

PRIMJENA INDEKSA OBRASTA SASTOJINE PREMA RAJNEKEU ZA PROCJENU I KONTROLU OBRASTA JEDNODOBNIH SASTOJINA U BOSNI I HERCEGOVINI

APPLICATION OF STAND DENSITY INDEX ACCORDING TO REINEKE FOR ESTIMATE AND CONTROL OF DENSITY OF EVEN-AGED STANDS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Vojislav Dukić^{1*}, Srđan Bilić¹, Danijela Petrović¹, Zoran Maunaga¹

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

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

Izvod

Veliki nedostatak utvrđivanja i kontrole stepena obrasta jednodobnih šuma u praksi uređivanja šuma u Bosni i Hercegovini leži u činjenici da se koriste prinosne tablice izrađene za područja u drugim zemljama koje karakterišu drugačiji stanišni uslovi i način gazdovanja. Indeks obrasta sastojine prema Rajnekeu (Reineke) je, kao relativna mjera obrasta sastojine, pokazatelj produkcije pri različitim sastojinskim strukturama i u različitoj starosti. Preliminarna istraživanja pokazuju da se posmatrani pokazatelj obrasta može uspješno koristiti u praksi uređivanja šuma u Bosni i Hercegovini za jednodobne sastojine. Potreba za primjenom ovog pokazatelja obrasta je naročito izražena kada su u pitanju vještački podignute sastojine.

Ključne riječi: Bosna i Hercegovina, indeks obrasta sastojine, jednodobne sastojine, relativni obrast sastojine

1. UVOD / INTRODUCTION

U praksi uređivanja šuma u Bosni i Hercegovini, kada su u pitanju jednodobne šume, stepen obrasta sastojine se utvrđuje kao odnos temeljne posmatrane sastojine i vrijednosti temeljne očitane u prirasno-prinosnim tablicama. Veliki nedostatak ovakvog pristupa je u činjenici da za područje Bosne i Hercegovine prinosne tablice za čiste sastojine smrčice na karbonatnim supstratima, autora Maunaga (2001), predstavljaju jedine izrađene prinosne tablice. Za određivanje obrasta koriste se tablice izrađene za područja u drugim zemljama koje karakterišu drugačiji stanišni uslovi i način gazdovanja.

Indeks obrasta sastojine¹ (IOS) je, kao relativna mjera obrasta sastojine, pokazatelj produkcije pri različitim sastojinskim strukturama i u različitoj starosti. Za posmatrani tip šume Rajneke je utvrdio da ne postoji značajna zavisnost vrijednosti indeksa obrasta sastojine od starosti i boniteta staništa. Prvobitno je opisan kao relativna mjera obrasta u jednodobnim čistim sastojinama, ali je kasnije primijenjen i za raznodobne i mješovite sastojine. Indeks obrasta je dobar pokazatelj cjelovitosti šume, posebno zbog toga što je obrast sastojine varijabla koja ima samo jedan limit za datu vrstu drveća, nezavisno od

¹ Originalan prevod sa engleskog jezika bi bio „indeks gustine sastojine”. Kod nas u ovom kontekstu ustaljen je termin obrast, pa bi primjena originalnog prevoda mogla da dovede do pogrešnog tumačenja.

drugih faktora (Bégin et al., 2001; Larsen, 2001; Zeide, 2005; Shaw, 2006; VanderSchaaf, 2013).

U praksi uređivanja šuma indeks obrasta sastojine prema Rajnekeu koristi se za procjenu i kontrolu stepena obrasta sastojina (Bégin et al., 2001; Zeide, 2004). Prema Njutnu (Newton, 1997), upravljanjem obrastom sastojine pokušava se proredama kontrolisati konkurencija u sastojini, regulisanjem broja i prostornog rasporeda pojedinačnih stabala po jedinici površine. Prema Gartleneru (Gartlehner, 2016), da bi se spriječio gubitak prirasta, stvarni IOS tre-

ba da bude niži od maksimalne vrijednosti IOS. Prema Longu (Long, 1996), IOS je potencijalno korisna mjera obraslosti, iskorištenosti staništa i konkurencije između spratova mješovitih četinarskih i raznodobnih sastojina.

Prema Longu i Vakijanu (Long & Vacchiano, 2014), kvantifikacija obrasta sastojina ključna je za modeliranje odumiranja (mortaliteta) u sastojinama, rasta i prinosa. Kvantifikacija obrasta je neizostavan segment u modelima ili simulatorima rasta šuma, koji imaju sve veću primjenu u planiranju gazdovanja šumama.

2. MATERIJAL I METOD RADA / MATERIAL AND METHODS

Pravilom obrasta sastojine prema Rajnekeu (Reineke, 1933) opisuje se odnos između srednjeg prečnika „ d_q ” i broja stabala po hektaru „ N ” u potpuno obraslim, jednodobnim, čistim sastojinama kojima nije gazdovano:

$$N = a \times d_q^b \quad (1)$$

Ovaj odnos može biti predstavljen pravom linijom u dvostrukom logaritamskom koordinatnom sistemu:

$$\ln N = \ln a + b \times \ln d_q \quad (2)$$

Rajneke je pretpostavio da je broj stabala N proporcionalan srednjem prečniku sastojine d_q kada je $b = 1,605$. Reineke (1933) indeks obrasta sastojine temelji na alometrijskoj (disproporcionalnoj) vezi između broja stabala „ N ” i srednjeg prečnika „ d_q ”. Indeks obrasta sastojine definisan je postavljanjem uslova da je IOS jednak broju stabala po hektaru kada je kvadratni srednji prečnik 25,4 cm²:

$$\text{IOS} = N (d_q / 25,4)^{1,605} \quad (3)$$

N - broj stabala po hektaru,

d_q - kvadratna sredina prečnika stabala (prečnik aritmetički srednjeg stabla po presjeku),
25,4 - referentna kvadratna sredina prečnika stabala,

1,605 - samoporedni koeficijent prema Rajnekeu (Reineke, 1933).

Prema Drevu i Flevelingu (Drev & Flevelling, 1979), relativni obrast se definiše kao odnos stvarnog obrasta sastojine (stabala po hektaru) i maksimalnog obrasta sastojine koji se može postići u sastojini sa istim srednjim prečnikom stabala. Relativna vrijednost obrasta tj. relativni obrast sastojine (ROS) utvrđen je kao odnos utvrđene vrijednosti indeksa obrasta prema Rajnekeu (IOS) i njegove maksimalne vrijednosti za datu vrstu (IOS_{\max}):

$$\text{ROS} = \text{IOS} / \text{IOS}_{\max} \quad (4)$$

IOS_{\max} – smrča (1220), hrast (960), crni bor (990) i duglazija (900)

Maksimalna vrijednost indeksa obrasta sastojine predstavlja maksimalan broj stabala po hektaru pri punom obrastu, stopostotni udio određene vrste drveća i srednji prečnik 25,4 cm. Za glavne vrste drveća maksimalnu vrijednost Halaj i saradnici (Halaj et al., 1987) izvode iz modela tablica prinosa: smrča (1220), jela (1130), bor (990), bukva (1050) i hrast (960). Šterba (Sterba, 1991), prema Preču (Pretzsch, 2009), navodi sljedeće maksimalne vrijednosti indeksa obrasta sastojine: smrča (900–1100), jela (800–1000), duglazija (700–900), evropski ariš (500–600), bijeli bor (600–750), bukva (650–750) i hrast kitnjak (500–600).

Za razliku od jednodobnih sastojina, u raznodobnim sastojinama indeks obrasta sastojine može

² Rajneke je izvorno indeks obrasta sastojine definisao postavljanjem uslova da je IOS jednak broju stabala po akru (0,4047 hektara, engl. *acre*) kada je kvadratni srednji prečnik 10 inča (25,4 cm, engl. *inch*).

se izračunati, pored navedenog načina, na osnovu kvadratne sredine prečnika stabala i metodom sumiranja. U metodi sumiranja, IOS se izračunava pomoću pojedinačnih prečnika stabla (ili prečnika debljinske klase) i broja stabala predstavljenih stablom ili debljinskom klasom. IOS je aditivan i može se dijeliti. IOS-i izračunati pomoću ove dvije metode su gotovo identični za jednodobne sastojine, ali se njihove vrijednosti razilaze kako debljinska struktura odstupa od normalne (Shaw, 2000, 2006).

Preliminarno istraživanje mogućnosti primjene indeksa obrasta sastojina urađeno je na primjeru sastojina smrče i sastojina hrasta kitnjaka u visokim šumama sa prirodnom obnovom, te u vještački podignutim sastojinama crnog bora i zelene duglazije. Uzorkom su obuhvaćene i prirodne i vještački podignute sastojine, a takođe i sastojine liščara i četinarara. Kada su u pitanju vještački podignute sastojine, obuhvaćena je jedna autohtona (crni bor) i jedna alohtona (zelena duglazija) vrsta drveća. U uzorku nedostaju vještački podignute sastojine liščara. Razlog tome je nedostupnost potrebnih istraživanja navedenih sastojina i mala površina istih na istraživanom prostoru. Prema podacima u važećim šumskoprivrednim osnovama, udio površine vještački podignutih sastojina liščara u ukupnoj površini vještački podignutih sastojina kojima gazduje JPŠ „Šume Republike Srpske“ manji je od 2%.

U okviru sveobuhvatnog istraživanja šuma hrasta kitnjaka sa aspekta nauke o prirastu šuma i modeliranju rasta šuma postavljene su privremene ogledne površine u sjevernom dijelu Bosne i Hercegovine. Istraživanje je obavljeno postavljanjem serija oglednih površina na pet lokaliteta (Katunište, Bandera, Kozara–Vrbaška, Motajica i Mala Ukrija) koji stanišnim uslovima reprezen-

tuju stanišne uslove šuma hrasta kitnjaka u posmatranom području (Dukić, 2011, 2014).

Kada su u pitanju sastojine smrče, potrebni podaci su prikupljeni u okviru istraživanja jednodobnih šumskih zasada smrče (*Picea abies*, Karst), bijelog bora (*Pinus sylvestris*, L) i crnog bora (*Pinus nigra*, Arn) u Bosni i Hercegovini pomoću privremenih oglednih površina kružnog oblika, čija je veličina prilagođena starosti sastojina. Od ukupno postavljene 72 ogledne površine, analizirano je 20 sastojina nastalih prirodnom obnovom, tj. analizirane su sastojine mlađe od 100 godina, jer su za područje Bosne izrađene prinosne tablice do navedene starosti (Maunaga, 2001; Pavlič, 1999).

Istraživanja vještački podignutih sastojina crnog bora su obavljena u šumskoprivrednom području „Usorsko-Ukrinsko“. Na prostoru navedenog šumskoprivrednog područja šumske kulture se prostiru na površini od 5838,4 ha, a to je oko 10% ukupne površine pod kulturama u Republici Srpskoj. Pod kulturama crnog i bijelog bora je površina od 5549,3 ha, odnosno 95% površine pod kulturama u navedenom području. Pet oglednih površina je postavljeno u sastojinama koje u dosadašnjem periodu nisu adekvatno uzgojno tretirane (prorjeđivane), dok je jedna ogledna površina postavljena u sastojini u kojoj su provođene mjere njege (Jović, 2012).

Na području Dobojsko-derventske šumskoprivrednog područja istraživane su vještački podignute sastojine duglazije. Postavljeno je šest oglednih površina. Četiri ogledne površine postavljene su u sastojinama koje nisu imale adekvatan uzgojni tretman u prošlosti. Prosječna starost tih sastojina je 33 godine. Dvije ogledne površine postavljene su u sastojinama koje su adekvatno uzgojno tretirane u prošlosti. Prosječna starost tih sastojina je 53 godine (Vranješ, 2021).

3. REZULTATI RADA I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

U Tabeli 1 prikazani su osnovni elementi rasta istraživanih sastojina hrasta kitnjaka, utvrđeni stepeni obrasta i indeksi obrasta prema Rajneku. Istraživanjem su obuhvaćene sastojine VII dobnog razreda (120–140 godina), tj. sasto-

jine zrele za sječu. Bonitiranje korištenjem prinosnih tablica za slabu preredu (Wimmenauer, 1900) pokazuje da su obuhvaćene sastojine različitih stanišnih uslova (Tabela 1).

Tabela 1. Elementi rasta i obrast sastojina hrasta kitnjaka prirodnog porijekla / **Table 1.** Elements of growth and density of stands of sessile oak natural origin

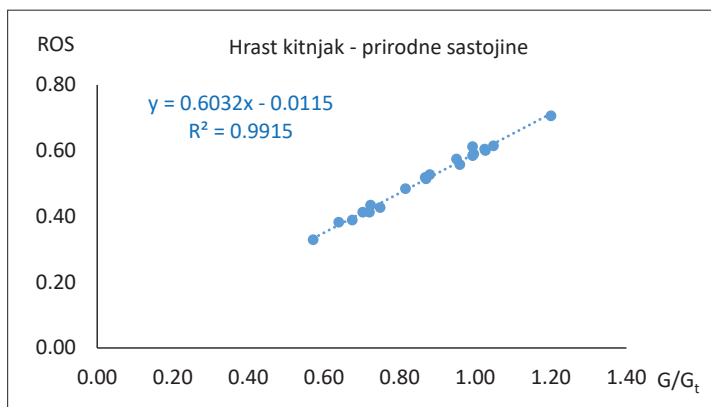
Ogled. povr.	Starost (godina)	Bonitet	d_g cm	N ha^{-1}	G m^2/ha	V m^3/ha	IOS	G_t m^2/ha	G/ G_t	ROS
1	130	II	46,4	120	20,29	322,42	316	35,5	0,57	0,33
2	130	II	46,9	148	25,57	428,89	396	35,5	0,72	0,41
3	130	II	41,7	188	25,68	389,32	417	35,5	0,72	0,43
4	130	II	44	164	24,94	345,95	396	35,5	0,70	0,41
5	122	IV	30,7	428	31,68	335,32	580	30,9	1,03	0,60
6	122	IV	30,8	412	30,70	329,12	561	30,9	0,99	0,58
7	122	IV	30,5	368	26,89	282,79	494	30,9	0,87	0,51
8	122	IV	30,2	352	25,21	246,76	465	30,9	0,82	0,48
9	138	III	36,8	324	34,46	461,94	587	34,7	0,99	0,61
10	138	III	42,1	256	35,64	529,93	576	34,7	1,03	0,60
11	138	III	39,6	248	30,54	391,83	506	34,7	0,88	0,53
12	138	III	41,5	308	41,66	568,77	677	34,7	1,20	0,71
13	128	III	39,7	288	35,65	558,79	590	34,0	1,05	0,61
14	128	III	36,8	304	32,33	458,00	551	34,0	0,95	0,57
15	128	III	38,7	288	33,88	494,61	566	34,0	1,00	0,59
16	128	III	40,6	252	32,62	462,04	535	34,0	0,96	0,56
17	132	IV	32,2	340	27,69	334,69	498	31,9	0,87	0,52
18	132	IV	36,2	232	23,88	315,69	410	31,9	0,75	0,43
19	132	IV	35,3	220	21,53	270,15	373	31,9	0,67	0,39
20	132	IV	32,1	252	20,39	228,93	367	31,9	0,64	0,38
Prosjek	130	III	37,6	275	29,06	387,80	493	33,4	0,87	0,51

Broj stabala po hektaru (N) je u intervalu od 120 do 428 (u prosjeku 275), a temeljnica (G) od 20,3 do 41,7 m^2/ha (u prosjeku 29,1 m^2/ha). Utvrđene zapremine (V) su u intervalu od 228,93 do 568,77 m^3/ha (u prosjeku 387,80 m^3/ha). Utvrđene vrijednosti IOS prema Rajnekeu su u intervalu od 316 do 677 (u prosjeku 493).

Utvrđeni stepeni obrasta sastojina na osnovu odnosa utvrđene i tablične vrijednosti temeljnice (G/G_t) su u intervalu od 0,57 do 1,20 (u prosjeku 0,87), a relativni obrasti sastojina (ROS) su u intervalu od 0,33 do 0,71 (u prosjeku 0,51). Koeфицијент korelacije između navedenih pokazatelja obrasta je 0,996 i statistički je značajan na nivou $p < 0,001$ (Slika 1).

U Tabeli 2 prikazani su osnovni elementi rasta istraživanih sastojina smrče prirodnog porijekla, utvrđeni stepeni obrasta i indeksi obrasta prema Rajnekeu. Istraživanjem su obuhvaćene sastojine starosti od 33 do 98 godina. Bonitiranje korištenjem prinosnih tablica za smrču u Bosni (Maunaga, 2001) pokazuje da su obuhvaćene sastojine osrednjih i boljih stanišnih uslova.

Broj stabala po hektaru je u intervalu od 245 do 3339 (u prosjeku 1782), a temeljnica od 27,60 do 58,80 m^2/ha (u prosjeku 44,56 m^2/ha). Utvrđene zapremine su u intervalu od 345,00 do 829,00 m^3/ha (u prosjeku 566,45 m^3/ha). Utvrđene vrijednosti IOS prema Rajnekeu su u intervalu od 491 do 1357 (u prosjeku 985).



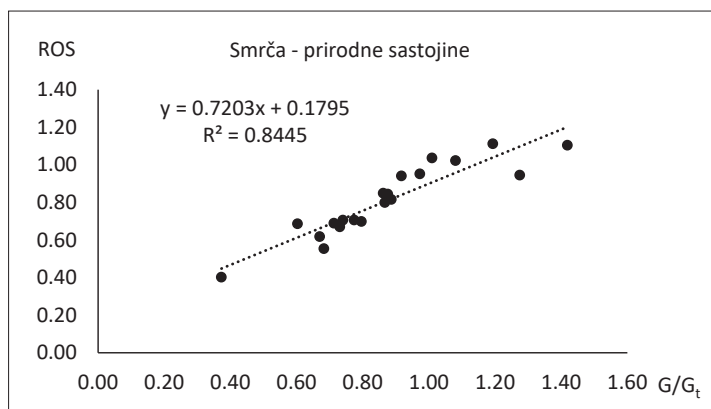
Slika 1. Odnos stepena obrasta sastojina i relativnog obrasta sastojina – sastojine hrasta kitnjaka prirodnog porijekla / **Figure 1.** Ratio of the degree of stand density and relative density - stands of sessile oak natural origin

Tabela 2. Elementi rasta i obrast sastojina smrče prirodnog porijekla / **Table 2.** Elements of growth and density of stands of Norway spruce natural origin

Ogled. povr.	Starost (godina)	Bonitet	dg	N	G	V	IOS	G _t	G/G _t	ROS
			cm	ha ⁻¹	m ² /ha	m ³ /ha		m ² /ha		
1	98	II	47,8	245	44,10	767,00	676	64,6	0,68	0,55
2	35	I	16	2411	48,60	545,00	1148	53,0	0,92	0,94
3	43	I	16,7	1641	36,00	432,00	837	59,7	0,60	0,69
4	44	III	11,8	3339	35,20	359,00	976	40,6	0,87	0,80
5	44	II	16,4	1698	35,80	426,00	841	50,2	0,71	0,69
6	36	I	16,2	2603	53,50	599,00	1265	53,0	1,01	1,04
7	36	III	14	2999	45,90	462,00	1153	36,0	1,28	0,94
8	38	II	13,9	3056	46,30	512,00	1161	47,6	0,97	0,95
9	33	I	17,6	1867	45,70	465,00	1036	53,0	0,86	0,85
10	42	II	16,5	2712	56,80	662,00	1357	47,6	1,19	1,11
11	44	III	16,2	2773	57,60	638,00	1347	40,6	1,42	1,10
12	44	II	18,6	1641	44,50	529,00	995	50,2	0,89	0,82
13	38	II	17,6	1358	31,90	345,00	754	47,6	0,67	0,62
14	39	II	14,8	2027	37,90	417,00	852	47,6	0,80	0,70
15	88	II	30,2	652	46,70	771,00	861	63,1	0,74	0,71
16	86	I	35,4	288	27,60	475,00	491	74,0	0,37	0,40
17	93	II	34,5	500	46,70	795,00	817	63,9	0,73	0,67
18	52	II	18,4	1728	45,90	604,00	1030	52,4	0,88	0,84
19	55	II	23,9	1376	58,80	829,00	1248	54,4	1,08	1,02
20	71	II	28,1	733	45,60	697,00	862	58,9	0,77	0,71
Prosjeak	53	II	21,2	1782	44,56	566,45	985	52,9	0,87	0,81

Utvrđeni stepeni obrasta sastojine na osnovu odnosa utvrđene i tablične vrijednosti temeljnice su u intervalu od 0,37 do 1,42 (u prosjeku 0,87), a relativni obrasti sastojina su u

intervalu od 0,40 do 1,11 (u prosjeku 0,81). Koeffcijent korelacije između navedenih pokazatelja obrasta je 0,919 i statistički je značajan na nivou $p < 0,001$ (Slika 2).



Slika 2. Odnos stepena obrasta sastojina i relativnog obrasta sastojina – sastojine smrče prirodnog porijekla / **Figure 2.** Ratio of the degree of stand density and relative density - stands of Norway spruce of natural origin

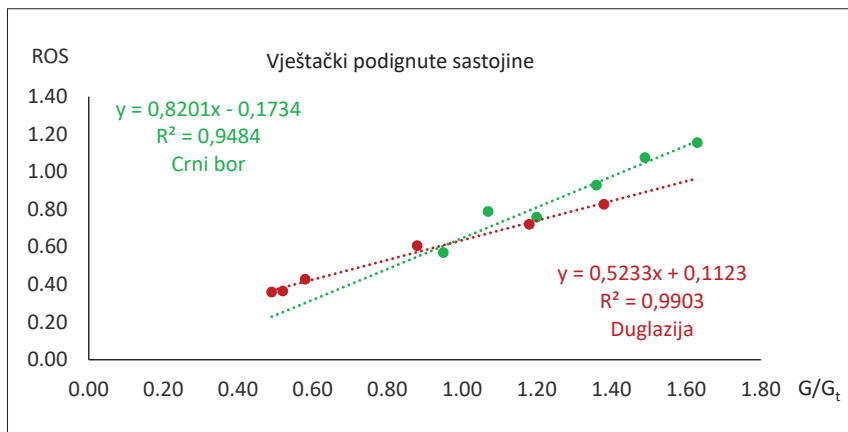
U Tabeli 3 prikazani su osnovni elementi rasta, utvrđeni stepeni obrasta i indeksi obrasta prema Rajnekeu za vještački podignute sastojine crnog bora i duglazije. Istraživanjem su obuhvaćene sastojine crnog bora starosti od 51 do 60 godina i sastojine duglazije starosti od 30 do 54 godine. Bonitiranje staništa sastojina korištenjem prinosnih tablica za umjerenu proredu za crni bor (Wiedemann, 1949) i umjerenu proredu za duglaziju (Bergel prema Schober, 1975) pokazuju da su obuhvaćene sastojine najboljih stanišnih uslova.

Prosječni broj stabala po hektaru za crni bor je 1133 a za duglaziju 574. Prosječna temeljnica istraživanih sastojina crnog bora iznosi 41,60 m²/ha, a duglazije 25,51 m²/ha. Utvrđene zapremine su 437,67 m³/ha za crni bor i 274,50 m³/ha za duglaziju. Utvrđene vrijednosti IOS prema Rajnekeu za crni bor su u intervalu od 564 do 1143 (u prosjeku 870). IOS za duglaziju su u intervalu od 324 do 744 (u prosjeku 496).

Za crni bor, utvrđeni stepeni obrasta sastojine na osnovu odnosa utvrđene i tablične vrijednosti temeljnice kreću se u intervalu od 0,95 do 1,63 (u prosjeku 1,28), a relativni obrasti sastojina u intervalu od 0,57 do 1,15 (u prosjeku 0,88). Koeff-

ficijent korelacije između navedenih pokazatelja obrasta je 0,974 i statistički je značajan na nivou $p < 0,01$. Za duglaziju, utvrđeni stepeni obrasta sastojine su u intervalu od 0,49 do 1,38 (u prosjeku 0,84), a relativni obrasti sastojina su u intervalu od 0,36 do 0,83 (u prosjeku 0,55). Koeffcijent korelacije između navedenih pokazatelja obrasta je 0,995 i statistički je značajan na nivou $p < 0,001$ (Slika 3).

Prema većem broju autora, za sastojinu se očekuje da će prirast zapremine stabla biti bližu maksimuma kada je ROS za vrstu i stanište između 0,35 i 0,60 (Drew & Flewelling, 1979; Long, 1985; Smith & Hann, 1986). Kada se posmatraju dobijene vrijednosti po vrstama drveća, možemo konstatovati da je najbolje stanje kod hrasta – čak 90% sastojina ima vrijednost relativnog indeksa u navedenom intervalu, zatim slijedi duglazija sa 50% sastojina, te crni bor i smrča sa samo 17%, odnosno 10%. Prema ovom pokazatelju, vrlo je loše stanje kod sastojina smrče, jer 90% sastojina ima veći obrast od optimalnog, a čak 20% sastojina ima veći obrast od maksimalnog za datu vrstu, što takođe navodi na potrebu utvrđivanja maksimalnih vrijednosti za lokalne uslove.



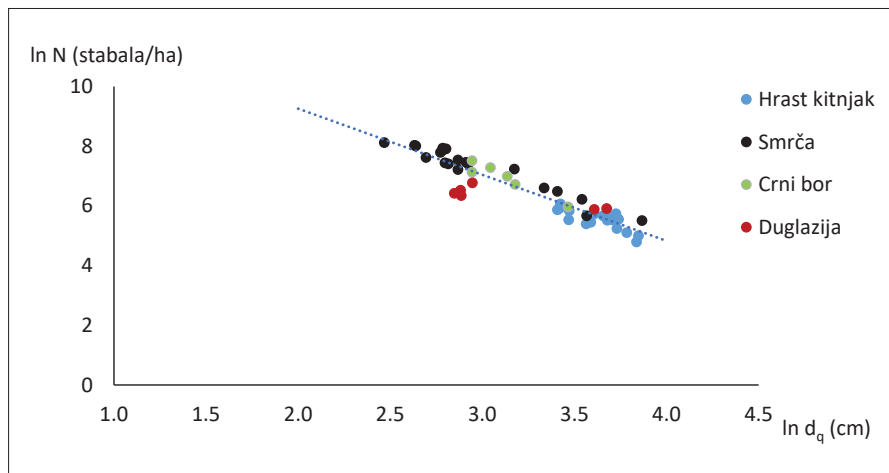
Slika 3. Odnos stepena obrasta sastojina i relativnog obrasta sastojina – vještački podignute sastojine / **Figure 3.** Ratio of the degree of stand density and relative density - artificially-established stands

Tabela 3. Elementi rasta i obrast vještački podignutih sastojina crnog bora i duglazije / **Table 3.** Elements of growth and density of artificially-established stands of Austrian pine and Douglas fir

Ogled. povr.	Starost (godina)	Bonitet	d_g cm	N ha ⁻¹	G m ² /ha	V m ³ /ha	IOS	G_t m ² /ha	G/G _t	ROS
Crni bor										
1	60	I	32,0	389	31,3	393	564	33,0	0,95	0,57
2	56	I	19,0	1822	52,9	497	1143	32,5	1,63	1,15
3	51	I	24,0	822	38,6	420	751	32,1	1,20	0,76
4	51	I	19,0	1244	34,4	362	781	32,1	1,07	0,79
5	53	I	21,0	1444	48,3	487	1064	32,5	1,49	1,07
6	54	I	23,0	1078	44,1	467	919	32,5	1,36	0,93
Prosjek	54	I	23,0	1133	41,60	437,67	870	32,5	1,28	0,88
Duglazija										
1	30	I	19,0	867	24,7	195	546	28,1	0,88	0,61
2	52	I	36,9	356	38,0	477	648	32,1	1,18	0,72
3	54	I	39,5	367	44,8	577	744	32,5	1,38	0,83
4	34	I	17,9	678	17,0	164	385	29,3	0,58	0,43
5	34	I	17,9	567	14,3	129	324	29,3	0,49	0,36
6	34	II	17,3	611	14,3	105	329	27,5	0,52	0,37
Prosjek	40	I	24,7	574	25,51	274,50	496	29,8	0,84	0,55

Polazeći od pomenutog pravila obrasta sastojine prema Rajnekeu (Reineke, 1933), prikazan je odnos između srednjeg prečnika „ d_q ” i broja stabala po hektaru „N” u dvostrukom logari-

tamskom koordinatnom sistemu (Slika 4). Odnos za sastojine svih posmatranih vrsta drveća analiziran je sumarno zbog malog uzorka po vrstama.



Slika 4. Odnos $\ln N$ i $\ln d_q$ / Figure 4. A relationship between $\ln N$ and $\ln d_q$

U ovom slučaju, u Funkciji 2 dobijena vrijednost parametra „b” iznosi 2,215 (Tabela 4). Dobijena vrijednost značajno je veća od samoporednog koeficijenta prema Rajneku od 1,605. Dobi-jeni rezultat ukazuje na potrebu provjere opšte primjenljivosti eksponenta „1,605” u našim uslovima, tj. potrebu za utvrđivanjem regionalnih vrijednosti parametara, polazeći i od činjenice da veći broj autora postavlja pitanje opšte primjenljivosti eksponenta „1,605”. Na osnovu potpuno obraslih čistih sastojina u Njemačkoj Preč

i Biber (Pretsch & Biber, 2005) su utvrdili vrijednosti koeficijenta: 1,789 za bukvu, 1,664 za smrču, 1,593 za bijeli bor i 1,424 za hrast kitnjak. Dobijeni koeficijent za bukvu značajno se razlikuje od ostalih vrsta. Takođe, postoji značajna razlika između vrijednosti koeficijenta za smrču i hrast kitnjak. Rezultati istraživanja Komoa i saradnika (Comeau et al., 2010) takođe ukazuju na potrebu za regionalnim vrijednostima parametara, bar kada se neka vrsta uzgaja izvan svog prirodnog areala.

Tabela 4. Zavisnost $\ln N$ od $\ln d_q$ – parametri regresije / Table 4. Dependence of $\ln N$ on $\ln d_q$ - regression parameters

Regresioni koeficijent	Skr	p	S_t (m ³ /ha)	R	R ²	F	p	n	
a	13,68756	0,384730	0,0000	0,337	0,94	0,88	358	0,0000	52
b	-2,21534	0,117100	0,0000						

Napomena / Note. Skr – standardna greška koeficijenta regresije / standard error of the regression coefficient, S_t – standardna greška procjene / standard error of estimate, R – koeficijent korelacije / correlation coefficient, R² – koeficijent determinacije / coefficient of determination i n – broj elemenata uzorka (oglednih površina) / the number of elements in the sample (sample plots)

Kao i u prethodnoj analizi, višestrukom regresionom jednačinom (Funkcija 5) obuhvaćena je zavisnost zapremine drvene mase po hektaru u sastojinama svih posmatranih vrsta drveća (52 sastojine) od temeljnice sastojine i relativne vrijednosti obrasta sastojine prema Rajneku. Do višestruke regresione jednačine došlo se metodom postepene (stepwise) višestruke re-

gresije. Regresija u cjelini, kao i svi koeficijenti regresije, statistički je značajna na nivou $p < 0,001$. Koeficijent determinacije je vrlo visok i iznosi $R^2 = 0,997$, a standardna greška regresije je 36,5 m³/ha. Udio standardne greške regresije u aritmetičkoj sredini zapremina analiziranih sastojina je 8,1%.

$$V = a \cdot G + b \cdot ROS \quad (5)$$

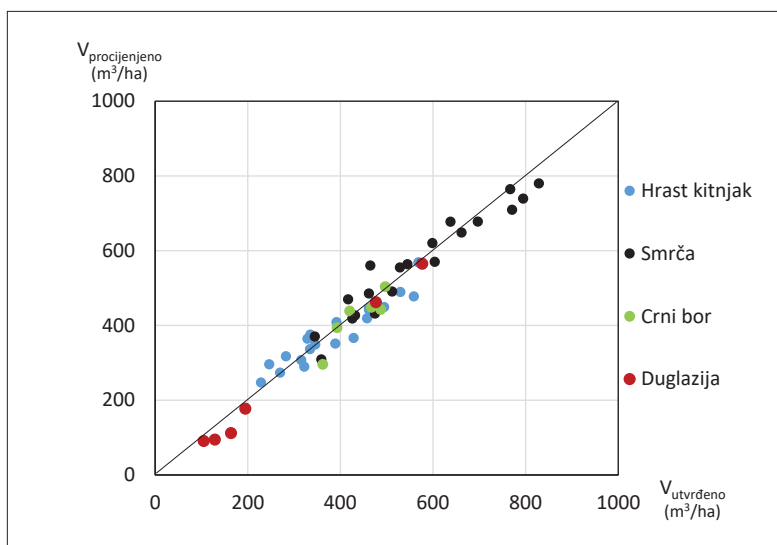
Tabela 5. Zavisnost zapremine sastojine (hrast kitnjak, smrča, crni bor i duglazija) od temeljnice sastojine i relativnog obrasta sastojine – parametri regresije / **Table 5.** Dependence of stand volume (sessile oak, Norway spruce, Austrian pine and Douglas fir) on stand basal area and relative stand density index - regression parameters

Regresioni koeficijent	Skr	p	S_t (m ³ /ha)	R	R ²	F	p	n	
a	28,947	1,08140	0,0000	36,5	0,997	0,994	4436	0,0000	52
b	-886,367	57,66274	0,0000						

Napomena / Note. Skr – standardna greška koeficijenta regresije / standard error of the regression coefficient, S_t – standardna greška procjene / standard error of estimate, R – koeficijent korelacije / correlation coefficient, R² – koeficijent determinacije / coefficient of determination i n – broj elemenata uzorka (oglednih površina) / the number of elements in the sample (sample plots)

Na Slici 5 prikazan je odnos utvrđenih i procijenjenih zapremina (po hektaru) na osnovu dobijenog regresionog modela (Funkcija 5). Vrlo dobro se može uočiti podudaranje utvrđenih i procijenjenih vrijednosti zapremine kod sve četiri posmatrane vrste drveća. Višestrukom regresionom jednačinom obuhvaćena je zavisnost zapremine drvene mase od temeljnice sastojine i relativnog obrasta sastojine. Relativnim obrastom sastojine ili udjelom utvrđenog indeksa obrasta prema Rajneku, u maksimalnoj vrijednosti za datu vrstu obuhvaćena je zavisnost od vrste drveća, a interakcijom temeljnice i relativnog obrasta sastojine obuhvaćena je zavisnost

od obraslosti sastojine i stanišnih uslova. Ovo su preliminarna istraživanja, mogućnosti procjene zapremine sastojina na osnovu temeljnice i relativnog obrasta sastojine (tj. izrade sastojinskih zapreminskih tablica) i eventualne primjene istog u praksi treba testirati na znatno većem uzorku. Potrebni podaci za primjenu modela tj. procjenu zapremine sastojine mogu se relativno brzo prikupiti u sastojini metodom relaskopije. Relativno sličan pristup u procjeni zapremine raznodobnih sastojina bukve u Srbiji imali su Koprivica i saradnici (Koprivica et al., 2013), s tim da su umjesto relativnog obrasta sastojine koristili Lorajevu srednju visinu.



Slika 5. Odnos utvrđenih i procijenjenih zapremina sastojina na osnovu regresionog modela (Funkcija 5) / **Figure 5.** A relationship between determined and assessed stand volume by regression model (Function 5)

4. ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Veliki nedostatak utvrđivanja i kontrole stepena obrasta jednodobnih šuma u praksi uređivanja šuma u Bosni i Hercegovini leži u činjenici da se koriste tablice izrađene za područja u drugim zemljama koje karakterišu drugačiji stanišni uslovi i način gazdovanja. Ako nije poznat intenzitet izvršenih proreda u prethodnom periodu, postavlja se pitanje za koji intenzitet proreda (slabi, umjereni ili jaki) treba koristiti tablice. Značenje pojedinih intenziteta proreda je definirano metodikom izrade posmatranih tablica, tako da se javljaju odstupanja kod različitih tablica. U našoj praksi se često susrećemo sa sastojinama u kojima su potpuno izostale prorede, što dodatno usložnjava problem.

Odnos utvrđenih relativnih vrijednosti indeksa obrasta prema Rajnekeu za date vrste drveća (hrast kitnjak, smrča, crni bor i duglazija) u prirodnim i vještački podignutim sastojinama i utvrđenih stepena obrasta sastojine (odnosa utvrđene i tablične vrijednosti temeljnice) pokazuje značajno podudaranje posmatranih pokazatelja obrasta sastojina (koeficijenti korelacije po vrstama drveća su u intervalu od 0,919 do 0,996). Polazeći od navedenog i modela za procjenu zapremine sastojine na osnovu temeljnice i relativnog obrasta sastojine (regresija u cjelini, kao i svi koeficijenti regresije statistički su značajni na nivou $p < 0,001$), može se konstatovati da se posmatrani pokazatelj obrasta može uspješno koristiti u praksi uređivanja šuma u Bosni i Hercegovini za procjenu i kontro-

lu obrasta sastojina. Potreba za primjenom ovog pokazatelja obrasta naročito je izražena kada su u pitanju vještački podignute sastojine.

Pronalaženjem i promjerom potpuno obraslih čistih sastojina različitih vrsta drveća, a naročito alohtonih vrsta, potrebno je provjeriti opštu primjenljivost eksponenta „1,605” i potrebu za utvrđivanjem regionalnih vrijednosti parametara. Takođe je potrebno provjeriti da li su maksimalne vrijednosti indeksa obrasta različitih vrsta drveća, navedene u literaturi, primjenjive u našim uslovima.

U daljim istraživanjima, potrebno je na većem uzorku analizirati mogućnost izrade regresionog modela za procjenu drvne zapremine sastojine na osnovu temeljnice i relativnog obrasta i primjene u promjeru privatnih šuma u Bosni i Hercegovini. Razlog za to je činjenica da za privatne šume nije propisana elementarna površina uzorka, već se koristi slobodno birani uzorak. Pri taksacionom snimanju u okviru jedne katastarske opštine, u jednom reprezentantu se postavlja relativno mali broj primjernih površina na principu ugaonog primjernog izbrajanja, ili relaskopije (u prosjeku 5 krugova), i u većini slučajeva se angažuje jedan radnik. Relaskopijom se prikupe svi potrebni podaci za određivanje zapremine po dobijenom modelu.

U narednim istraživanjima takođe treba analizirati primjenu indeksa obrasta prema Rajnekeu za procjenu obrasta raznodobnih i mješovitih sastojina u našim uslovima.

Literatura / References

- Bégin E., Bégin J., Bélanger L., Rivest L-P., Tremblay S. (2001). Balsam fir self-thinning relationship and its constancy among different ecological regions. *Canadian Journal of Forest Research* 31(6): 950–959.
- Comeau P., White M., Kerr G., Hale S. E. (2010). Maximum density-size relationships for Sitka spruce and coastal Douglas-fir in Britain and Canada. *Forestry: An international Journal of Forest Research* 83(5): 461–468.
- Drew T.J., Flewelling J.W. (1979). Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science* 25: 518–532.
- Dukić V. (2011). *Krošnje kao faktor optimalne izgrađenosti jednodobnih sastojina hrasta kitnjaka*. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Banja Luka: 303 str.
- Dukić V. (2014). *Kitnjakove šume Republike Srpske – stanje i modeli sastojina*. Šumarski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Banja Luka: 285 str.
- Garthlechner C. (2016). *Application of the tree-growth-model moses for sitka spruce in Scotland*. Mas-

- ter's thesis, Institute of Silviculture, University of Life Sciences, Vienna: 68 str.
- Halaj J., Grék J., Pánek F., Petráš R., Řehák J. (1987). *Rastové tabulky hlavných drevin ČSSR*, Priroda, Bratislava: 361 str.
- Jović G. (2012). *Razvojno-proizvodne karakteristike kultura crnog bora u Tesličkom šumskoprivrednom području*. Magistarski rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Banja Luka: 144 str.
- Koprivica M., Matović B., Čokeša V., Stajić S. (2013). Stand volume tables for beech in Serbia. *Sustainable Forestry* 67–68: 45–58.
- Larsen D. R. (2001). Stand Density Index. Natural Resource Biometrics, University of Missouri-Columbia. Preuzeto 23. novembra 2021. sa <https://bit.ly/3nJaG8a>
- Long J.N. (1985). A practical approach to density management. *The Forestry Chronicle* 62(1): 23–27.
- Long J.N. (1996). A technique for the control of stocking in two-storied stands. *Western Journal of Applied Forestry* 11: 59–61.
- Long J.N., Vacchiano G. (2014). A comprehensive framework of forest stand property–density relationships: perspectives for plant population ecology and forest management. *Annals of Forest Science* 71: 325–335 <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0351-3>
- Maunaga Z. (2001). Prinosne tablice za jednodobne sastojine smrčice u Bosni. *Šuma* 2: 5–24.
- Newton P. F. (1997). Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecology and Management* 98: 251–265.
- Pavlič J. (1999). Metodika premjera i registrovanja podataka u jednodobnim šumskim zasadima smrčice (*Picea abies*, Karst), bijelog bora (*Pinus sylvestris* L) i crnog bora (*Pinus nigra*, Arn) u Bosni i Hercegovini. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu* 1: 33–60.
- Pretzsch H., Biber P. (2005). A re-evaluation of Reineke's rule and Stand Density Index. *Forest Science* 51: 304–320.
- Pretzsch H. (2009). *Forest dynamics, growth and yield*. Springer, Berlin, Heidelberg: 664 str.
- Reineke L.H., (1933). Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46(7): 627–638.
- Schober R. (1975). *Ertragstafeln wichtiger Baumarten*. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main: 154 str.
- Shaw J.D. (2000). Application of stand density index to irregularly structured stands. *Western Journal of Applied Forestry* 15: 40–42.
- Shaw J.D. (2006). Reineke's Stand Density Index: Where are we and where do we go from here? U: *Society of American Foresters 2005 National Convention. October 19-23, 2005, Ft. Worth, TX*. Society of American Foresters, Bethesda, MD: (1)–13.
- Smith N.J., Hann D.W. (1986). A growth model based on the self-thinning rule. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 330–334.
- Sterba H. (1991). *Forstliche Ertragslehre 4*. Lecture at the Univ Bodenkultur, Wien: 160 str.
- VanderSchaaf, C. L. (2013). Reineke's stand density index: a quantitative and non-unitless measure of stand density. U: Guldin, James M. (Ur.), *Proceedings of the 15th biennial southern silvicultural research conference*. e-Gen. Tech. Rep. SRS-GTR-175. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 577–579.
- Vranješ I. (2021). *Struktura i prirast sastojina duglazije (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) u Dobojsko-derventskom šumskoprivrednom području*. Master rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Banja Luka: 95 str.
- Wiedemann E. (1949). *Ertragstafeln der wichtiger*. Verlag M. & H. Schaper, Hannover.
- Wimmenauer K. (1900). Ertragsuntersuchungen im Eichenhochwald. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 76: 2–9.
- Zeide B. (2004). How to measure density. *Trees* 19(1): 1–14.
- Zeide B. (2005). How to measure stand density. *Trees - Structure and Function* 19: 1–14.

Summary

A major drawback in assessment and stocking control of even-aged forests in the practice of forest management in Bosnia and Hercegovina is the fact that yield tables made for areas in other countries that are characterized by different habitat conditions and management are used.

Stand density index (SDI) is, as relative measure of stocking, an indicator of production at different stand structures and at different ages. In the practice of forest management, stand density index

according to Reineke is used for assessment and stocking control of stands. The relative stocking value, or the relative stand stocking according to Reineke (RDI) is the ratio of the determined stand density index and its maximum value for a given species.

The possibilities of applying stand density index were tested on the example of spruce and sessile oak stands with natural regeneration and planted forests of black pine and Douglas fir. The sample covers both natural and planted forests, as well as deciduous and coniferous stands. When it comes to the planted forests, one domestic and one introduced tree species are included.

The ratio of the determined relative values of density index according to Reineke for given tree species (sessile oak, spruce, black pine and Douglas fir) in natural and planted forest stands and the determined stand stocking (ratio of determined and tabular values of basal area) shows a significant match of observed stand stocking indicators. Starting from the above and the model for estimating stand volume based on basal area and relative stand stocking (regression as a whole, as well as all regression coefficients are statistically significant at the level of $p < 0.001$) it can be stated that the observed stocking indicator can be successfully used in forest management practice in Bosnia and Herzegovina for the assessment and stocking control of stands.

In further research, it is necessary to check the general applicability of the exponent "1.605" and the need to determine the regional values of the parameters. It is also necessary to check whether the maximum values of the stand density index of different tree species listed in the literature are applicable in our conditions.

Key words: Bosnia and Herzegovina, even-aged stands, Relative density index, Stand density index