

HOMOGENOST I PROSTORNA STRUKTURA ZRELIH SASTOJINA HRASTA KITNJAKA U BOSNI I HERCEGOVINI

HOMOGENEITY AND SPATIAL STRUCTURE OF MATURE STANDS OF SESSILE OAK IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Vojislav Dukić^{1*}, Branko Stajić², Danijela Petrović¹

¹ Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Bulevar Vojvode Stepe Stepanovića 75A, 78 000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina

² Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Kneza Višeslava 1, 11 000 Beograd, Srbija

*e-mail: vojislav.dukic@sf.unibl.org

Izvod

U čistim zrelim sastojinama hrasta kitnjaka u kontinentalnom dijelu Bosne i Hercegovine istraživani su elementi prostorne strukture sastojina. Privremene ogledne površine postavljene su na pet lokaliteta, tačnije, u pet ekoloških jedinica. Sastojine se nalaze u VII dobnom razredu (120–140 godina). Za definisanje homogenosti sastojina izračunati su indeksi homogenosti. U istraživanim sastojinama, sa pogoršanjem stanišnih uslova smanjuje se homogenost. Utvrđeni indeksi diferenciranja prečnika stabala po ekološkim jedinicama su približno jednaki. Primjenom metoda za utvrđivanje prostornog rasporeda stabala konstatovana je značajna slučajnost razmještaja stabala u prostoru.

Ključne riječi: hrast kitnjak, indeks diferenciranja prečnika stabala, indeks homogenosti, prostorni raspored stabala, zrela sastojina

1. UVOD / INTRODUCTION

Prema podacima Druge državne inventure šuma (2006–2009. godina) u Bosni i Hercegovini, ukupna površina šuma i šumskog zemljišta je 3.231.000 ha. Ovi podaci pokazuju da je više od 60% teritorije Bosne i Hercegovine pod šumom i šumskim zemljištem, odnosno da je 55% površine pod šumom. U pitanju su vrijednosti koje su među najvišim u Evropi. Visoke šume sa prirodnom obnovom zauzimaju više od 50% (1.652.000 ha), a izdanačke šume 40% (1.252.000 ha) ukupne površine šuma. Površina šuma hrasta kitnjaka je 356.000 ha (Čabaravdić et al., 2016).

Udio mezofilnih hrastovih šuma (*Quercus-Carpinetum*, *Quercetum petraeae montanum* i *Carpino betuli-Quercetum roboris incl. Genisto elae-*

tae-Quercetum roboris), polazeći od površine osnovnih tipova šuma u Bosni i Hercegovini u skladu sa Stefanović et al. (1983), iznosi oko 21% ukupne površine šuma Bosne i Hercegovine (FAO, 2015).

Pri planiranju i donošenju odluka u šumarstvu i zaštiti životne sredine neophodne su brojne informacije o strukturi sastojina. Veći broj autora se bavio definisanjem strukture sastojina. Prema Pranjić & Lukić (1997) „*pod strukturom sastojine podrazumijeva se distribucija vrsta, broja stabala i njihovih dimenzija po jedinici površine (hektar). Struktura sastojine je rezultat intenziteta rasta pojedinih vrsta pod uticajem prirodnih faktora i čovjeka. Postoje dvije tipične strukture sastojina, jednodobna i preborna, kao i niz prelaznih*

oblika između ova dva tipa". Kimins (Kimmins, 1997) jednostavno konstatuje da je struktura sastojine vertikalna i horizontalna organizacija stabala, odnosno, prema Zeneru (Zenner, 1999), struktura sastojina može biti okarakterisana horizontalno, kroz prostorni raspored stabala, i vertikalno, kroz visinsko diferenciranje stabala. Li i saradnici (Lee et al., 1999) definišući strukturu šuma navode da struktura opisuje raspodjelu „svojtava” stabala unutar jedne sastojine. Pod strukturom sastojine Gadov (von Gadow, 2002) podrazumijeva ravnomjernost raspodjeljenosti pojedinih „atributa” stabala u sastojini.

Pored do sada prvenstveno izučavane tzv. jednostavne ili proste strukture sastojina, koja se

opisuje raspodjelom frekvencija „atributa” stabala (elemenata rasta), postoji i tzv. prostorna struktura sastojina, koja se karakteriše raspodjelom i opisom odnosa i veza stabala i njihovih dimenzija u prostoru. Informacije o prostornom rasporedu stabala imaju višestruku primjenu. Koriste se prilikom opisa staništa i sastojina, procjene osnovnih uslova za rast stabala, modelovanja razvoja šumskih ekosistema, za karakterisanje diverziteta pozicija u šumskim sastojinama, planiranje metoda i vrste inventure šuma. (Wenk et al., 1990; Pretzsch, 1993; von Gadow, 1993; Goreaud et al., 1999; Stajić & Vučković, 2005, 2006; Pommerening, 2002, 2006; Stajić, 2010).

2. MATERIJAL I METODE / MATERIAL AND METHODS

U sastojinama hrasta kitnjaka (Slika 1) u kontinentalnom dijelu Bosne i Hercegovine, osnovni elementi rasta i neki elementi tzv. prostorne strukture sastojina istraživani su postavljanjem privremenih oglednih površina. Privremene ogledne površine postavljene su u okviru sveobuhvatnog istraživanja hrastovih šuma sa aspekta nauke o prirastu šuma i modeliranju rasta šuma (Dukić, 2011; Dukić, 2014). Ogledne površine (50m x 50 m) su postavljene u jednodobnim zrelim sastojinama hrasta kitnjaka u kojima proteklih sedam godina nije vršena sječa. Struktura sastojine i stanišni uslovi (pedološke karakteristike, ekspozicija, nagib terena i sl.) homogeni su na oglednoj površini i u pojasu širine 25 m izvan ogledne površine. Istraživanje je obavljeno na pet lokaliteta (Slika 2). Svaki lokalitet karakteriše pripadnost određenoj ekološkoj jedinici:

- Prvi lokalitet – Katunište (KA)¹ nalazi se na Crnom Vrh (546 m n. v.). Ekološka jedinica: Šuma kitnjaka i vrijesa (*Calluno–Quercetum petraeae* R.St. 1963) na luvisolu i pseudogleju na serpentinitu. Nadmorska visina je oko 370 m.
- Drugi lokalitet – Bandera (BA) nalazi se na Crnom Vrh (546 m n. v.). Ekološka jedinica: Tipične šume kitnjaka (*Quercetum montanum illyricum* Stef. 1966) na distričnom

kambisolu na rošnjacima. Nadmorska visina je oko 450 m.

- Treći lokalitet – Kozara Vrbaška (KV) nalazi se na sjevernim padinama planine Kozare (978 m n. v.). Ekološka jedinica: Šume kitnjaka sa vijukom šumskim (*Festuco drymeiae–Quercetum montanum* Jank. 1968) na distričnom kambisolu na pješčarima. Nadmorska visina je oko 380 m.
- Četvrti lokalitet – Motajica (MO) nalazi se na južnim padinama planine Motajice (652 m n. v.). Ekološka jedinica: Šuma kitnjaka sa bekicom (*Luzulo–Quercetum montanum* / Knapp 1942 / Oberd. 1967) na luvisolu na granitu. Nadmorska visina je oko 470 m.
- Peti lokalitet – Mala Ukrina (MU) se nalazi na planini Javorova (605 m n. v.). Ekološka jedinica: Šuma kitnjaka sa facijesima crnjuše (*Quercetum montanum serpenticum ericosum* Čer. et Jov. 1951) na smeđem zemljištu na serpentinitu. Nadmorska visina je oko 360 m.

Utvrđena prosječna starost sastojina je oko 130 godina, tj. sastojine se nalaze u VII dobnom razredu (120–140 godina). Na svakom lokalitetu su postavljene po četiri ogledne površine, ukupno dvadeset oglednih površina u dvadeset sastojina. Na oglednim površinama, na svim stablima

¹ U prikazu u tekstu, za lokalitete i ekološke jedinice koriste se iste oznake: KA, BA, KV, MO i MU.

je izvršen premjer prečnika, visine i površine projekcije krošnje. Ukupno su premjerena 1373 stabla. Zapremine stabala, odnosno sastojina,

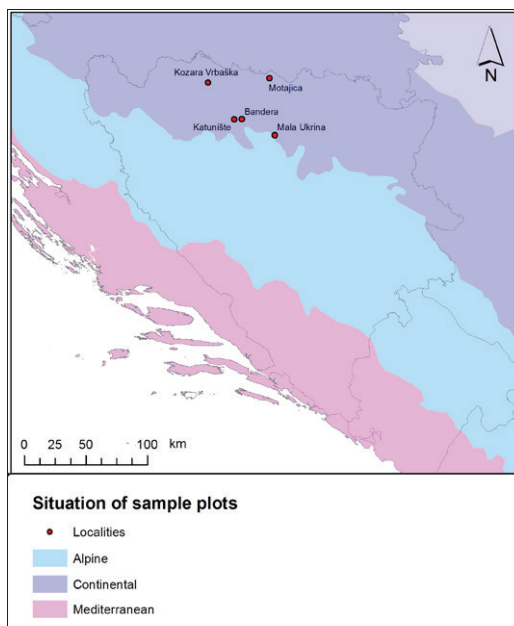
izračunate su upotrebom dvoulaznih zapreminskih tablica u formi Šumaher–Halove (Schumacher–Hall) funkcije (Špiranec, 1975).



Slika 1. Zrele sastojine hrasta kitnjaka u kontinentalnom dijelu Bosne i Hercegovine / **Figure 1.** Mature stands of the sessile oak in the continental part of Bosnia and Herzegovina

Razrađeno je više metoda za određivanje šablona prostornog rasporeda stabala u okviru šumskih sastojina, tj. publikovan je veći broj istraživanja koja su za cilj imala kvantifikaciju načina prostornog rasporeda stabala u šumskim sastojinama (Füldner, 1995; Ludwig & Reynolds, 1988; von Gadow, 1999; von Gadow et al., 2003; Sterba & Zingg, 2006; Stajić et al., 2009). Razlikuju se tri osnovna tipa rasporeda jedinki u biljnim populacijama: slučajni, ravnomjeran i grupimičan.

Da bi se definisao način horizontalnog razmještaja stabala, na oglednim površinama, tj. u sastojinama slučajno su položene jedinice uzorka (elementarne površine) različitih veličina. Na svakoj oglednoj površini (na oglednoj površini i u pojasu širine 25 m izvan ogledne površine), tj. u svakoj sastojini postavljeno je po 15 elementarnih površina kružnog oblika veličine 100 m² ($r = 5,64$ m), 200 m² ($r = 7,98$ m) i 300 m² ($r = 9,77$ m), ukupno po 60 elementarnih površina navedenih veličina u svakoj ekološkoj jedinici. Metode definisanja razmještaja stabala u prostoru mogu se podijeliti u dvije grupe. Prvu



Slika 2. Područje i istraživani lokaliteti / **Figure 2.** Areas and researched localities

grupu čine metode na osnovu statističkih distribucija i indeksa disperzije, a drugu metode na osnovu rastojanja između individua ili rastojanja između individua i slučajno izabranih tačaka. Metoda statističkih distribucija (Ludwig & Reynolds, 1988), primijenjena u ovom istraživanju, zasniva se na utvrđivanju broja stabala u jedinicama uzorka i njihovom upoređivanju sa očekivanim (teorijskim) brojem kod Poasonove raspodjele.

Broj stabala i zapremina su za potrebe analize homogenosti sastojina distribuirani po debljinskim stepenima širine 1 cm i 5 cm. Homogenost je iskazana De Kamino indeksom homogenosti (H) i grafički prikazana Lorencovom krivom. Stabla su sortirana prema veličini prečnika, a zatim je izvršeno sumiranje procenata zapremine i broja stabala do određenog debljinskog stepena. Indeks homogenosti je određen po formuli (De Camino, 1976):

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n S_{N\%}}{\sum_{i=1}^n (S_{N\%} - S_{V\%})} \quad (1)$$

$S_{N\%}$ - suma procenata broja stabala do i-tog debljinskog stepena,

$S_{V\%}$ - suma procenata zapremine do i-tog debljinskog stepena,

n - broj debljinskih stepena.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA / RESULTS

3.1 Osnovni elementi rasta / Basic elements of growth

Prosječne vrijednosti osnovnih elemenata rasta sastojina po ekološkim jedinicama prikazane su u Tabeli 1. Prosječan broj stabala po hektaru u zrelih sastojinama hrasta kitnjaka je 275. Variranje broja stabala po sastojinama iskazano koeficijentom varijacije iznosi 30,4%. Po ekološkim jedinicama, najveće variranje je na lokalitetu Mala Ukrina – 20,8%, a najmanje na lokalitetu Motajica – 7,8%. Prosječna veličina srednjeg prečnika sastojine po temeljnici je 37,6 cm, a prosječna vrijednost Lorajevе visine je 24,8 m. Variranje srednjih prečnika u istraživanim zrelih sastojinama je 14,2%, a srednjih visina 15,3%. Prosječna veličina površine pro-

Lorencova kriva prikazuje odnos između varijabli $S_{N\%}$ i $S_{V\%}$, a dobijena je nanošenjem sume procenata broja stabala po apscisi i sume procenata zapremine po ordinati. Za potpunu homogenost sastojine, Lorencova kriva formira dijagonalu, tj. pravu liniju definisanu koordinatama x/y : 0/0 i 100/100. Što je sastojina manje homogena, Lorencova kriva više odstupa od ove dijagonale (Kramer, 1988; Bachofen & Zingg, 2001).

Indeksi diferenciranja prečnika stabala omogućavaju potpunije definisanje sastojinske strukture. Ovi indeksi se zasnivaju na odnosu prečnika tanjeg i debljeg susjednog stabla. Vrijednost indeksa je u intervalu od 0 do 1. Veće vrijednosti ukazuju na veće razlike u prečnicima susjednih stabala, dok vrijednosti koje se približavaju nuli ukazuju na slabo diferenciranje prečnika stabala (von Gadow & Földner, 1995).

$$T_{di} = 1 - r_i \quad (2)$$

T_{di} - indeks diferenciranja prečnika stabla i ,

r_i - odnos prsnog prečnika tanjeg i prsnog prečnika debljeg susjednog stabla,

Polazeći od izračunatih indeksa diferenciranja prečnika stabala za svako pojedinačno stablo izračunata je prosječna diferenciranost prečnika na nivou ekoloških jedinica.

jekcije krošnje je 28,6 m²/ha. Veličine temeljnice po ekološkim jedinicama su u intervalu od 23,4 m²/ha, na lokalitetu Mala Ukrina, do 35,6 m²/ha, na lokalitetu Kozara Vrbaška, odnosno prosječna vrijednost u zrelih sastojinama je 29,1 m²/ha. Najveće variranje temeljnica po oglednim površinama primjetno je na lokalitetima Kozara Vrbaška (12,9%) i Mala Ukrina (13,8%), a jedinica sa najmanjim variranjem veličine temeljnice, tj. najhomogenija ekološka jedinica u pogledu obrasta jeste ekološka jedinica na lokalitetu Motajica (4,5%). Zapremine sastojina po ekološkim jedinicama kreću se u intervalu od 287,4 m³/ha, na lokalitetu Mala Ukrina, do 493,4 m³/ha, na lokalitetu Motajica. Prosječna zapremina drvene mase u istraživanim zrelih sastojinama iznosi 387,8 m³/ha.

Bonitiranje staništa istraživanih sastojina primjenom prirasno-prinosnih tablica (Wimmenauer, 1900) pokazalo je da stanište na lokalitetima Bandera i Mala Ukrina pripada četvrtom bonitet-

nom razredu, na lokalitetima Kozara Vrbaška i Motajica trećem, a na lokalitetu Katunište drugom bonitetnom razredu.

Tabela 1. Mjere centralne tendencije i varijabiliteta osnovnih elemenata rasta sastojina / **Table 1.** Measures of central tendency and variability of basic elements of stand growth

Statistički pokazatelji	Ekološka jedinica					Sve
	KA	BA	KV	MO	MU	
N (broj sastojina)	4	4	4	4	4	20
Broj stabala / Number of trees – N						
A_s	155	390	284	283	261	275
SD	28,5	35,9	37,7	22,0	54,3	83,6
CV	18,4	9,2	13,3	7,8	20,8	30,4
Srednji prečnik / Mean diameter – d_g						
A_s	44,8	30,6	40,0	39,0	34,0	37,6
SD	2,40	0,26	2,38	1,63	2,11	5,34
CV	5,4	0,9	6,0	4,2	6,2	14,2
Srednja visina / Mean height – h_L						
A_s	28,8	19,2	25,7	27,4	22,9	24,8
SD	2,3	0,7	1,7	1,4	1,5	3,8
CV	8,0	3,6	6,6	5,1	6,6	15,3
Srednja površina projekcije krošnje / Mean crown projection area – P_k						
A_s	38,53	20,37	29,19	28,71	25,98	28,56
SD	10,24	4,21	5,66	5,71	2,83	8,21
CV	26,6	20,7	19,4	19,9	10,9	28,7
Temeljnica sastojine / Stand basal area – G						
A_s	24,12	28,62	35,58	33,62	23,37	29,06
SD	2,6	3,1	4,6	1,5	3,2	5,8
CV	10,7	10,7	12,9	4,5	13,8	19,8
Zapremina sastojine / Stand volume – V						
A_s	371,65	298,50	488,12	493,36	287,37	387,80
SD	47,16	41,70	77,91	46,60	47,44	102,98
CV	12,69	13,97	15,96	9,44	16,51	26,55

Napomena / Note. A_s – aritmetička sredina / arithmetic mean; SD – standardna devijacija / standard deviation; CV – koeficijent varijacije / coefficient of variation.

Analiza varijanse osnovnih elemenata strukture sastojina po ekološkim jedinicama pokazala je da postoji statistički značajna razlika između ekoloških jedinica. Primijenjeni Dankan test je pokazao da se mogu formirati četiri homogene grupe kada su u pitanju srednji prečnik i srednja visina i tri grupe kada je u pitanju broj stabala i

temeljnica. Kada je u pitanju temeljnica ili obrast, veličinom temeljnice se izdvajaju ekološke jedinice na lokalitetima Kozara Vrbaška i Motajica. Analiza zapremine i srednje površine projekcije krošnje stabala u sastojini pokazala je da se mogu formirati dvije grupe (Tabela 2).

Tabela 2. Analiza varijanse i Dancan test – osnovni elementi rasta sastojina po ekološkim jedinicama /
Table 2. Analysis of variance and Duncan's test - basic elements of stand growth by ecological units

Element rasta	Ekološka jedinica					ANOVA		
	KA	BA	KV	MO	MU	F _{4,15}	P	Post-hoc
N (sta. ha ⁻¹)	155 ^b	390 ^c	284 ^a	283 ^a	261 ^a	20,12	0,0000	3
d _g (cm)	44,8 ^d	30,6 ^b	40,0 ^a	39,0 ^a	34,0 ^c	32,71	0,0000	4
h _L (m)	28,8 ^b	19,2 ^c	25,7 ^a	27,4 ^{ab}	22,9 ^d	22,62	0,0000	4
G (m ² ha ⁻¹)	24,12 ^{a,b}	28,62 ^b	35,58 ^c	33,62 ^c	23,37 ^a	12,03	0,0001	3
P _k (m ²)	38,53 ^b	20,37 ^a	29,19 ^{ab}	28,71 ^{ab}	25,98 ^a	4,45	0,0144	2
V (m ³ ha ⁻¹)	371,7 ^a	298,5 ^a	488,1 ^b	493,4 ^b	287,4 ^a	13,67	0,0001	2

Napomena / Note. Post-hoc – Broj homogenih grupa dobijen primjenom Dancan testa (a, b, c i d – oznake homogenih grupa) / Number of homogeneous groups by Duncan's test (a, b, c i d – tags for homogeneous groups)

3.2 Indeks homogenosti / Homogeneity index

De Kamino (De Camino, 1976) je za potrebe definisanja homogenosti šumskih sastojina prilagodio indeks homogenosti koji je razvijen u svrhe istraživanja strukture posjeda u poljoprivredi i šumarstvu. Apsolutno homogena sastojina je ona sastojina u kojoj sva stabla imaju jednaku zapreminu. Stvarne sastojine, zavisno od uzgojnog oblika, tretmana i faze razvoja, manje ili više odstupaju od apsolutno homogenog stanja.

Prema Krameru (Kramer, 1988), nehomogenije sastojine imaju manji indeks homogenosti, odnosno homogenije sastojine imaju veći indeks homogenosti. U jednodobnim sastojinama sa niskom proredom indeksi homogenosti se kreću u intervalu 4 do 10, u jednodobnim sastojinama

sa visokom proredom u intervalu od 2,2 do 4,2, a u prebirnim sastojinama u intervalu od 1,3 do 2,8. Za grafički prikaz homogenosti sastojine korištena je Lorencova kriva.

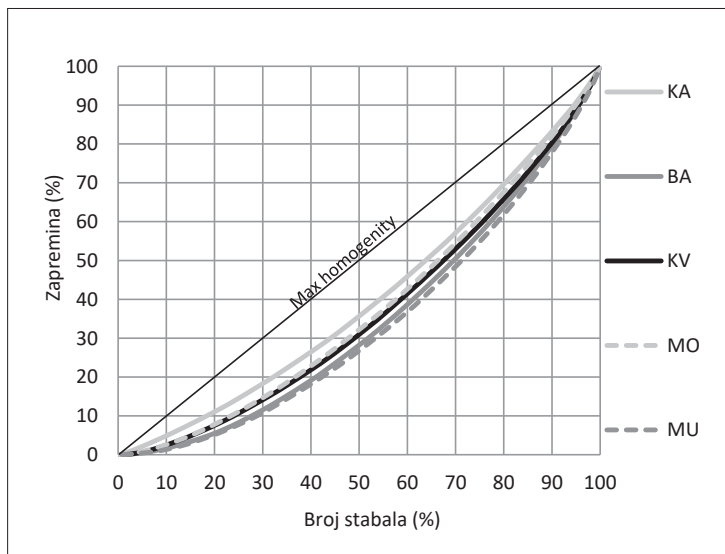
Izračunati indeksi homogenosti po ekološkim jedinicama prikazani su u Tabeli 3, a Lorencove krive na Slici 3. U poređnom analizom dobijenih vrijednosti na osnovu grupisanja stabala u debljinske stepene širine 1 cm (H₁) i širine 5 cm (H₅) uočavamo da se značajno i nerealno povećava indeks homogenosti grupisanjem stabala u šire stepene, jer se značajno smanjuje broj stepeni. Uvidom u Lorencove krive uočavamo da na lokalitetu Katunište 50% najtanjih stabala učestvuje u zapremini sa 36%, na lokalitetima Kozara Vrbaška i Motajica udio je oko 31%, a na lokalitetima Bandera i Mala Ukrina taj udio je oko 27%.

Tabela 3. Indeksi homogenosti po ekološkim jedinicama na bazi debljinskih stepena 1 cm i 5 cm /
Table 2. Homogeneity indices by ecological units per diameter degrees 1 cm and 5 cm

Ekološka jedinica	H ₁	H ₅	Δ H % (H ₁ = 100%)
KA	7,23	8,97	24,07
BA	4,26	4,88	14,55
KV	5,84	6,99	19,69
MO	5,48	6,80	24,09
MU	5,19	5,94	14,45

Da bi se utvrdilo da li su razlike u indeksu homogenosti između ekoloških jedinica statistički značajne, pristupilo se analizi varijanse na osnovu utvrđenih indeksa homogenosti po ogleđnim površinama. Provedena analiza varijanse

otkrila je da postoji statistički značajna razlika, pa se pristupilo Dancan testu (Tabela 4), koji je pokazao da se posmatrane ekološke jedinice mogu razvrstati u dvije grupe: u jednu grupu ekološke jedinice na lokalitetima Bandera, Mala



Slika 3. Lorencove krive – Ekološke jedinice / Figure 3. Lorenz's curves - Ecological units

Tabela 4. Analiza varijanse i Dancan test – indeks homogenosti / Table 4. Analysis of variance and Duncan's test - homogeneity index

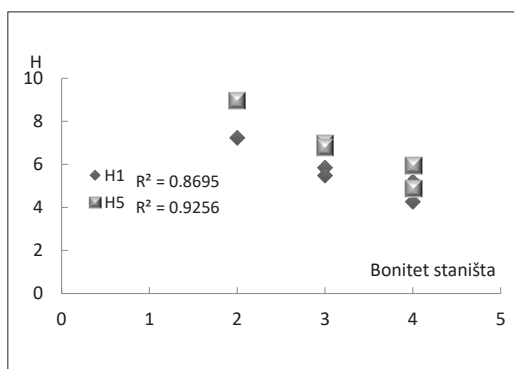
Indeks homogenosti	Ekološka jedinica					ANOVA		
	KA	BA	KV	MO	MU	$F_{4,15}$	P	Post-hoc
	7,23 ^b	4,26 ^a	5,84 ^{a, b}	5,48 ^a	5,19 ^a	4,68	0,0119	2

Napomena / Note. Post-hoc – Broj homogenih grupa dobijen primjenom Dancan testa (a i b – oznake homogenih grupa) / Number of homogeneous groups by Duncan's test (a i b – tags for homogeneous groups).

Ukrina, Motajica i Kozara Vrbaška a u drugu grupu ekološke jedinice na lokalitetima Kozara Vrbaška i Katunište.

Odnos veličine indeksa homogenosti po ekološkim jedinicama, tj. homogenost sastojina u skladu je sa odnosom proizvodnog potencijala (boniteta staništa) na pojedinim lokalitetima, tačnije, postoji značajna korelacija između posmatranih parametara. Sa opadanjem boniteta staništa opada i indeks homogenosti (Slika 4).

U Tabeli 5 prikazani su koeficijenti korelacije između indeksa homogenosti (H_1 , H_5) i osnovnih elemenata rasta sastojina. Utvrđeno je da postoji visoka i statistički značajna ($p > 0,01$) korelacija između indeksa homogenosti i sljedećih elemenata rasta: broj stabala, srednji prečnik i srednja visina sastojina. Korelacija sa brojem stabala je negativna, a sa srednjim prečnikom i srednjom visinom je pozitivna. Na osnovu



Slika 4. Odnos između indeksa homogenosti i boniteta staništa / Figure 4. Relationship between the homogeneity index and site class

veličine koeficijenata korelacije može se konstatovati da srednji prečnik ima najveći uticaj na indeks homogenosti, tj. homogenost strukture zrelih sastojina hrasta kitnjaka.

Tabela 5. Zavisnost indeksa homogenosti od osnovnih elemenata rasta sastojina / **Table 5.** Dependence of the homogeneity index on the basic elements of stand growth

Indeks homogenosti	N	d_g	h_L	G	V
	r $N_{(\text{broj sastojina})} = 20$				
H_1	-0,6753	0,7262	0,6206	-0,1729	0,1718
	($p = 0,001$)	($p = 0,000$)	($p = 0,004$)	($p = 0,466$)	($p = 0,469$)
H_5	-0,7261	0,8486	0,7448	-0,0601	0,3248
	($p = 0,000$)	($p = 0,000$)	($p = 0,000$)	($p = 0,801$)	($p = 0,162$)

3.3 Analiza diverziteta dimenzija stabala / Analysis of diversity of dimension of trees

Analize razlike u dimenzijama stabala i njihovih neposrednih susjeda omogućavaju potpunije definisanje sastojinske strukture. U tu svrhu utvrđeni su indeksi diferenciranja prečnika stabala.

Prosječne vrijednosti indeksa diferenciranja prečnika stabala po lokalitetima ili ekološkim jedinicama prikazane su u Tabeli 6. Dobijeni rezultati pokazuju da je u istraživanim sastojinama diferenciranje prečnika približno jednako i iznosi oko 0,20, a to praktično znači da su u prosjeku neko slučajno odabrano stablo i njegovo

najbliže susjedno stablo u takvom odnosu da je prečnik tanjeg stabla 80% prečnika debljeg stabla. Nešto niža vrijednost se javlja u ekološkoj jedinici na lokalitetu Katunište, u kojoj indeks diferenciranja prečnika iznosi 0,145. Na osnovu toga može se konstatovati da je u pomenutoj ekološkoj jedinici niži intenzitet strukturiranosti sastojine. Međutim, analiza varijanse je pokazala da između posmatranih ekoloških jedinica nema statistički značajne razlike u posmatranom pogledu ($F = 1,8110$; $p = 0,1262$). Variranje utvrđenih vrijednosti za pojedinačna stabla je vrlo visoko i po ekološkim jedinicama je u intervalu od 65% do 87%, odnosno variranje u zrelih sastojinama je 77%.

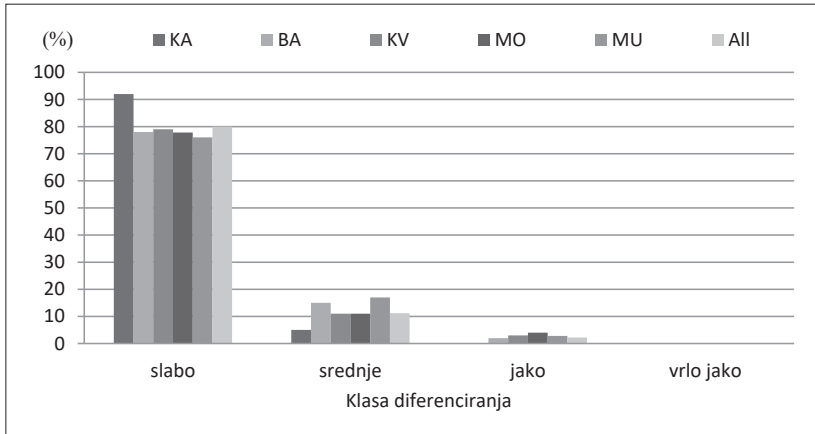
Tabela 6. Mjere centralne tendencije i varijabiliteta indeksa diferenciranja prečnika stabala / **Table 6.** Measures of central tendency and variability of diameter differentiation index

Statistički pokazatelji	Ekološka jedinica					Sve
	KA	BA	KV	MO	MU	
n (broj stabala)	155	390	284	283	261	1373
A_s	0,145	0,202	0,199	0,204	0,211	0,196
SD	0,094	0,139	0,174	0,152	0,162	0,150
CV	65	69	87	74	76	77

Napomena / Note. A_s – aritmetička sredina / arithmetic mean; SD – standardna devijacija / standard deviation; CV – koeficijent varijacije / coefficient of variation.

Pojedinačne veličine indeksa T_d razvrstane su u klase (Fülner, 1995; Albert et al., 1995): slabo diferenciranje (0,0–0,3), srednje diferenciranje (0,3–0,5), jako diferenciranje (0,5–0,7) i vrlo jako diferenciranje (0,7–1,0). Razvrstavanje pojedinačnih veličina T_d u pomenute klase upotpunilo je predstavu o strukturiranju ovih sastojina (Slika 5). Analiza dobijenih raspodjela

pokazuje da je u prosjeku oko 80% veličine indeksa u klasi slabo diferenciranje i oko 15% u klasi srednje diferenciranje, a u klasi jako diferenciranje oko 5%, s tim da su u ekološkoj jedinici na lokalitetu Katunište sve vrijednosti u klasama slabo i srednje diferenciranje. U klasi vrlo jako diferenciranje zastupljen je zanemariv broj stabala.



Slika 5. Raspodjela broja stabala po klasama indeksa diferenciranja prečnika stabala / Figure 5. Distribution of the number of trees by classes of diameter differentiation index

3.4 Prostorni raspored stabala / Spatial distribution of trees

U ovom istraživanju primijenjena je metoda utvrđivanja prostornog rasporeda stabala poznata pod nazivom metoda statističkih distribucija. Metoda statističkih distribucija (Ludwig & Reynolds, 1988) zasniva se na utvrđivanju broja stabala u jedinicama uzorka (probne površine kružnog oblika veličina 100 m², 200 m² i 300 m²) i njihovom upoređivanju sa očekivanim (teorijskim) brojem kod Poasonove raspodjele. Nakon utvrđivanja broja stabala u jedinicama

uzorka pristupilo se testiranju nulte hipoteze, da se broj stabala u jedinicama uzorka raspoređuje slučajno. Testiranje nulte hipoteze, tj. odstupanja stvarne od teorijske raspodjele frekvencija izvršeno je primjenom χ^2 - testa (Tabela 7). U većini slučajeva, kod sve tri veličine uzorka nultu hipotezu treba prihvatiti: razmještaj stabala u prostoru odgovara slučajnoj raspodjeli. Odstupanje se javlja samo u tri slučaja, i to za uzorak veličine 300 m² na lokalitetu Katunište i za uzorak veličine 100 m² na lokalitetima Motajica i Mala Ukrina.

Tabela 7. Testiranje odnosa između utvrđenog i teorijskog broja stabala kod Poasonove raspodjele / Table 7. Testing the relationship between the determined and theoretical number of trees in the Poisson distribution

Ekološka jedinica	Veličina uzorka					
	100 m ²		200 m ²		300 m ²	
	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
KA	0,58	0,74713	4,84	0,18419	<u>13,17</u>	<u>0,00428</u>
BA	0,08	0,99462	0,61	0,73670	6,43	0,09257
KV	4,97	0,08319	6,09	0,10720	3,76	0,15246
MO	<u>22,52</u>	<u>0,00001</u>	2,17	0,53724	3,77	0,15197
MU	<u>23,97</u>	<u>0,00000</u>	3,56	0,16866	6,35	0,05187

4. DISKUSIJA / DISCUSSION

Prosječan broj stabala po hektaru u zrelim sastojinama hrasta kitnjaka u Republici Srpskoj iznosi 275. Variranje broja stabala po hektaru u sastojinama iskazano koeficijentom varijacije jeste

30,4%. Prosječna veličina srednjeg prečnika sastojine po temeljici je 37,6 cm, a prosječna visina zrelih sastojina je 24,8 m. Srednja površina projekcije krošnje u zrelim sastojinama je 28,56

m². Veličine temeljnice po ekološkim jedinicama kreću se u intervalu od 23,4 m²/ha do 35,6 m²/ha, odnosno prosječna vrijednost u zrelim sastojinama je 29,1 m²/ha. Zapremine sastojina po ekološkim jedinicama su u intervalu od 287,4 m³/ha do 493,4 m³/ha. Prosječna zapremina drvene mase u istraživanim zrelim sastojinama iznosi 387,8 m³/ha.

Kada su u pitanju osnovni elementi rasta zrelih sastojina hrasta kitnjaka, najveće je variranje broja stabala po hektaru, dok je po ekološkim jedinicama najveće variranje srednje površine projekcije krošnje. Sumarno posmatrajući zrele sastojine i po ekološkim jedinicama, najmanje variranje je variranje srednjeg prečnika sastojine.

Na osnovu analize varijanse, najmanje razlike između ekoloških jedinica su u pogledu srednje površine projekcije krošnje u sastojini, a najveće su u pogledu srednjeg prečnika sastojine.

Prema Stajić (2010), indeks homogenosti i indeksi dimenzionog diferenciranja prečnika najprikladniji su za ocjene nivoa strukturnih razlika između ekoloških jedinica.

Indeks homogenosti po lokalitetima ili ekološkim jedinicama su u intervalu od 4,88 do 8,97 (H₅), odnosno od 4,26 do 7,23 (H₁). Stajić (2010) je utvrdio indekse homogenosti, prosječno po ekološkim jedinicama, u mješovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području Nacionalnog parka „Đerdap”, u intervalu od 2,94 do 4,11. Dukić & Maunaga (2008) su u mješovitoj sastojini bukve, jele i smrče u optimalnoj fazi razvoja u prašumi Lom utvrdili vrijednost indeksa homogenosti (H₅) od 2,39 (jela – 2,32, smrča – 2,98 i bukva – 2,41). Šebez & Govedar (2018) su u dva osnovna tipa šume bukve i jele sa smrčom na različitim lokalitetima, na području Janja i području planinskog masiva Vitoroga, utvrdili vrijednosti indeksa homogenosti od 2,29 odnosno od 2,78 (H₅). Vučković & Stajić (2006) su u mješovitim sastojinama jele i bukve na planini Tari različitog sastojinskog stanja utvrdili vrijednosti indeksa homogenosti u intervalu od 2,17 do 2,98 (H₅). Na osnovu prikazanih rezultata istraživanja, evidentno je da raznodobne sastojine karakteriše manja vrijednost indeksa homo-

genosti tj. značajno veća heterogenost sastojina u odnosu na istraživane jednodobne sastojine.

Polazeći od utvrđenih vrijednosti i graničnih vrijednosti indeksa prema Krameru (Kramer, 1988), po kojim je u jednodobnim sastojinama sa niskom preredom indeks homogenosti u intervalu od 4 do 10, i konstatacije De Kamina (De Camino, 1976) da homogenost sastojine opada sa povećanjem starosti, može se konstatovati da su u istraživanim sastojinama uglavnom sprovedene sječe karaktera niskih proreda. Za razliku od uočene pojave da se u prebornim sastojinama (De Camino, 1976) sa pogoršanjem stanišnih uslova povećava homogenost sastojina, u istraživanim zrelim jednodobnim sastojinama sa pogoršanjem stanišnih uslova smanjuje se homogenost, odnosno povećava se heterogenost sastojina.

Indeksi diferenciranja prečnika stabala po lokalitetima ili ekološkim jedinicama su približno jednaki i iznose oko 0,20, a to praktično znači da su u prosjeku neko slučajno odabrano stablo i njegovo najbliže susjedno stablo u takvom odnosu da prečnik tanjeg stabla iznosi 80% prečnika debljeg stabla. Odstupanje se javlja samo u ekološkoj jedinici na lokalitetu Katunište, u kojoj je indeks diferenciranja prečnika manji i iznosi 0,14, međutim, analiza varijanse je pokazala da između posmatranih ekoloških jedinica nema statistički značajne razlike u tom pogledu. Stajić (2010) je utvrdio indekse diferenciranja prečnika stabala prosječno po ekološkim jedinicama u mješovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području Nacionalnog parka „Đerdap”, u intervalu od 0,32 do 0,38 – takođe približno jednake vrijednosti, kao i u ovom istraživanju. Vacek (2017) je, analizirajući strukturu prirodnih mješovitih šuma (smrča–bukva–jela) u rezervatu prirode „Orlické hory Mts” na četiri stalne ogledne površine utvrdio vrijednosti indeksa diferenciranja prečnika stabala (0,415; 0,428; 0,474 i 0,549) koje su značajno veće od vrijednosti dobijenih u ovom istraživanju, što je i za očekivati, s obzirom na to da su u pitanju raznodobne šume. Moc i saradnici (Motz et al., 2010) su primjenom simulatora „CranCod” (koristeći podatke mapiranih sastojina iz Austrije, Švajcarske i Njemačke) utvrdili vrijednosti

indeksa diferenciranja prečnika stabala za sastojine različitih struktura. U čistim jednodobnim sastojinama utvrđena je vrijednost indeksa diferenciranja prečnika stabala od 0,25. Nasuprot tome, u mješovitim jednodobnim sastojinama vrijednost je bila veća od 0,30, a u čistim raznodobnim sastojinama veća od 0,40. Utvrđena vrijednost za jednodobne sastojine približno je jednaka vrijednostima dobijenim u istraživanim zrelim sastojinama hrasta kitnjaka.

Način horizontalnog razmještaja stabala u istraživanim sastojinama utvrđen je primjenom „metode statističkih distribucija”. Utvrđeno je da razmještaj stabala u prostoru odgovara

slučajnoj raspodjeli, tj. da se stabla u sastojinama razmještaju u prostoru slučajno. Stajić & Vučković (2006) su primjenom „metode statističkih distribucija” u mješovitoj raznodobnoj sastojini jele i bukve i čistoj (oko 160 godina starosti) sastojini jele utvrdili da način razmještaja stabala u prostoru takođe odgovara slučajnoj raspodjeli. Prema Stajiću (2010) „...*Slučajan raspored jedinki unutar populacije ukazuje na homogenost okoline u kojem živi populacija...*”. Na osnovu navedenog možemo konstatovati da su istraživani objekti homogeni, to jest na svakom dijelu površine sastojine stabla imaju podjednake uslove za rast i razvoj.

5. ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Zrele sastojine hrasta kitnjaka u kontinentalnom dijelu Bosne i Hercegovine nalaze se na kraju ophodnje. U toku svog dosadašnjeg razvoja bile su prepuštene praksi – o tretmanu ovih sastojina u prošlosti ne postoje pouzdani podaci.

Prosječan broj stabala po hektaru u zrelim sastojinama hrasta kitnjaka u Republici Srpskoj jeste 275, a prosječna zapremina drvene mase istraživanih zrelih sastojina je 387,8 m³/ha. Kada su u pitanju osnovni elementi rasta sastojina, sumarno posmatrajući sve sastojine, najveće variranje je variranje broja stabala po hektaru, dok je po ekološkim jedinicama najveće variranje srednje površine projekcije krošnje. Najmanje variranje, i sumarno i po ekološkim jedinicama, jeste variranje srednjeg prečnika sastojine.

Zrele sastojine hrasta kitnjaka u kontinentalnom dijelu Bosne i Hercegovine su homogene strukture, s tim da se sa pogoršanjem stanišnih uslova smanjuje homogenost sastojina. Takođe je utvrđeno da postoji visoka i statistički značajna korelacija između indeksa homogenosti i nekih elemenata rasta (broj stabala, srednji prečnik i srednja visina sastojine).

Indeksi diferenciranja prečnika stabala po lokalitetima ili ekološkim jedinicama približno su jednaki i iznose oko 0,20, a to praktično znači da su u prosjeku neko slučajno odabrano stablo i njegovo najbliže susjedno stablo u takvom odnosu da je prečnik tanjeg stabla 80% prečnika debljeg stabla. Analiza varijanse je pokazala da između posmatranih ekoloških jedinica nema statistički značajne razlike u posmatranom pogledu intenziteta strukturiranosti sastojine i nivoa konkurencije stabala.

Na osnovu „metoda statističkih distribucija” konstatovana je značajna slučajnost razmještaja stabala u prostoru, što ukazuje na homogenost stanišnih uslova. Istraživani objekti se mogu smatrati homogenim, to jest na svakom dijelu površine sastojine stabla imaju podjednake uslove za rast i razvoj.

O tretmanu istraživanih sastojina u prošlosti ne postoje pouzdani podaci, ali se na osnovu utvrđenih vrijednosti elemenata rasta, indeksa homogenosti i analize strukture može konstatovati da su u istraživanim sastojinama uglavnom sprovedene sječe karaktera niskih proreda.

Literatura / References

- Albert M., von Gadow K., Kramer H. (1995). Zur Strukturbeschreibung in Douglasien-Jungbeständen am Beispiel der Versuchsflächen Manderscheid und Uslar. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 166: 205–210.
- Bachofen H., Zingg A. (2001). Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management* 145(1-2): 137–149.
- Čabaravdić A., Dunder A., Avdagić A., Delić S., Osmanović M., Mraković A. (2016). Bosnia and Herzegovina. U: Vidal C., Alberdi I. A., Hernández Mateo L., Redmond J. J. (Ur.), *National Forest Inventories*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland: 181–196.
- De Camino R. (1976). Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 147 (2/3): 54–58.
- Dukić V. (2011). *Krošnje kao faktor optimalne izgrađenosti jednodobnih sastojina hrasta kitnjaka*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banja Luka: 303 str.
- Dukić V. (2014). *Kitnjakove šume Republike Srpske – stanje i modeli sastojina*. Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banja Luka: 285 str.
- Dukić V., Maunaga Z. (2008). Strukturna izgrađenost mješovite sastojine bukve, jele i smrče u prašumi Lom. *Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci* 8: 39–53.
- FAO (2015). *Analiza sektora šumarstva u Bosni i Hercegovini. Projekat „Priprema analiza sektora šumarstva i ribarstva u Bosni i Hercegovini u svrhu IPARD-a“ [Studija]*. Regionalna kancelarija FAO za Evropu i Centralnu Aziju, Budapest: 145 str.
- Földner K. (1995). *Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern*. Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Georg-August-Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen: 146 str.
- Goreaud F., Courbaud B., Collinet F. (1999). Spatial structure analysis applied to modelling of forest dynamics: a few examples. U: Amaro A., Tomé M. (Ur.), *Proceedings of the IUFRO Workshop, Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation*. Novas Tecnologias, Oeiras, Portugal: 155–172.
- Kimmins J. P. (1997). *Forest ecology. A foundation for sustainable management, 2nd edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Macmillan Publishing Company: 596 str.
- Kramer H. (1988). *Waldwachstumslehre*. Paul Parey, Hamburg-Berlin: 374 str.
- Lee W. K., von Gadow K., Akça A. (1999). Waldstruktur und Lorenz-Modell. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 170: 220–223.
- Ludwig J. A., Reynolds, J. F. (1988). *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons, New York: 337 str.
- Motz K., Sterba H., Pommerening A. (2010). Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management* 260(11): 1985–1996.
- Pommerening A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75(3): 305–324.
- Pommerening A. (2006). Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224(3): 266–277.
- Pranjić A., Lukić N. (1997). *Izmjera šuma*. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb: 405 str.
- Pretzsch H. (1993). Struktur und Leistung naturgemäß bewirtschafteter Eichen-Buchen-Mischbästande in Unterfranken. *Allgemeine Forstzeitschrift* 6: 281–284.
- Stajić B. (2010). *Karakteristike sastojinske strukture i rasta stabala u mešovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području nacionalnog parka „Đerdap“*. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu: 324 str.
- Stajić B., Vučković M. (2005). Primena Shannon-indeksa u opisivanju strukture šuma. *VI međunarodna Eko-konferencija, Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja*. Novi Sad: 325–330 str.
- Stajić B., Vučković M. (2006). Analiza prostornog rasporeda stabala u šumskim sastojinama. *Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd* 93: 165–176 str.
- Stajić B., Vučković M., Smiljanić M. (2009). Prostorni raspored stabala smrče u rezervatu prirode „Janjkove bare“ na Kopaoniku. *Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd* 100: 191–204.
- Stefanović V., Beus V., Burlica Č., Dizdarević H., Vukorep I. (1983). Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine. *Šumarski fakultet, Posebna izdanja* 17: 1–49.
- Sterba H., Zingg A. (2006). Abstandsabhängige und abstandsunabhängige Bestandesstrukturbeschreibung. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 177(8/9): 169–176.
- Šebez M., Govedar Z. (2018). Strukturne karakteristike tipova šuma bukve, jele i smrče na području

- Janja i Vitoroga u Republici Srpskoj, *Šumarstvo* 3–4: 89–102.
- Špiranec M. (1975). Drvnogromadne tablice za hrast, bukvu, ob. grab i pitomi kesten. *Radovi, Zagreb* 22: 1–262.
- Vacek Z. (2017). Structure and dynamics of spruce-beech-fir forests in Nature Reserves of the Orlické hory Mts. in relation to ungulate game. *Central European Forestry Journal* 63: 23–34.
- von Gadow K. (1993). Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. *Forst und Holz* 48: 602–606.
- von Gadow K. (1999). Waldstruktur und Diversität. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 7: 117–122.
- von Gadow K. (2002). Waldwachstum. Beilage zur Vorlesung für das Sommer-semester. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie Georg-August-Universität, Göttingen: 225 str.
- von Gadow K., Fuldner K. (1995). Zur Beschreibung forstlicher Eingriffe. *Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch* 114: 151–159.
- von Gadow K., Hui, G. Y., Chen B. W., Albert M. (2003). Beziehung zwischen Winkelmaß und Baumabständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 122: 127–137.
- Vučković M., Stajić B. (2006). Raspodela broja stabala i drvne zapremine kao indikator homogenosti sastojine. *Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd* 94: 101–108.
- Wenk G., Antanaitis V., Šmelko Š. (1990). *Waldertragslehre*. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1 Auflage, Berlin: 448 str.
- Wimmenauer K. (1900). Ertragsuntersuchungen im Eichenhochwald. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 76: 2–9.
- Zenner E.K. (1999). *Eine neue Methode zur Untersuchung der Dreidimensionalität in Waldbeständen*. Universität Freiburg: 11 str.

Summary

Elements of the spatial stand structure were investigated in pure mature stands of sessile oak in the continental part of Bosnia and Herzegovina. Temporary test areas were set up at five locations, ie in five ecological units. The stands are in the 7th age class (120–140 years). The basic elements of stand structure by ecological units were determined and analyzed: number of trees per hectare, mean diameter, mean height, mean crown projection area, basal area per hectare and growing stock. Homogeneity indices were calculated to define the homogeneity of stands. In the investigated stands, the homogeneity decreases with the deterioration of habitat conditions. Indices of differentiation of tree diameters by localities or ecological units are approximately equal and amount to about 0.20, which practically means that on average a randomly selected tree and its nearest neighboring tree are in such relationship that the diameter of a thinner tree is 80% of the diameter of a thicker tree. By applying the methods for determining the spatial distribution of trees, significant randomness in tree distribution was stated. There are no reliable data on the treatment of the studied stands in the past. Based on the determined values of growth elements, homogeneity index and structure analysis, it can be concluded that in the investigated stands, low - thinning fellings were mainly carried out.

Key words: homogeneity index, mature stand, sessile oak, spatial distribution of trees, tree diameter differentiation index.