na Gomancih in na Gorjancih pa k šopasti.

Razmestitev dreves (W) oziroma diferenciacija njihovih premerov (T) se ne razlikujeta značilno po višinskih pasovih znotraj sestojnih tipov (t -test, $\alpha = 0,05$). Delno na razmestitev dreves vpliva nagib, in sicer so največje razlike v drogovnjaki, ki imajo šopasto zgradbo bolj nakazano na nekoliko strmějšíh terenih z nagibi nad 25 stopinj ($W = 0,65$, $N = 67$) v primerjavi s sestoji na nagibih pod 25 stopinj, vendar razlike



Slika 4: Porazdelitev indeksa druženja (W) v debeljaki na Gorjancih ($N = 75$) in v Rogaški Slatini ($N = 87$)

Fig. 4: Distribution of contagion index (W) in timber phase in FMU Gorjanci and FMU Rogaška Slatina



Slika 5: Porazdelitev indeksa diferenciacije (T) v gospodarjenih ($N = 26$) in negospodarjenih ($N = 35$) sestojih v drogovnjakih v GGE Rog, GGE Rogaška Slatina in GGE Željne Laze

Fig. 5: Distribution of DBH differentiation index (T) in managed ($N = 26$) and unmanaged ($N = 35$) pole stands in GGE Rog, GGE Rogaška Slatina and GGE Željne Laze

niso statistično značilne (t -test: $p = 0,208$). V debeljakih na različno strmih terenih razlike v porazdelitvi indeksa druženja (W) niso bile opazne.

S t -testom pri tveganju $\alpha = 0,05$ nismo odkrili, da bi količina posekanega drevja vplivala značilno na vzorec razmestitve dreves (W). V drogovnjakih, kjer gospodarimo, je manjša diferenciacija premerov ($T = 0,32$, $N = 26$) v primerjavi z negospodarjenimi drogovnjaki ($T = 0,35$, $N = 35$) (slika 5), vendar razlike niso statistično značilne (t -test: $p = 0,432$). V debeljakih razlike v porazdelitvi indeksa diferenciacije (T) niso opazne.

RAZPRAVA DISCUSSION

Ugotovili smo, da med analiziranimi gozdnogospodarskimi enotami ni pomembnih razlik v horizontalni zgradbi bukovih sestojev. Na večini analiziranih stalnih vzorčnih ploskev smo ugotovili naključno enakomerno razmestitev dreves, le na nekaj ploskvah je opazna težnja k šopasti oziroma sistematični razmestitvi dreves. Szwagryk in Czwezak (1993) sta z Ripleyevo funkcijo ugotovila, da so na manjši površini (manjša oddaljenost med drevesi) bukve razmeščene predvsem naključno, na večji pa so opazni vzorci povsem šopaste in tudi sistematične razmestitve.

Naša raziskava kaže, da gozdnogospodarske enote niso primerni stratumi za ugotavljanje vzorcev razmestitve dreves, primernejša je analiza po sestojnih tipih. Ugotovili smo, da

je tendenca dreves k šopasti razmestitvi izrazitejša v srednjedobnih (drogovnjaki) kot v starejših razvojnih fazah (debeljaki). Takšni vzorci so tudi v gozdovih, prepuščenih naravnemu razvoju. V njih drevesa z razvojem sestojev odmirajo, vzorci razmestitve se spreminjajo - od šopastih do naključnih in kasneje vse bolj sistematičnih (OLIVER / LARSON 1990). Šopasta rast v inicialnih fazah je posledica predvsem različnih razmer, pomembnih za razmnoževanje in rast (OLIVER / LARSON 1990, WHITTAKER 1975, cit. po BONČINA 1997). Z razvojem sestojna na bolj sistematično razmestitev dreves vplivata diferenciacija in mortaliteta dreves (OLIVER / LARSON 1990), v gospodarskem gozdu pa predvsem redčenje (BONČINA / KADUNC / ROBIČ 2007). Oheimb in sodelavci (2005) so analizirali zgradbo negospodarjenih bukovih sestojev in zaključili, da se sodeč po Clark-Evansovem indeksu pri najtanjših drevesih v sestoju nakazuje značilen odklon od naključne k šopasti razmestitvi, sovladajoča in vladajoča drevesa pa so bila razmeščena naključno.

V vseh analiziranih bukovih sestojih je bila diferenciacija premerov povprečna ($0,3 < T < 0,5$), pogosto se pojavlja tudi majhna diferenciacija ($0 < T < 0,3$). Zato lahko sklepamo, da so premeri sosednjih dreves podobni, pa tudi, da je sestojna zgradba enomerna. Podobno je ugotovil Kotar (1989) pri obširni raziskavi bukovih gozdov v Sloveniji. Diferenciacija premerov je najmanjša v drogovnjakih, kjer so zaradi visokih gostot in manjših premerov razlike v debelini drevja manjše kot v drugih sestojnih tipih.

Med sestoji, ki uspevajo v različnih višinskih pasovih, se vzorec razmestitve dreves ni značilno razlikoval. Višinski gradient znotraj večine analiziranih enot ni bil izrazit in so bile ploskve tako neprimerne za analizo. Izjema je le GGE Gomance, kjer so bili v analizo vključeni tudi sestoji, ki so uspevali na nadmorski višini do 1200 m. Vendar tudi v tem primeru ni bila nakazana šopasta razmestitev dreves, kar da slutiti, da v tem višinskem pasu rastiščne razmere niso bile tako ekstremne. Sicer pa glede na to, da je bila najbolj opazna tendenca k sistematični razmestitvi dreves v GGE Rogiška Slatina, kjer so nadmorske višine najnižje, k šopasti pa na višjih nadmorskih višinah na Gomancah, lahko posredno sklepamo na vpliv višinskega gradienta na sestojno zgradbo. Ugotovili smo, da na razmestitev dreves delno vpliva tudi nagib terena; v drogovnjakih na strmejših legah je opazna težnja k šopasti razmestitvi dreves. Šopi dreves so praviloma bolj stabilni (SCHÖNENBERG 2001), pomen mehanske stabilnosti sestojev pa je v skrajnejših rastiščnih razmerah, ki jih lahko določajo tudi strmejši nagibi terena, večji.

Ugotovili smo, da je diferenciacija premerov v gospodarjenih sestojih manjša kot v negospodarjenih. Posredno lahko sklepamo, da z redčenji oblikujemo enomernejše sestoje. Hipoteze, da z večjo intenziteto poseka vplivamo na sistematično razmestitev dreves, nismo mogli potrditi. Vendar število posekanih dreves na ploskvi ni povsem ustrezen indikator načina gospodarjenja. Bončina (1994) na primer ugotavlja, da z redčenji res pospešujemo bolj sistematično razmestitev, vendar to velja predvsem za izbrana drevesa. Na porazdelitev dreves v redčenih sestojih ne vpliva toliko jakost redčenj kot način izbire kandidatov. Izbravec je lahko posamezno drevo, lahko pa tudi dve drevesi ali celo več dreves obravnavamo kot izbrano drevo. Zbirka podatkov s SVP ne vključuje podatkov o izbrancih, zato ne moremo sklepati o vplivu gospodarjenja (npr. redčenj) na razmestitev izbrancev. Namesto izbrancev bi lahko analizirali dominantna drevesa, pri katerih so vzorci sistematične razmestitve najbolj izraziti (OLIVER / LARSON 1990, BONČINA / KADUNC / ROBIČ 2007). Pri ocenjevanju vpliva intenzivnosti gospodarjenja na razmestitev dreves smo oblikovali le dva stratuma – gospodarjeni in negospodarjeni sestoji; merilo za gospodarjen sestoj je bil posek vsaj dveh dreves na ploskvi v obdobju desetih let. Za zanesljivejšo analizo vpliva intenzivnosti gospodarjenja na razmestitev dreves bi potrebovali večje vzorčne enote, ki bi jih glede na jakost poseka lahko uvrščali v več stratumov intenzivnosti gospodarjenja. Debeljaki, kjer so vplivi gospodarjenja dolgotrajnejši kot v drogovnjakih, kažejo rahlo

tendenco k sistematični razmestitvi, kar je verjetno posledica kombinacije sečenj in mortalitete. Nekoliko presenetljiva je ugotovitev, da je sodeč po Clark-Evansovem indeksu tudi v sestojih v obnovi rahlo nakazana težnja k sistematični razmestitvi, kar daje slutiti, da je prostorski koncept obnove lahko pogosto bližje zastornemu kot skupinsko-postopnemu gospodarjenju. Pri slednjem oblikujemo pomladitvena jedra (vrzeli) in bi zato pričakovali poudarjeno težnjo k šopasti razmestitvi preostalega nadstojnega drevja. Nasprotno pa indeks druženja pričakovano kaže na šibko tendenco dreves k šopasti razmestitvi sestojev, kar nakazuje, da je težko oblikovati trdnejše zaključke o razmestitvi drevja v tej razvojni fazi.

Uporabnost podatkov s SVP za raziskave horizontalne strukture sestojev je omejena in znatno odvisna od uporabljanih metod. Metoda, ki temelji na izbranem drevesu in njegovih štirih najbližjih sosedih, se je izkazala za zelo primerno. Tudi Pommerening (2002) ugotavlja, da lahko to metodo uporabimo za izračun številnih indeksov (npr. indeks druženja, indeks diferenciacije premerov) s podatki, pridobljenimi z inventuro drevja na krožnih vzorčnih ploskvah. Če bi želeli analizirati horizontalno strukturo v mešanih gozdovih, bi lahko to metodo dopolnili z indeksom mešanja drevesnih vrst (GRAZ 2004, GADOW 2005). Prednost metode izbranega drevesa in štirih najbližjih sosedov in analiziranih indeksov je, da jih je mogoče dokaj preprosto izračunati z računalniškimi programi, hkrati pa lahko s frekvenčno porazdelitvijo vrednosti posameznega indeksa podrobneje analiziramo vzorec razmeščanja dreves in drevesnih vrst. Ker metoda temelji na razdaljah do prvih štirih sosedov, je primerna za opisovanje razmestitve dreves na manjši površini. Slaba stran metode je, da temelji le na razdaljah med najbližjimi drevesi, ne upošteva pa razdalj do bolj oddaljenih dreves, kar je za razumevanje vzorcev razmeščanja lahko zelo pomembno. Tako so lahko sestojne razmere pri enakih vrednosti indeksov različne glede na povprečno oddaljenost med drevesi. Metoda tudi ne upošteva sestojne gostote, ki je prav tako povezana z analizo razmestitve dreves (PUHEK 1998a, 1998b). Večja gostota bi lahko vplivala na manjše kote med drevesi, vendar v naši raziskavi neposrednega vpliva gostote sestoja nismo ugotavljali. Glede na to, da so v drogovnjakih, kjer so povprečne vrednosti števila dreves višje, nakazane nekoliko večje težnje dreves k šopasti razmestitvi, bi lahko sklepali na povezavo. Sicer pa bi bila za tehtnejše zaključke potrebna usmerjena dodatna raziskava.

Med drugimi analiziranimi indeksi se je najbolje obnesel Clark-Evansov indeks R, ki temelji na razdalji do najbližjega

soseda. Izračunane vrednosti dajejo podobne rezultate, kot smo jih ugotovili z indeksom druženja. Sicer pa indeksom, ki temeljijo le na razdalji do najbližjega soseda, očitajo, da dajejo premalo informacij o zgradbi celotnega sestoja. Cedilnik in Kotar (1992) sta zato modificirala indeks, tako da upošteva razdalje do prvih treh najbližjih sosedov; takšna metoda bolje opisuje razmestitev dreves v sestoji, hkrati pa je z njo mogoče ugotavljati tudi način razmeščanja dreves v šopih. Coxov indeks je manj primeren za ugotavljanje vzorcev razmestitve dreves, saj ne upošteva razdalj med drevesi. Shannonov indeks, ki je sicer primeren tudi za uporabo podatkov s SVP, se pogosteje uporablja za ocenjevanje biodiverzitete in ustreznosti habitatnih tipov v gozdovih (npr. POMMERE-NING 2002, NEUMANN / STARLINGER 2001, HLADNIK / SKVARČA 2008, HLADNIK / TAJNIKAR 2008). Ripleyeva funkcija, ki upošteva vse razdalje med drevesi na ploskvi, daje natančnejši vpogled v vzorce razmestitve dreves, vendar podatki s SVP niso primerni za njeno uporabo. Ripleyevo funkcijo navadno uporabljajo za ugotavljanje vzorcev razmestitve dreves na večjih površinah. Pri razdaljah od dreves, kot jih dopušča polovica radija notranje ploskve na SVP (če želimo, da nobeno od sosednjih dreves ni zunaj ploskve), je praktično nemogoče ugotavljati statistično značilne odklone od teoretičnih razmestitev.

Razširjenost in delež bukve v lesni zalogi slovenskih gozdov se krepi, narašča tudi zavedanje o ekološkem in ekonomskem pomenu bukve kot naravne drevesne vrste. Zato se postopno povečuje tudi število raziskav o strukturi bukovih gozdov. Za bukove sestoje so značilne specifične sestojne zgradbe v primerjavi s sestoji drugih drevesnih vrst (DIACI 2006); bukev pogosto oblikuje čiste in enodobne sestoje (KOTAR 1989), v katerih se pojavlja tudi gručasta razmestitev osebkov v obliki šopov in skupin (MARINČEK 1987). V navidez homogenih bukovih sestojih je horizontalna zgradba lahko zelo raznolika. Horizontalna sestojna zgradba, predvsem razmestitev dreves, je pogosto zapostavljena sestavina strukture gozdnih sestojev, čeprav je lahko pomembna z različnih vidikov. Mehanska stabilnost sestojev s šopasto razmestitvijo dreves je praviloma večja, saj je v takšnih razmerah večja mehanska odpornost na abiotске vplive (veter in sneg) (SCHÖNENBERG 2001). V sestojih, kjer je po naravi opazna težnja k oblikovanju šopov, je pri gojitvenem ukrepanju priporočljivo ohranjati takšno strukturo, da zagotovimo stabilnost sestojev (BONČINA / KADUNC / ROBIČ 2007). Ob vse večjem poudarjanju biodiverzitete se pogosto poudarja pomen vrstne, premalo pa strukturne diverzitete. Vsekakor pa

velja, da je treba diverzitetu, tudi strukturno, presojati glede na rastiščne razmere, torej glede na »naravno« diverzitetu. Zanimiv vidik je lahko tudi, kako razmestitev dreves vpliva na priraščanje in kakovost drevja - ali sta prirastek in kakovost dreves, ki rastejo v šopih, različna od tistih, ki so razmeščena bolj enakomerno. Z redčenji praviloma oblikujemo bolj enakomerno razmestitev dreves, saj je prostorska razmestitev eden izmed kriterijev za oblikovanje mreže izbrancev. Če pa kandidati za izbrance, upoštevajoč kakovost in vitalnost, niso sistematično razmeščeni, potem lahko izbrance izbiramo tudi v šopih (BONČINA / KADUNC / ROBIČ 2007). S tem v določenih razmerah dosežemo višjo vrednostno proizvodnjo (KATO / MÜLDER 1992).

Kazalce horizontalne zgradbe gozdnih sestojev lahko izračunamo z različnimi metodami. Naša raziskava je pokazala, da so podatki s SVP uporabni za analizo horizontalne strukture gozdnih sestojev, če jih analiziramo s primernimi ali tudi modificiranimi indeksi. Ugotavljamo, da ima poleg številnih omejitev (majhna ploskev in posledično premalo dreves predvsem v sestojih v obnovi, pa tudi v debeljakih) tudi prednosti v primerjavi s podrobnimi meritvami horizontalne sestojne zgradbe. V prihodnosti vidimo velik izziv za analizo večjega vzorca bukovih gozdov, zanimive bodo tudi raziskave horizontalne zgradbe sestojev drugih drevesnih vrst in mešanih sestojev. Ob tem bo pomembno izbrati in uporabiti primerne metode, za katere bo mogoče uporabiti tudi podatke iz gozdnih inventur.

SUMMARY POVZETEK

Slovenia is one of the European countries with the biggest share of European beech (hereafter beech) sites (DAKSKOBLER 2008). According to Perko (2004), 70% of forests in Slovenia grow on beech sites and in 25% of forests beech is the dominant tree species (FICKO *et al.* 2008). The presence of beech and its share in growing stock on natural beech sites is increasing (MARINCEK 1987, KOTAR 1989, BONCINA 1994, POLJANEC 2008), as we are becoming aware of a several positive influences of beech on forest stands (ROZENBERGAR / FICKO / DIACI 2008). There is also an increasing number of researches in beech forests (ZBORNIK...2008).

Some authors (KOTAR 1993, BONCINA 1997) analysed horizontal stand structure (spatial distribution of trees) in beech stands. Horizontal structure can be described with spe-

cies diversity, spatial distribution of trees and variation in tree dimensions (ALBERT 1999; cit. after POMMERENING 2002). These characteristics can be measured with different diversity indices (GLEICHMAR / GEROLD 1998, POMMERENING 2002, PRETZSCH 1997, 2002, NEUMANN / STARLINGER 2001, AGUIRRE *et al.* 2003, GRAZ 2004, GADOW 2005, POMMERENING / STOYAN 2005, MONTES *et al.* 2005).

We analysed horizontal stand structure of beech stands in five forest management units (FMU), and also by prevalent stand types. We used data from measurements on permanent sample plots (PSP), which are gathered by the Slovenia Forest Service (SFS). Some distance-independent (Shannon index, Cox index) and some distance-dependent indices (Clark-Evans index, contagion index, DBH differentiation index) were calculated to describe horizontal stand structure and also the influence of site conditions and cutting intensity on spatial distribution of trees and differentiation of their diameter was evaluated.

The highest values of the Shannon index ($H = 1,36$) were calculated for FMU Gomance; this implies that trees are of many diameter classes. Inversely goes for FMU Rog ($H = 1,16$). The Cox index (CI) was very high due to a big heterogeneity in number of trees on PSP. The strongest tendency to the clustered pattern of trees ($CI = 5,04$, $R = 0,99$, $W = 0,63$) was pointed out in FMU Gorjanci, while trees in FMU Rogaška Slatina appeared to be quite regularly distributed ($R = 1,12$, $W = 0,59$). DBH differentiation was mostly average ($0,3 < T < 0,5$).

Pole stands showed the strongest but not significant tendency towards the clustered tree patterns ($R = 1,00$; $z = -0,11$; $CI = 4,3$; $W = 0,62$). In other stand types, the tree distribution was mostly random. DBH differentiation was smaller in pole stands and became higher in timber phase. Trees tend to become somewhat regularly spaced in a stand as they grow older (OLIVER / LARSON 1990). The Ripley function showed no deviation of spatial distribution from a Poisson distribution. According to the contagion index (W), trees showed more clustered pattern ($W = 0,65$) on steeper slopes (above 25°). In many cases, the mechanical stability of forest stands is better if trees are distributed in clusters (SCHOENENBERG 2001) and this is especially important on extreme sites as shown in this research. Silvicultural treatments (thinning) also causes changes in the horizontal stand structure, as we cut trees to promote very similar dimensions of neighbouring trees. However, we did not confirm that thinning causes more uniform

spatial distribution of trees. One reason for this conclusion is that the number of cut trees is not the most appropriate indicator of the forest management. The spatial distribution of trees is more connected to the way we choose candidates than to the number of cut trees. We could avoid this problem by analysing only dominant trees, because spatial distribution is considered when selecting them during thinning (BONCINA / KADUNC / ROBIC 2007).

Data from PSP can be used to describe horizontal stand structure. The most appropriate method is the method of a reference tree and its four nearest neighbours - this method can be combined with several indices (contagion index, DBH differentiation index), which can be presented as frequency distributions. A disadvantage of these indices is that they are based on small-scale data (POMMERENING 2002).

Horizontal stand structure is often a disregarded, but an important view of stand structure. It gives us a more detailed insight into stand structure and is one of crucial factors when assessing mechanical and biological diversity in forests. Diversity is becoming increasingly important, but it is often that only species diversity is taken into consideration and not the structural one. In the future, we will need to acquire knowledge about horizontal structure of natural stands, so that we will be able to judge the structure of managed forests. The results will also inform managers about the consequences of silvicultural activities.

ZAHVALA

Raziskava je potekala v okviru projekta Razširjenost, struktura in pomlajevanje bukovih gozdov v Sloveniji ter model prihodnjega razvoja in gospodarjenja (L4-9231-0481), ki sta ga s sofinanciranjem omogočila Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Podatke za analizo smo dobili od Zavoda za gozdove Slovenije.

VIRI REFERENCES

- AGUIRRE, O. / GANGYING, H. / GADOW, K.v. / JIMENÉZ, J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183, 137-145
- ANDERSEN, M. 1992. Spatial analysis of Two-species Interactions. *Oecologia*, 91, 1, 134-140
- BOHN, U. / GOLLUB, G. / HETTWER, C. (eds.). 2000. Karte der natürlichen Vegetation Europas: Masstab 1: 2 500 000. Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- BONČINA, A. 1994. Vpliv redčenj na razvoj bukovih sestojev na Somovi gori. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 44, 85-106.

- BONČINA, A. 1997. Naravne strukture gozda in njihove funkcije pri sonaravnem gospodarjenju z gozdom. Doktorska disertacija, Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo, 210 str.
- BONČINA, A. / KADUNC, A. / ROBIČ, D. 2007. Effects of selective thinning on growth and development of beech (*Fagus sylvatica* L.) forest stands in south-eastern Slovenia. *Ann. For. Sci.*, 64, 47-57
- CEDILNIK, A. / KOTAR, M. 1992. Razmestitev dreves v sestoji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 40, 15-40
- DAKSKOBLER, I. 2008. Pregled bukovih rastišč v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87, 3-14
- DIACI, J. 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Učbenik za študente univerzitetnega študija gozdarstva. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 348 str.
- FICKO A. / KLOPČIČ, M. / MATIJAŠIČ, D. / POLJANEC, A. / BONČINA, A. 2008. Razširjenost bukve in strukturne značilnosti bukovih sestojev v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87, 46-60
- FIRM, D. 2006. Razvoj visokogorskih gozdov v rezervatu Polšak. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, 68 str.
- GADOW, K.v. / HUI, G. Y. / ALBERT, M. 1998. Das Wilkemas – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. (The neighbourhood pattern – a new parameter for describing forest structures.) *Centralbl. Gesamte Forstwes.* 115, 1-10
- GADOW, K. v. 2005. Forsteinrichtung (Analyse und Entwurf der Waldentwicklung). Georg-August-Universität Göttingen, 342 str.
- GLEICHMAR, W. / GEROLD, D. 1998. Indizes zur Charakterisierung der horizontalen Baumverteilung. *Forstw. Cbl.* 117, 69-80
- GRAY, A. 2003. Monitoring stand structure in mature coastal douglas-fir forests: effect of plot size. *Forest Ecology and Management*, 175, 1-16
- GRAZ, P. F. 2004. The behaviour of the species mingling index M_{sp} in relation to species dominance and dispersion. *Eur. J. Forest. Res.*, 123, 87-92
- GUERICKE, M. 2002. Untersuchung zur Wuchsdynamik der Buche, *Forst und Holz*, 57, 331-337.
- HEROLD, A. / ULMER, U. 2001. Stand stability in the Swiss National Forest Inventory: assesment technique, reproducibility and relevance. *Forest Ecology and Management*, 145, 29-42
- HLADNIK, D. 2004. Ocenjevanje prostorske zgradbe jelovo-bukovih sestojev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 74, 165-186
- HLADNIK, D. / SKVARČA, A. 2008. Gozdarske raziskovalne ploskve in stalne vzorčne ploskve na območjih Natura 2000 na Slovenskem. *Gozdarski vestnik*, 67, 1, 3-17
- HLADNIK, D. / TAJNIKAR, M. 2008. Gozdni habitatni tipi območij Natura 2000 v krajinski zgradbi Pohorja. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87, 15-32
- KADUNC, A. 2006. Kakovost okroglega lesa bukve (*Fagus sylvatica* L.) s posebnim ozirom na pojav rdečega srca. Študija, Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 37 str.
- KATO, F. / MÜLDER, D. 1992. Qualitative Gruppendurchforstung der Buche – Wertentwicklung nach 25. Jahren. *AFJZ* 163, 11/12, 197-203
- KOBAL, M. 2005. Zgradba gozdnih sestojev in krajinske spremembe v gozdnogospodarski enoti Otlica. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, 66 str.
- KOTAR, M. 1989. Prirastoslovni kazalci rasti in razvoja bukovih gozdov v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 33, 59-80
- KOTAR, M. 1993. Določanje načina razmestitve dreves v optimalni razvojni fazi gozda. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 42, 121-153
- KOTAR, M. 1994. Vpliv nekaterih rastiščnih dejavnikov, sestojnih kazalcev in drevesnih značilnosti na pojavnost rdečega srca pri bukvi. *Gozdarski vestnik*, 52, 9, 346-365
- KOTAR, M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije, 500 str.
- KOTAR, M. / BRUS, R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana. Slovenska Matica, 320 str.
- KÖHL, M., SCOTT, C. T., ZINGG, A. 1995. Evaluation of permanent sample surveys for growth and yield studies: a Swiss example. *Forest Ecology and Management*, 71, 187-194
- LEXERØD, N. L. 2005. Recruitment models for different tree species in Norway. *Forest Ecology and Management*, 206, 91-108
- MARINČEK, L. 1987. Bukovi gozdovi na Slovenskem. Ljubljana, Delavska enotnost, 153 str.
- MCPFE, 2007. Forest for quality of life. The MCPFE (Ministerial Conference of the Protection of Forests in Europe) report, Warsaw, 5-7 November 2007, 8 str.
- MOEUR, M. 1993. Characterizing Spatial Patterns of trees using stem mapped data. *Forest Science*, 39, 4, 756-775.
- MONTES, F. / SÁNCHEZ, M. / RÍO, M. d. / CAÑELLAS, I. 2005. Using historic management records to characterize the effects of management on the structural diversity of forests. *Forest Ecology and Management*, 207, 279-293
- NEUMANN, M. / STARLINGER, F. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management*, 145, 91-106
- OHEIMB, G. v. / WESTPHAL, C. / TEMPEL, H. / HÄRDITL, W. 2005. Structural pattern of a near-natural beech forest (*Fagus sylvatica*) (Serrahn, North-east Germany). *Forest Ecology and Management*, 212, 253-263
- OLIVER, C. D., LARSON, B. C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill, New York, 467 str.
- PERKO, F. 2004. Gozd in gozdarstvo Slovenije. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Ljubljana, 44 str.
- POLJANEC, A. 2008. Strukturne spremembe gozdnih sestojev v Sloveniji v obdobju 1970-2005. Doktorska disertacija, Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo, 126 str.
- POMMERENING, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75, 305-324
- POMMERENING, A. / STOYAN, D. 2005. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Can. J. For. Res.*, 36, 1723-1739
- PRETZSCH, H. 1997. Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. *Forest Ecology and Management*, 97, 237-253
- PRETZSCH, H. 2002. *Grundlagen der Waldwachstumsforschung*. Parey Buchverlag, 414 str.
- PRETZSCH, H. 2005. Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long-term experimental plots. *Eur. J. For. Res.*, 124, 193-205
- PUHEK, V. 1998a. Preizkus veljavnosti metod razmika za ocenjevanje gostote in temeljnice sestojev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 42, 155-198
- PUHEK, V. 1998b. Procjena strukturnih elementala sastojine na osnovu prostornog rasporeda stabala. Disertacija. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 194 s.
- ROŽENBERGAR, D. / FICKO, A. / DIACI, J. 2008. Sodobno gojenje bukovih gozdov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87, 77-87
- SCHÖNENBERG, W. 2001. Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures – a review. *Forest Ecology and Management*, 145, 121-128
- STANDHAMMER, C.L. / LEMAY, V.M. 2001. Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. *Can. J. For. Res.*, 31, 1105-1115
- STERBA, H. / LEDERMANN, T. 2006. Inventory and modeling for forests in transition from even-aged to uneven-aged management. *Forest Ecology and Management*, 224, 278-285
- SZWAGRZYK, J. / CZERWEZAK, M. 1993. Spatial Patterns of Trees in Natural Forests of East-Central Europe. *Journal of Vegetational Science*, 4, 4, 469-476
- VARGA, P. / CHEN, C.Y.H. / KLINKA, K. 2005. Tree-size diversity between single- and mixed- species stands in three forest types in western Canada. *Can. J. For. Res.*, 35, 593-601
- WOODALL C. / PERRY, C. / MILES, P. 2006. The relative density of forests in the United States. *Forest Ecology and Management*, 226, 368-372
- ZGS. 1991. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Rogaška Slatina, prva meritev. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS. 1995. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Željne Laze, prva meritev. Zavod za gozdove Slovenije.

- ZGS. 1996. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Rog, prva meritev. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS. 1999. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Gomance, prva meritev. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS. 2001. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Rogaška Slatina, druga meritev. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS. 2005. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Željne Laze, druga meritev. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS. 2006. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Željne Rog, druga meritev. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS. 2007. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev za GGE Gorjanci, prva meritev. Zavod za gozdove Slovenije.