



Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Simpozij zaštita šuma-stabilnost šumskih ekosistema: Dan šuma

Beus, Vladimir; urednik

2024-09

<https://bastina.anubih.ba/handle/123456789/794>

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

<https://bastina.anubih.ba/>

MODEL ZA PROCJENU INDEKSA STANIŠTA (*SITE INDEX*) ZA JEDNODOBNE NENJEGOVANE ZASADE BIJELOG BORA (*PINUS SYLVESTRIS* L.) NA KARBONATNIM SUPSTRATIMA U BOSNI I HERCEGOVINI

Besim Balić

Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet
E-mail: b.balic@sfsa.unsa.ba

Aida Ibrahimspahić

Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet

Samir Fetić

Uprava za gazdovanje šumama i lovištem, Pljevlja, Crna Gora

Apstrakt: U radu je predstavljen postupak izbora najpogodnijeg numeričkog modela za utvrđivanje indeksa staništa (SI – *site index*) kao apsolutne mjere proizvodnog potencijala (boniteta) staništa jednodobnih nenjegovanih sastojina bijelog bora na karbonatnim supstratima u BiH. Objekat istraživanja su predstavljale jednodobne nenjegovane sastojine bijelog bora različitih taksacionih i stanišnih karakteristika. Metodom privremenih oglednih parcela prikupljeno je više općih i taksacionih podataka, a zatim su njihovom obradom i analizom utvrđeni najvažniji strukturni i proizvodni parametri sastojina odvojeno po relativnim visinskim bonitetnim klasama staništa (RB). Za utvrđivanje numeričkog modela za procjenu indeksa staništa (SI) primijenjene su metode korelacione i regresione analize, a za predstavljanje veličina osnovnih taksacionih elemenata prema veličinama SI grafička metoda. U cilju predstavljanja veličina osnovnih taksacionih elemenata po utvrđenim SI klasama uspostavljena je korelaciona veza između SI_{50} (pri starosti od 50 godina) i postojećih relativnih bonitetnih klasa (RB) jednodobnih sastojina bijelog bora. Ova veza je poslužila za izradu proizvodne diferencijacije staništa jednodobnih sastojina bijelog bora na karbonatnim supstratima u BiH koja omogućava prikaz veličina osnovnih taksacionih elemenata ovih sastojina zavisno od starosti i SI_{50} . Poređenjem utvrđenih rezultata istraživanja s odgovarajućim rezultatima drugih autora zaključeno je da su jednodobne sastojine bijelog bora u BiH srednje produktivne.

Cljučne riječi: *Site index*, jednodobne nenjegovane sastojine, bijeli bor, proizvodna diferencijacija staništa

1. Uvod

Kao rezultat sporadičnog pošumljavanja neobraslog dijela površina šumskog zemljišta, danas su u BiH prisutne značajne površine jednodobnih šumskih

zasada smrče, bijelog i crnog bora različite starosti. Pretpostavlja se da je njihova ukupna površina u 1985. godini iznosila oko 150.000 hektara (Pavlič, 1999). Prema preliminarnim rezultatima Druge nacionalne inventure šuma u BiH (2006–2009), procijenjena površina jednodobnih šuma iznosila je 157.300 hektara. U okviru jednodobnih sastojina, zasadi bijelog bora zauzimaju značajne površine s tendencijom njihovog daljeg povećanja, što je bilo tada i predviđeno Dugoročnim programom razvoja šumarstva (1988–2000). Poznato je da se provedenim taksacionim premjerima snimaju i prikupljaju skoro svi podaci kao i u visokim šumama s prirodnom obnovom. Za obračun drvene zalihe i zapreminskog prirasta koristi se metod uređajnih tarifa koje su konstruisane za visoke prirodne šume bijelog bora (Drinić et al., 1990). Za primjenu ovih tablica jedna od ulaznih veličina je bonitetni razred staništa koji se procjenjuje na bazi visinske krivulje sastojina. Poznato je, također, da se krivulje visina u jednodobnim sastojinama sa starošću pomjeraju “prema gore” i “udesno” te predstavljaju “krive stanja” (Banković i Pantić, 2006; Pranjić i Lukić, 1995). Iz tih razloga dolazi se do pogrešne ocjene boniteta staništa, što se konačno odražava i na pogrešno utvrđenu veličinu drvene zalihe i zapreminskog prirasta. Za objektivniju procjenu proizvodnog potencijala (boniteta) staništa u jednodobnim sastojinama, kao apsolutna mjera boniteta koristi se indeks staništa – *Site index*. On zapravo predstavlja prosječnu visinu stabala neke jednodobne sastojine u odnosu na neku referentnu starost sastojine (*najčešće u 50. ili 100. godini*). Stoga će i problem ovih istraživanja biti iznalaženje numeričkog modela za procjenu stanišnog indeksa – *Site index*, kao apsolutne mjere za procjenu boniteta staništa nenjegovanih šumskih zasada bijelog bora u BiH. Za ove sastojine već su provedena istraživanja modela rasta i prirasta (Balić, 2003b; 2020; Balić et al., 2019; Fetić, 2014) pri čemu je (između ostalog) utvrđena dispozicija visinskih boniteta na bazi gornjih¹ i srednjih sastojinskih visina te dat prikaz veličina zapremine i zapreminskog prirasta po bonitetnim razredima staništa kao relativnoj mjeri boniteta. Ovi će objavljeni rezultati biti od značaja za uspostavljanje veze između relativnih i apsolutne mjere boniteta.

¹ Prema Krameru (1964), najpovoljnija visina za bonitiranje staništa je tzv. Vajzeova (Weise) gornja visina koja predstavlja visinu srednjeg stabla po temeljnici 20% najdebljih stabala jedne sastojine. Dakle, ona predstavlja visinu srednjeg stabla po temeljnici jednog relativno uvijek istog, ali apsolutno različitog broja najdebljih stabala jedne sastojine.

2. Materijal i metode istraživanja

Kao primarna naučna građa za izradu ovog rada poslužili su podaci promjera prikupljeni na 77 oglednih ploha postavljenih širom Bosne unutar jednodobnih nenjegovanih šumskih zasada bijelog bora različite starosti u intervalu od 10 do 54 godine. Izbor sastojina za postavljanje privremenih oglednih ploha, kao i prikupljanje potrebnih podataka na njima, izvršen je po odgovarajućoj, već objavljenoj metodici (Pavlič, 1999).

Osnovni podaci za izradu ovog rada prikupljeni su na privremenim oglednim ploham koje su bile kružnog oblika fiksnog radijusa, čija je površina zavisila od starosti sastojine. U priloženoj tabeli prikazani su površine i radijusi oglednih ploha u zavisnosti od starosti sastojina.

Tabela 1. Površine i radijusi oglednih ploha u zavisnosti od starosti sastojina
Table 1. Areas and radii of experimental plots depending on the age of the stands

Starost sastojine (godine) <i>Age of the stand (years)</i>	Radijus primjerne plohe (m) <i>Radius of a sample plot (m)</i>	Površina primjerne plohe (ha) <i>Area of a sample plot (ha)</i>	Starost sastojine (godine) <i>Age of the stand (years)</i>	Radijus primjerne plohe (m) <i>Radius of a sample plot (m)</i>	Površina primjerne plohe (ha) <i>Area of a sample plot (ha)</i>
10–15	4,0	0,0050	66–75	12,5	0,0491
16–25	5,0	0,0079	76–85	14,5	0,0661
26–35	6,5	0,0133	86–95	16,5	0,0855
36–45	7,5	0,0177	96–105	18,0	0,1018
46–55	9,5	0,0284	106–115	19,5	0,1195
56–65	10,5	0,0346	116 i više	21,0	0,1385

Pored podataka prikupljenih na privremenim oglednim ploham, kao osnovni materijal koji je poslužio za izradu ovog rada korišteni su već utvrđeni regresioni modeli za procjenu osnovnih taksacionih elemenata jednodobnih nenjegovanih sastojina bijelog bora koji su obrađeni u okviru magistarskog rada (Balić, 2003a), a djelimično publikovani u radovima Balić et al., 2019; Balić, 2020. Iz ovih radova preuzeti su svi osnovni podaci o istraživanim sastojinama koji će u narednim poglavljljima biti predstavljeni u sažetoj formi.

3. Rezultati istraživanja s diskusijom

Apsolutni visinski bonitet – indeks staništa (engl. *Site Index*, u daljem tekstu *SI*) pokazuje koliku visinu sastojina određene vrste drveća postiže pri nekoj određenoj starosti (Lockow, 2004). Očigledna prednost *SI* ogleda se u mogućnosti poređenja jednodobnih sastojina jedne te iste vrste drveća i iste starosti u pogledu veličina njihovih proizvodnih parametara starosti (Lockow, 2022). Osnovu za bonitiranje u jednodobnim sastojinama čini modeliranje njihovog visinskog razvoja tokom starosti. Takva krivulja koja izražava prirodno variranje visina sa starošću pokazuje jedan sigmoidan tok. Adekvatna simulacija visinskog razvoja postiže se primjenom troparametrijskog asimptotskog modela rasta. Kao najviše korišten matematički model spominje se *Chapman-Richardova* funkcija (Clutter et al., 1983; Gadow, 1992; Lee, 1993) koja ima sljedeći oblik:

$$H_0 = a(1 - e^{-bt})^c \quad (1)$$

u kojoj su:

H_0 – gornja, ili bilo koja druga srednja visina sastojine (m),

t – starost sastojine (godina),

a, b, c – parametri modela do čijih se veličina dolazi izravnjanjem empirijskih podataka i

e – baza prirodnog logaritma (Eulerov broj).

Ovu funkciju preporučuju mnogi autori kao najpovoljniju upravo u izravnjanju visina s obzirom na starost čistih jednodobnih šumskih sastojina (Clutter et al., 1983; Gadow, 1992; Jansen i Martin, 1996; Rojo i Montero, 1996, Lockow, 2022). Parametar a označava asimptotsku vrijednost visine stabala (teoretski maksimalna visina stabala) i ima istu jedinicu mjere kao i zavisno promjenjiva veličina H_0 . Parametar b skalira apscisu (osu na koju je nanoseno vrijeme), dok parametri a i b zajedno određuju oblik – formu krive rasta, tj. njenu orijentaciju u odnosu na osu x (Gadow, 2000).

SI, kao apsolutna mjera visinskog boniteta, može se izračunati ako se u prethodnoj formuli umjesto t uvrsti neka referentna starost (najčešće 50 ili 100 godina).

Za apsolutni visinski bonitet pri starosti od 50 godina (SI_{50}), model bi imao sljedeći oblik:

$$SI_{50} = a(1 - e^{-b \cdot 50})^c \quad (2)$$

Da bi se proveo postupak za izračunavanje SI , potrebno je prvo za svaku jedinicu uzorka (privremenu primjenu površinu) izračunati veličine za srednje i gornje visine sastojina za različite starosti. Za potrebe izračunavanja ovih veličina iz uzorka su izbačena sva ona stabla koja ne mogu objektivno predstavljati visinske predstavnike sastojina.

3.1. Kreiranje modela za procjenu indeksa staništa (SI)

Kako su za svaku oglednu parcelu utvrđene veličine gornjih visina, a na bazi utvrđene bonitetne dispozicije i veličina relativnog boniteta (RB), moglo se pristupiti daljim analizama.

Na osnovu korelacione veze između gornje visine (H_o) i starosti (t) koja se može iskazati kao $H_o = f(t)$, analogno se može pretpostaviti i zavisnost veličina SI i starosti u 50. godini u obliku $SI = f(t=50)$. Za prosječni relativni bonitet ove relacije se mogu kvantificirati uvrštavanjem izračunatih parametara u funkciju koja je korištena kao matematički model za izravnjanje gornjih visina u zavisnosti od starosti sastojine, pri čemu je dobijen izraz sljedećeg oblika:

$$H_o = 26,7301(1 - e^{-0,0334232t})^{1,45621}; R^2 = 0,849; R = 0,92; S_{ey} = 1,645 \text{ m} \quad (3)$$

Ova funkcija je posebno pogodna za utvrđivanje bonitetnog indeksa (*Site index* – SI) koji predstavlja apsolutnu veličinu srednje visine dominantnih i kodominantnih stabala koju postiže neka sastojina u odgovarajućoj starosti (25, 50. ili 100. godini).

U praksi se prilikom utvrđivanja pripadnosti sastojine određenom bonitetnom razredu kao ulazne veličine koriste visina sastojine i njena starost. Da bi se na osnovu poznavanja visine i starosti mogao utvrditi apsolutni visinski bonitet, izvedena je sljedeća formula za izračunavanje SI_{50} koja se dobije rješavanjem parametra a u jednačini (1) i njegovom supstitucijom u jednačini (2):

$$SI_{50} = H_o \cdot \left[\frac{1 - e^{-b \cdot 50}}{1 - e^{-b \cdot t}} \right]^c \quad (4)$$

U obrnutom slučaju, kroz jednostavno preformulisanje jednačine (4) moguće je za unaprijed datu vrijednost apsolutnog boniteta procijeniti razvoj gornje, ili bilo koje druge srednje visine tokom starosti sastojine, a samim tim i utvrditi bonitetnu dispoziciju (Gadow, 2000). Takva relacija između gornje visine (H_o) i SI_{50} u konačnom je obliku data sljedećim izrazom:

$$H_0 = \frac{SI_{50}}{\left[\frac{1 - e^{-b \cdot 50}}{1 - e^{-b \cdot t}} \right]^c} \quad (5)$$

Uvrštavanjem utvrđenih vrijednosti za parametre b i c i vrijednosti varijable starosti sastojina u domenu variranja ($t[0 - 50]$) izvedene su konačne formule koje predstavljaju modele za procjenu *Site indexa* (SI_{50}) za neku starost sastojine ako je za tu istu starost poznata veličina gornje visine (H_0) u metrima koji u konačnom obliku glasi:

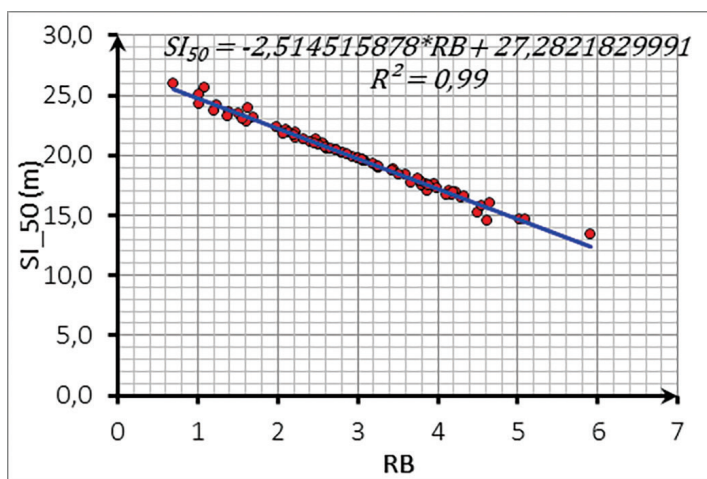
$$SI = H_0 \cdot \left[\frac{1 - e^{-0.0334308 \cdot 50}}{1 - e^{-0.03343082 \cdot t}} \right]^{1.4562002} \quad (6)$$

kao i model za procjenu razvoja gornje visine (H_0) pri zadatim veličinama za SI_{50} za različite starosti sastojine koji u konačnom obliku glasi:

$$H_0 = \frac{SI}{\left[\frac{1 - e^{-0.03343082 \cdot 50}}{1 - e^{-0.03343082 \cdot t}} \right]^{1.4562002}} \quad (7)$$

3.2. Analiza korelacione veze između relativnog boniteta i indeksa staništa

Da bi se uopšte moglo pristupiti korištenju utvrđenih modela, neophodno je ustanoviti vezu između relativne bonitetne klase (RB) i *Site Indexa* (SI_{50}). Na bazi ranijih istraživanja (Balić, 2003b) za svaku od oglednih parcela utvrđena je veličina relativne bonitetne klase (RB), a na bazi utvrđene veličine gornje visine (H_0) za datu plohu i poznate starosti primjenom modela (6) izvršen je obračun SI_{50} . Tako utvrđene veličine (parovi podataka RB i SI_{50}) za svaku od 77 ploha unesene su na grafikon i dobijeni oblak rasturanja podataka je izravnat linearnom vezom ($SI_{50} = f(RB)$). Grafički prikaz utvrđene linearne korelacione veze s veličinama parametara koji ukazuju na kvalitet izravnjanja i jačinu veze predstavljen je na sljedećem grafikonu.



Grafikon 1. Linearna korelaciona zavisnost između *Site Indexa* u 50. godini (SI_{50}) i relativne bonitetne klase (RB) jednodobnih sastojina bijelog bora

Graph 1. Linear correlation dependence between the Site Index in the 50th year (SI_{50}) and the relative bonity class (RB) of even-aged white pine stands

S grafikona je uočljiva obrnuta proporcionalnost, odnosno prisustvo negativne korelacione veze, što je i razumljivo ako se imaju u vidu skale kojim su predstavljene korelirane veličine. Naime brojem “1” za osu x koja predstavlja relativni bonitet dat je iskaz za najbolja staništa, dok je broj “5” iskaz za najlošija staništa. S druge strane, veća vrijednost za SI_{50} podrazumijeva i bolju produktivnost staništa.

Veza između relativnog boniteta (RB) i *Site Indexa* u 50 godini (SI_{50}) izrazito je jaka, skoro funkcionalna, a veličina koeficijenta determinacije govori nam da se promjena SI_{50} u 99% objašnjava variranjem relativnog boniteta (RB).

Analitički izraz korelacione veze između *Site Indexa* u 50. godini (SI_{50}) i relativnog boniteta (RB) može se iskazati sljedećim linearnim modelom:

$$SI_{50} = -2,514515878 \cdot RB + 27,2822 \quad (8)$$

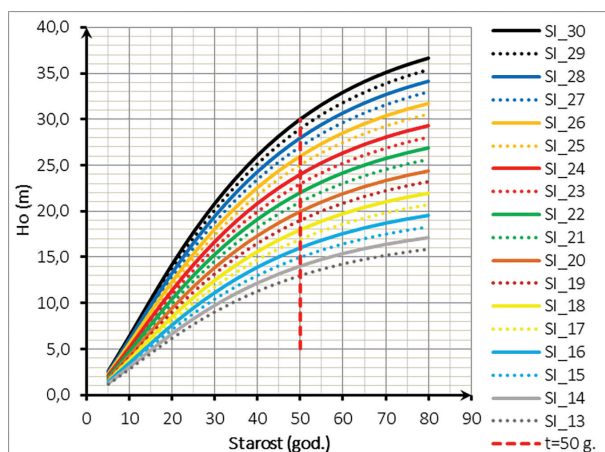
Na osnovu ove formule izračunate su vrijednosti za SI_{50} u domenu variranja relativnog boniteta od 0,5 do 5,5 i to za svaki deseti dio relativnog boniteta. Ove relacije između relativnog boniteta i veličine SI_{50} predstavljene su u tabeli 2.

Tabela 2. Veza između relativnih (RB) i apsolutnih (SI_{50}) bonitetnih klasa
 Table 2. Relationship between relative (RB) and absolute (SI_{50}) bonity classes

RB	SI_{50} (m)	RB	SI_{50} (m)
0,5	26,0	3	19,7
0,6	25,8	3,1	19,5
0,7	25,5	3,2	19,2
0,8	25,3	3,3	19,0
0,9	25,0	3,4	18,7
1	24,8	3,5	18,5
1,1	24,5	3,6	18,2
1,2	24,3	3,7	18,0
1,3	24,0	3,8	17,7
1,4	23,8	3,9	17,5
1,5	23,5	4	17,2
1,6	23,3	4,1	17,0
1,7	23,0	4,2	16,7
1,8	22,8	4,3	16,5
1,9	22,5	4,4	16,2
2	22,3	4,5	16,0
2,1	22,0	4,6	15,7
2,2	21,8	4,7	15,5
2,3	21,5	4,8	15,2
2,4	21,2	4,9	15,0
2,5	21,0	5	14,7
2,6	20,7	5,1	14,5
2,7	20,5	5,2	14,2
2,8	20,2	5,3	14,0
2,9	20,0	5,4	13,7
3	19,7	5,5	13,5

3.3.1. Analiza zavisnosti gornje sastojinske visine od starosti sastojina i indeksa staništa (SI_{50})

Primjenom modela (7) izračunate su veličine gornjih visina u zavisnosti od starosti sastojine za različite vrijednosti SI_{50} . Razvoj gornje visine u zavisnosti od starosti i indeksa staništa koji je predstavljen veličinom gornje visine u 50. godini starosti, kao referentnoj, predstavljen je na sljedećem grafikonu.

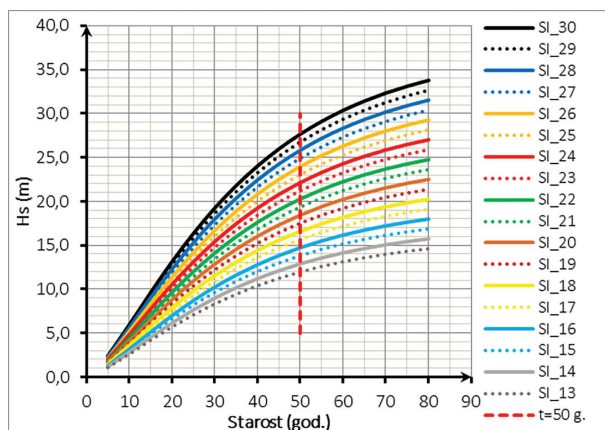


Grafikon 2. Razvoj gornje visine u zavisnosti od SI i starosti sastojine
Graph 2. Development of the upper height depending on the SI and the age of the stand

S grafikona se uočava sigmoidan tok krivulja razvoja gornjih visina sastojine u zavisnosti od starosti sastojine. Povećanjem starosti raste i gornja visina, što je i logično. Kod mlađih sastojina apsolutna razlika u gornjim visinama je manja, dok je kod starijih sastojina ta razlika veća.

3.3.2. Analiza zavisnosti srednje sastojinske visine od starosti sastojina i indeksa staništa (SI_{50})

Na analogan način utvrđen je i razvoj srednje sastojinske visine (H_s) tokom starosti sastojine pri različitim veličinama SI_{50} , što je predstavljeno na sljedećem grafikonu:



Grafikon 3. Razvoj srednje visine u zavisnosti od SI_{50} i starosti sastojine
Graph 3. Development of the mean height depending on the SI and the age of the stand

S grafikona se uočava da je s povećanjem starosti i SI apsolutna razlika između srednjih visina veća i izrazitija. Ova je zakonitost sasvim logična, jer sastojine boljih stanišnih uslova omogućuju intenzivniji rast stabala, čime ona postižu, između ostalog, i veće visine, a sa starošću se ta razlika više uočava.

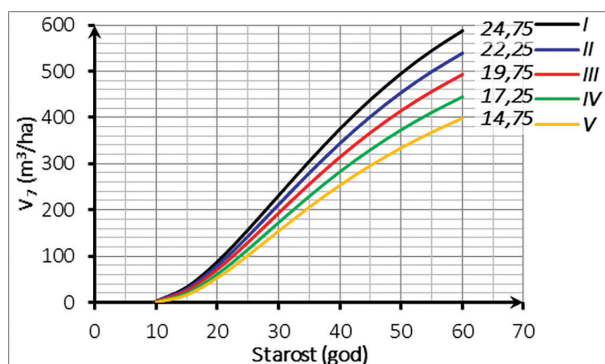
3.3.3. Prikaz proizvodne diferencijacije staništa jednodobnih sastojina bijelog bora na bazi indeksa staništa (SI_{50})

Da bi se mogla izvršiti predstava proizvodne diferencijacije staništa preko indeksa staništa (SI_{50}), što zapravo predstavlja i cilj ovog istraživanja, potrebno je utvrditi veličine osnovnih taksacionih elemenata sastojina u zavisnosti od starosti, i to za bonitetne razrede iskazane indeksima od I do V (I, II, III, IV i V) za koje je veza sa SI_{50} iskazana na 0,25. dijelu metra. U nastavku su dati grafički prikazi zavisnosti analiziranih taksacionih elemenata od starosti sastojine i indeksa staništa, i to u domenu variranja SI_{50} od 14 do 26 m. Također je moguće u sažetoj formi za svaku numeričku vrijednost SI_{50} dati tabelarni prikaz osnovnih taksacionih elemenata jednodobnih sastojina po stepenima starosti, što zapravo predstavlja tablice taksacionih elemenata jednodobnih sastojina na karbonatnim supstratima u BiH. Ipak, zbog obimnosti takva predstava će biti prikazana samo u grafičkoj formi, i to za najvažnije taksacione elemente sastojina kao što su: zapremina, tekući i prosječni zapreminski prirast iskazani u krupnoj drvnjoj masi.

3.3.4. Analiza zavisnosti zapremine krupnog drveta sastojine od starosti sastojina i indeksa staništa (SI_{50})

Zavisnost veličine zapremine krupnog drveta od boniteta staništa iskazanog pomoću relativnih i apsolutnih mjera i starosti jednodobnih nenjegovanih sastojina bijelog bora predstavljena je na grafikonu 4.

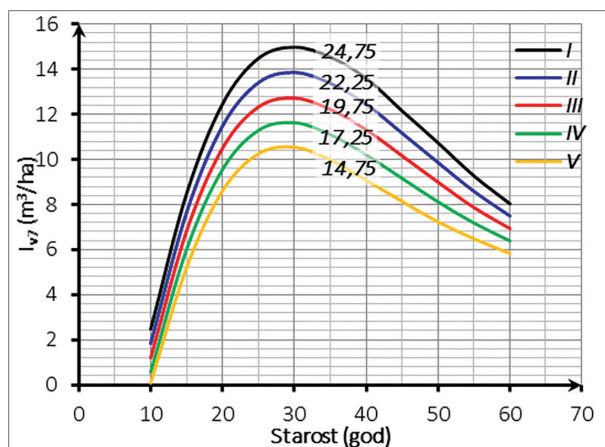
S grafikona se može konstatovati sigmoidan oblik krivulja, pri čemu sastojine na boljim bonitetima postižu veću zapreminu krupnog drveta u odnosu na sastojine lošijih boniteta. Ova razlika u zapremini krupnog drveta između sastojina različitih boniteta sa starošću se povećava. To je sasvim logično jer sastojine koje se nalaze na boljim staništima omogućuju intenzivniji rast u debljinu i visinu, što u konačnici vodi većoj zapremini krupnog drveta (V_7).



Grafikon 4. Zavisnost zapremine krupne drvene mase od starosti i boniteta staništa jednodobnih sastojina bijelog bora
Graph 4. Dependence of the volume of large wood on the age and bonity of the habitat of even-aged white pine stands

3.3.5. Analiza zavisnosti tekućeg zapreminskog prirasta krupnog drveta sastojine od starosti sastojina i indeksa staništa (SI_{50})

Model razvoja veličine tekućeg zapreminskog prirasta u zavisnosti od starosti i boniteta staništa iskazanog pomoću relativnih i apsolutnih mjera predstavljen je na sljedećem grafikonu:

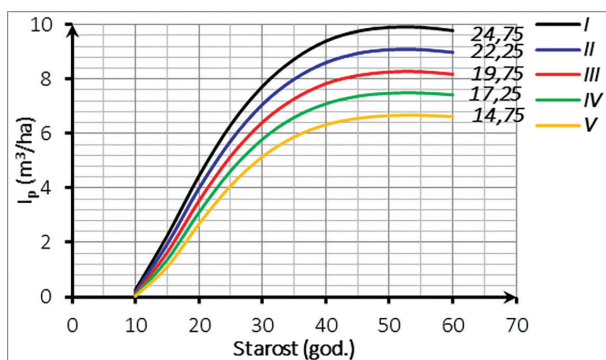


Grafikon 5. Zavisnost tekućeg zapreminskog prirasta krupnog drveta od starosti i boniteta staništa jednodobnih sastojina bijelog bora
Graph 5. Dependence of the current volumetric increment of large wood on the age and bonity of the habitat of even-aged white pine stands

S grafikona se jasno uočava da veličina tekućeg zapreminskog prirasta sastojine raste do određene starosti, kad nastupa njegova kulminacija (oko 30. godine), nakon koje sa starošću njegova veličina postepeno opada. Također se može konstatirati da sastojine boljih boniteta imaju veći I_{v7} nego sastojine lošijih boniteta. Ova razlika u I_{v7} između sastojina različitih boniteta sa starošću se smanjuje, jer je opšte poznato da sa starošću dolazi do smanjenja prirasta.

3.3.6. Analiza zavisnosti prosječnog dobnog zapreminskog prirasta krupnog drveta sastojine od starosti sastojina i indeksa staništa (SI_{50})

Na kraju je prikazana i zavisnost između prosječnog dobnog zapreminskog prirasta i starosti sastojine za različite bonitetne razrede staništa. Grafička predstava ove zavisnosti data je na sljedećem grafikonu. Na sličan način mogu se izvesti konstatacije u vezi s oblikom i tokom krivulja, kao i za tekući zapreminski prirast, s tom razlikom što se vrijeme kulminacija prosječnog zapreminskog prirasta dešava nešto kasnije, oko 55. godine, nakon čega veličina prirasta postepeno opada.



Grafikon 6. Zavisnost prosječnog dobnog zapreminskog prirasta krupnog drveta od starosti i boniteta staništa jednodobnih sastojina bijelog bora

Graph 6. Dependence of the average age volume increment of large wood on the age and bonity of the habitat of even-age white pine stands

Na boljim bonitetima sastojine postižu veće vrijednosti prosječnog dobnog zapreminskog prirasta (I_p) nego na lošim bonitetima. Ova razlika u I_p između sastojina različitih boniteta sa starošću se postepeno povećava, i to do momenta kulminacije, nakon čega te razlike sa starošću postaju sve manje.

3.4. Poređenje rezultata s drugim istraživanjima

Radi sticanja uvida u odnose između izravnatih (najvjerovatnijih) veličina istraživanih taksacionih elemenata sastojina i veličina (podataka) koje daju strane prinosne tablice, izvršeno je poređenje na bazi indeksiranih veličina. Indeksi su izračunati tako što je veličina taksacionog elementa iz stranih tablica podijeljena s odgovarajućim podatkom istraživanih sastojina bijelog bora u Bosni (za odgovarajuću starost i bonitet) i taj količnik pomnožen sa 100. Time je postignuto da indeksi imaju (za sve komparirane podatke iz tablica) iste baze. Na taj način se može donijeti približna ocjena o produktivnosti istraživanih sastojina, kao i ocjena opravdanosti njihovog postojanja i budućeg osnivanja. Za poređenje su uzeti podaci koji se odnose na najbolja, osrednja i najlošija staništa bijelog bora iz prinosnih tablica: Wiedemann: I, III i V klasa prinosa; Gehrhardt: I, III i V klasa prinosa i Lembcke et al.: MEN 28, MEN 20 i MEN 12 (srednji nivo prinosa, potpuni obrast, a indeksi 28, 20 i 12 se odnose na veličine gornjih visina u 100. godini).

Za potrebe ovih analiza izdvojene su i tabelarno predstavljene indeksirane veličine samo za zapreminu i prosječni dobni zapreminski prirast sastojina po pojedinim stepenima starosti kao najvažnije taksacione elemente sastojina.

Tabela 3. Poređenje zapremine sastojine po hektaru
Table 3. Comparison of the volume of the stand per hectare

Starost (godina) Age (year)	Indeksi zapremine – Indexes of volume								
	Wiedemann			Gehrhardt			Lembcke et al.		
	I	III	V	I	III	V	MEN28	MEN20	MEN12
25	62	22					115		
30	68	34		72	45	–	104	61	
35	71	40	6				99	62	
40	73	43	11	65	46	17	97	62	
45	75	46	15				96	64	
50	77	49	18	61	45	21	97	66	26
55	79	51	21				98	68	29
60	81	53	24	60	46	24	100	70	31

Tabela 4. Poređenje prosječnog dobnog zapreminskog prirasta sastojine po hektaru
 Table 4. Comparison of the average age volume increment of the stand per hectare

Starost (godina) Age (year)	Indeksi prosječnog dobnog zapreminskog prirasta – Indexes of the average age volume increment								
	Wiedemann			Gehrhardt			Lembcke et al.		
	I	III	V	I	III	V	MEN28	MEN20	MEN12
25	63	23					115		
30	68	34		91	51		104	61	
35	72	40	5				99	62	
40	73	43	11	90	56	19	96	62	
45	76	47	15				96	64	
50	76	48	18	91	59	24	97	65	25
55	78	51	21				99	68	28
60	81	54	23	95	62	29	100	69	32

Najveće razlike između poređenih taksacionih elemenata ispoljile su se upravo u zapreminama sastojina, i to na najlošijim stanišnim uslovima, a naročito u mlađim dobima sastojina.

Prosječni dobní zapreminski prirast krupnog drveta jednodobnih sastojina bijelog bora u Bosni je u svim kompariranim slučajevima znatno veći u odnosu na tablične podatke. Te razlike se smanjuju sa starošću i s poboljšanjem stanišnih uslova.

Imajući u vidu veličine izravnatih taksacionih elemenata sastojina bijelog bora u Bosni do kojih se došlo, može se konstatirati da se postojeći zasadi odlikuju vrlo visokom produktivnošću te da je njihovo prisustvo sasvim opravdano. Visoka produktivnost je najvjerovatnije posljedica povoljnih uslova staništa na kojima su podignuti ovi zasadi.

4. Zaključci

Jedan od glavnih ciljeva ovog istraživanja bio je da se konsultujući veći broj naučnih izvora i metoda ukaže na problem bonitiranja kod jednodobnih sastojina bijelog bora u BiH i da se pronađe pouzdan postupak – numerički model za procjenu stanišnog indexa – *Site index* kao pouzdanije mjere za iskazivanje apsolutne veličine boniteta staništa. Naime, za obračun drvne zalihe koristi se metod uređajnih tarifa koje su konstruisane za visoke prirodne šume bijelog bora. Da bi se primijenile ove tablice, jedna od ulaznih veličina je bonitetni razred staništa koji se procjenjuje na bazi visinske krivulje sastojina.

Poznato je da se krivulje visina u jednodobnim sastojinama sa starošću pomjeraju “prema gore” i “udesno” te predstavljaju “krivulje stanja”. Upravo iz tih razloga se dolazi do pogrešne ocjene boniteta staništa, što direktno utiče na pogrešno utvrđivanje veličine drvene mase. U tome se ogleda značaj ovog istraživanja, jer je utvrđeni *Site index* apsolutna mjera bonitiranja i pomoću njega je procjena boniteta znatno objektivnija. Kao neka referentna starost za koju se utvrđuje srednja sastojinska visina u ovim istraživanjima je uzeta starost od 50 godina. Za utvrđivanje apsolutnog visinskog boniteta pri starosti od 50 godina (SI_{50}) ako je za datu jednodobnu sastojinu poznata veličina gornje visine u metrima pri starosti u 50. godini, utvrđen je sljedeći model:

$$SI_{50} = H_0 \cdot \left[\frac{1 - e^{-0,0334308 \cdot 50}}{1 - e^{-0,0334308 \cdot t}} \right]^{1,4562002}$$

Za procjenu razvoja gornje visine H_0 pri zadatim veličinama za SI_{50} za različite starosti sastojine razvijen je model sljedećeg oblika:

$$H_0 = \frac{SI_{50}}{\left[\frac{1 - e^{-0,0334308 \cdot 50}}{1 - e^{-0,0334308 \cdot t}} \right]^{1,4562002}}$$

U radu je utvrđena izrazito jaka korelaciona veza između relativnog boniteta (RB) i *Site Indexa* u 50 godini (SI_{50}) koja je iskazana sljedećim modelom na osnovu kojeg se može pouzdano utvrditi veličina SI_{50} ako je poznata veličina relativnog boniteta: $SI_{50} = -2,514515878 \cdot RB + 27,2822$. Primjenom ove formule izračunate su vrijednosti za SI_{50} u domenu variranja relativnog boniteta od 0,5 do 5,5 i to za svaki deseti dio relativnog boniteta.

Na osnovu navedenih modela i veza između gornje sastojinske visine (H_0) i *Site indexa* u 50. godini (SI_{50}) utvrđena je diferencijacija sastojina u pogledu veličina najvažnijih proizvodnih pokazatelja sa širinom pojasa variranja za H_0 od 1 m. Rezultati ove diferencijacije su predstavljeni u grafičkoj i tabelarnoj formi.

Poređenjem utvrđenih rezultata istraživanja s odgovarajućim rezultatima istraživanja drugih autora koji su se bavili sličnim problemom može se zaključiti da su jednodobne sastojine bijelog bora u BiH srednje produktivne. Poređenja su se vršila sa sastojinama u kojima su se pravovremeno provodile mjere njege i prorede, za razliku od naših jednodobnih sastojina u kojima su ove mjere izostale i predstavljaju nenjegovane jednodobne sastojine.

Poređenjem utvrđenih rezultata istraživanja s podacima odgovarajućih stranih prinosnih tablica, kao i s rezultatima istraživanja drugih autora koji su se bavili istim ili sličnim problemom, može se zaključiti da su jednodobne sastoje bjelog bora u Bosni visoko produktivne; njihovo postojanje je sasvim opravdano i ubuduće im treba posvetiti puno više pažnje. Visoka produktivnost ovih sastojina najvjerojatnije je uslovljena stanišnim uslovima koji odgovaraju bijelom boru kao i izostankom proreda koje je trebalo u prošlosti provoditi. Ipak, za donošenje preciznijih zaključaka o veličini produkcije ovih sastojina potrebno je istražiti i kvalitetnu strukturu prinosa, što nije bio zadatak ovih istraživanja. Bijeli bor se pokazao kao izvanredna vrsta za pošumljavanje ogoljelih šumskih površina te za rekonstrukciju degradiranih šuma.

Literatura

- Balić, B. (2003a): Model rasta i prirasta jednodobnih nenjegovanih šumskih zasada bjelog bora (*Pinus sylvestris* L.) na karbonatnim supstratima u Bosni, magistarski rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
- Balić, B. (2003b): Bonitiranje jednodobnih zasada bjelog bora (*Pinus sylvestris* L.) na karbonatnim supstratima u Bosni, u: Zbornik radova Šumarstvo i hortikultura. Prvi Simpozij poljoprivrede, veterinarstva i šumarstva, Neum, 14. – 17. maj 2003. godine, Šumarski fakultet, Sarajevo.
- Balić, B., Višnjić, Č., Ibrahimspahić, A., Hadžiabdić, V. (2019): Regression model for assessment of large timber volume of even-aged not-tended forest plantations of Scots pine on carbonate substrates in B&H, Works of the Faculty of Forestry University of Sarajevo, 49 (1/1), 20-33.
- Balić, B. (2020): Regresioni model za procjenu zapremine krupnog drveta jednodobnih nenjegovanih šumskih zasada bjelog bora na karbonatnim supstratima u BiH, Naše šume, XVII (56–57), UŠIT FBiH, 22-32.
- Banković, S., Pantić, D. (2006): Dendrometrija. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Clutter, J. L., Forstn, J. C., Pineaar, L. V., Brister, G. H., Bailey, R. L. (1983): Timber management: A quantitative approach. John Wiley, New York.
- Drinić, P., Matić, V., Pavlić, J., Prolić, N., Stojanović, O., Vukmirović, V., Koprivica, M. (1990): Tablice taksacionih elemenata visokih i izdanačkih šuma u Bosni i Hercegovini, Šumarski fakultet, Sarajevo.
- Fetić, S. (2014): Model utvrđivanja indeksa staništa (Site index) i osnovnih sastojinskih veličina za jednodobne nenjegovane zasade crnog bora na karbonatnim supstratima u BiH, završni rad II ciklusa studija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
- Gadow, K. v. (1992): Ein Wachstums- und Ertragsmodell für die Fortschreibung von Bestandesparametern, u: Preuhsler, T., Röhre, H., Utschig, H., Bachmann, M. (ur.): Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Franz; Lehrstuhl f. Waldwachstumskunde, Universität München, 75-83.
- Gadow, K. v. (2000): Waldwachstum. Beilage zur Vorlesung für das Sommersemester 2000, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Göttingen.

- Gehrhardt, E. (1921): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Jansen, M., Martin, G. (1996): Anwendung des Bestandessimulationsmodells TREEDYN3 auf die Fichten-Versuchfläche Solling Fl. Berichte d. Forschungszentrums Waldökosysteme d. Universität Göttingen, Reihe B, 45, 1-79.
- Kramer, H. (1964): Bonitierungsmaßstäbe in der Forstwirtschaft FHW, 8-12.
- Kramer, H. (1961): Die Verwendung der Oberhöhe in der Forsteinrichtung, Allg. Forst- u. Jagdztg., 132 (5), 122-129.
- Kramer, H. (1959): Die Oberhöhe als Bestandesmerkmal, Allg. Forst- u. Jagdztg., 130 (10), 241-255.
- Kramer, H. (1988): Waldwachstumslehre, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- Lee, W. K. (1993): Wachstums- und Ertragsmodelle für *Pinus densiflora* in der Kangwon-Provinz, Korea, Dissertation, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Göttingen.
- Lembcke, G., Knapp, E., Dittmar, O. (2000): Ertragstafel für die Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in nordostdeutschen Tiefland, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Landesforstanstalt Eberswalde.
- Lockow, K.-W. (2022): Waldbestandsmessung – Stichprobenverfahren – Wachstumsmodellierung, Springer-Verlag GmbH, DE. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63061-7>.
- Lockow, K.-W. (2004): Die erste Ertragstafel für Bergahorn im nordostdeutschen Tiefland, Beitr. Forstwirtschaft und Landschaftsökol, 38 (3), 121-130.
- Pavlič, J. (1999): Metodika premjera i registrovanja podataka u jednodobnim šumskim zasadima smrče (*Picea abies* Karst.), bijelog bora (*Pinus sylvestris* L.) i crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) u Bosni i Hercegovini, Radovi Šumarskog fakulteta u Sarajevu, XXIX (1), Sarajevo, 31-60.
- Pranjić, A., Lukić, N. (1995): Izmjera šuma, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Rojo, A., Montero, G. (1996): El pino Silvestre en la Sierra de Guadarrama, Ministerio de Agriculture, Pesca y Alimentacion, Madrid.
- Skovsgaard, J. P., Vancley, J. K. (2008): Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands, Forestry, 81 (1), 13-31.
- Wiedemann, E. (1943): Ertragstafel für die Baumart Kiefer (mäßige und starke Durchforstung), u: Schober, R. (ur.) (1995): Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung, 4. Aufl., J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 98-105.

MODEL FOR ASSESSING THE HABITAT INDEX (SITE INDEX) FOR EVEN-AGE UNTENDED STANDS OF WHITE PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ON CARBONATE SUBSTRATES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Summary: The paper presents the procedure for choosing the most suitable numerical model for determining the habitat index (*Site index* – *SI*) as an absolute measure of the production potential (quality) of habitats of even-age untended white pine stands on carbonate substrates in Bosnia and Herzegovina.

Based on previous research (Balić, 2003b; 2020; Balić et al., 2019), the production differentiation of habitats into five height production classes was carried out, and the most important sizes of the basic taxation elements of these stands were determined, depending on the age and bonity classes of the habitat, as a relative measures of productivity of habitats of stands. Nevertheless, for the evaluation of the productive capacity of the habitat of an even-age stand of some trees and their comparison in terms of productivity, the so-called habitat index or Site index as an absolute measure of bonity classes.

It represents the average height of an even-age stand at a specific (reference) age. For the purposes of this paper, the Site index was determined at the age of 50.

By applying the methods of correlation and regression analysis, a model for assessing the Site index (SI_{50}) was established, which reads:

On the basis of this relationship, values for SI_{50} were calculated in the domain of varying relative class of productivity from 0.5 to 5.5, for every tenth part of relative class of productivity. These relationships between relative class of bonity and SI_{50} size are tabulated.

In order to present the sizes of the basic taxation elements according to the established SI classes, was established a linear correlation between SI_{50} (at the age of 50 years) and the existing relative class of bonity (RB) of even-aged white pine stands in the following form: $SI_{50} = -2,514515878 \cdot RB + 27,2822$. This relationship was used to create a production differentiation of habitats of even-age white pine stands on carbonate substrata in Bosnia and Herzegovina, which enables the presentation of the sizes of the basic taxa elements of these stands depending on age and SI_{50} .

By comparing the determined research results with the corresponding results of other authors, it was concluded that even-aged white pine stands in BiH are highly productive.