

Pomen analize dominantnih dreves za gozdnogospodarsko načrtovanje na primeru kisloljubnega bukovja z rebrenjačo

Knowledge on dominant trees is important for forest planning: acidophylus beech forest type with deer fern as a case study

Andrej BONČINA¹

Izvleček:

Poznavanje razvoja dominantnega drevja je pomembno za spremljavo razvoja enomernih sestojev, določanje režima redčenja, ciljnih premerov drevesnih vrst in optimalnega razmerja razvojnih faz ter ocenjevanje produkcijske sposobnosti gozdnih rastišč. S podatki stalnih vzorčnih ploskev smo analizirali debelinsko in višinsko rast dominantnih dreves petih drevesnih vrst kisloljubnega bukovja z rebrenjačo (smreka, bukev, graden, rdeči bor in kostanj). Za vrste smo ocenili rastiščni produkcijski indeks (SPI), ki je dominantna višina drevja pri prsnem premeru 45 cm, rastiščni indeks (SI) in prikazali postopek določanja optimalnega razmerja razvojnih faz glede na drevesno sestavo sestojev ter odločitev o ciljnih premerih drevja in pomlajevanju sestojev. Vrednosti SPI za bukev, smreko, graden, rdeči bor in kostanj so 28,4; 31,1; 25,1; 26,1 in 23,2, vrednosti SI pa 27,9; 32,5; 20,9; 22,9 in 21,7. Optimalni deleži razvojnih faz so odvisni od izbrane drevesne sestave gozdov ter odločitev glede ciljnih premerov in pomlajevanja sestojev. Model debelinskega priraščanja bukve kaže, da na njeno debelinsko rast pozitivno vplivajo prsni premer, produktivnost rastišča in raznomernost sestojev, negativno pa delež bukve v sestoji, sestojna temeljnica in naklon terena.

Ključne besede: višinska in debelinska rast, rastiščni indeks, rastiščni produkcijski indeks, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Quercus petraea*, *Pinus sylvestris*, *Castanea sativa*

Abstract:

Knowledge on the development of dominant trees is important for forest management, especially for determining thinning regime, target tree dimensions and optimal proportions of developmental phases of forest stands. Based on data from permanent sampling plots of Slovenia Forest Service we analysed diameter of height growth of individual dominant trees of five different tree species in acidophilus beech forest type with deer fern (European beech, Norway spruce, sessile oak, Scot pine and sweet chestnut). Based on the models, the site productivity index (SPI), defined as the dominant tree height at a diameter of 45 cm, and site indices (SI) of five tree species were determined, and procedure for optimal model of developmental phases in regard to tree species composition, target tree dimension and regeneration period was developed. SPI of beech, spruce, sessile oak, Scot pine and sweet chestnut amounted to 28.4, 31.1, 25.1, 26.1 and 23.2, respectively, while site indices amounted to 27.9, 32.5, 20.9, 22.9 and 21.7. The optimal model of developmental phases depends significantly on tree species composition of forest stands and management decision on target tree dimension and regeneration regime. Individual diameter increment model of dominant beech trees showed that tree diameter, site productivity and stand heterogeneity positively influences diameter growth, while proportion of beech in a stand, stand basal area and inclination had a negative impact.

Key words: tree height growth, tree diameter growth, site index, site productivity index, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Quercus petraea*, *Pinus sylvestris*, *Castanea sativa*

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Pri upravljanju gozdov uporabljamo različne sestojne znake, s katerimi opisujemo in analiziramo stanje gozdnih sestojev, pojasnjujemo spremembe, napovedujemo njihov razvoj in načrtujemo ukrepe. Pogosto uporabljamo sestojne znake, kot so lesna zaloga, volumenski prirastek, drevesna sestava in debelinska struktura, nekatere druge pa precej manj. Med slednje lahko pri-

tejemo znake, ki opisujejo razvoj dominantnih dreves v sestoji, kot sta dominantni premer sestoja in zgornja sestojna višina. Pri načrtovanju razvoja gozdov je več razlogov za zapostavljenost dominantnega premera (Ddom). Ddom ni naveden v sestojnih tablicah, saj je v njih prikazan razvoj srednjega temeljnega premera. Zgornja sestojna višina (Hdom), torej višina dominantnih dreves, se pogosteje uporablja, predvsem za bonitiranje gozdnih rastišč (Sharma, 2019), kot vhodni para-

¹ Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija.

meter za uporabo sestojnih tablic (Čokl, 1980) ali pa kot eden izmed parametrov za modeliranje razvoja gozdnih sestojev (Rosset in sod., 2013).

Ddom je pogosto definiran kot srednji premer stotih najdebelejših dreves na hektar (Bräker in Zing, 2008). Razlogov, zakaj je poznavanje razvoja Ddom pri gospodarjenju z gozdovi pomembno, je več. V Sloveniji zagovarjamo izbiralno redčenje, ki temelji na izbranih drevesih, ki jih pospešujemo z nego. Izbranci so praviloma izbrani med dominantnim drevjem (Bončina in sod., 2007), zato z razvojem dominantnih dreves posredno opisujemo tudi razvoj izbrancev, za katere nimamo eksplicitnih podatkov. V Sloveniji izvajamo pretežno skupinsko postopno gospodarjenje, zato enomerni sestoji, praviloma na majhnih površinah, prevladujejo. Ddom je glavno merilo za njihovo razvrščanje v razvojne faze. Ddom je primeren za opisovanje razvoja enomernih gozdov, precej manj pa za opisovanje sprememb raznomernih gozdov. Ddom lahko uporabimo za opredelitev ciljnega stanja gozdnih sestojev, saj za drevesne vrste navedemo ciljne dimenzije drevja, ki so pravzaprav premeri dominantnega drevja drevesnih vrst. Zanimanje za Ddom se v zadnjih letih povečuje predvsem zaradi razvoja modeliranja razvoja gozdnih sestojev (npr. Rosset in sod., 2013; Ficko, 2020; Klopčič, 2021a).

Možnosti za podrobnejše analiziranje sestojev, spremljanje in napovedovanje njihovega razvoja se izboljšujejo zaradi vse večjih zmogljivosti računalnikov in velike količine digitalnih podatkov o gozdnih sestojih in dejavniki, ki vplivajo na njihov razvoj. Zavod za gozdove Slovenije pridobiva podatke o drevju in gozdnih sestojih na mreži vzorčnih ploskev; podatki so podlaga za pojasnjevanje stanja in sprememb gozdnih sestojev ter napovedovanje njihovega razvoja glede na načrtovane ukrepe. Podatke s stalnih vzorčnih ploskev (SVP) lahko uporabimo za modeliranje razvoja dominantnih dreves (Bončina in sod., 2021b).

Sestojni znaki, ki so povezani z dominantnim drevjem, so v gozdnogospodarskem načrtovanju nekoliko zapostavljeni, zato je namen prispevka pojasniti pomen poznavanja razvoja dominantnih dreves za gozdnogospodarsko načrtovanje. Podrobnejši cilji raziskave so: 1) pojasniti postopek

izračuna Ddom s podatki s SVP, 2) modelirati višine dominantnih dreves (Hdom) glede na njihov premer in starost, 3) pojasniti postopek določanja ciljnih premerov drevesnih vrst in 4) prehodnih dob ter optimalnega razmerja razvojnih faz glede na debelinsko rast dominantnih dreves, drevesno sestavo in upravljalvske odločitve in 5) modelirati debelinsko priraščanje dominantnih dreves posamezne drevesne vrste glede na drevesne, sestojne in rastiščne znake. Izsledki so prikazani na primeru kisloljubnih bukovih gozdov z rebrenjačo. Postopki so uporabni za druge gozdne tipe in območja gozdov, za katere so na voljo podatki zaporednih snemanj drevja na zadostnem številu stalnih vzorčnih ploskev.

2 METODE IN OBJEKTI RAZISKAVE 2 METHODS AND STUDY AREA

Uporabili smo podatke s stalnih vzorčnih ploskev (SVP) Zavoda za gozdove Slovenije, in sicer podatke za vse ploskve z dvema zaporednima meritvama dreves. Pripravili smo dve podatkovni zbirki na ravni celotne Slovenije: DdomDrevo in DdomPloskev. Prva je obsežnejša, saj obsega podatke o vsem dominantnem drevju v gozdovih Slovenije. Podatke o posameznem drevesu (drevesna vrsta, prsni premer, periodični prirastek drevesa, za del dominantnih dreves tudi višina dreves) smo povezali z rastiščnimi (topografskimi, podnebnimi, talnimi) in sestojnimi spremenljivkami (npr. temeljnica, drevesna sestava). V datoteki DdomPloskev je zapis podatkov na ravni SVP, za vsako ploskev so izračunani sestojni znaki (npr. temeljnica, srednji temeljnični premer, dominantni premer drevja) in opisane rastiščne razmere.

Raziskavo smo omejili na gozdni rastiščni tip kisloljubni bukovi gozdovi z rebrenjačo (GRT 751), ki so najbolj acidofilni bukovi gozdovi v Sloveniji. Najdemo jih v več gozdnogospodarskih območjih; relativno največ v ljubljanskem, kranjskem in celjskem območju, manj pa v novomeškem in slovenjgraškem območju. Zaradi bližine naselij, dostopnosti in gladkosti površja so bili gozdovi znatno spremenjeni. Podrobnosti o njihovih ekoloških, vegetacijskih in sestojnih značilnostih so opisane v monografiji o gozdnih rastiščnih tipih

(Bončina in sod. 2021a), zato navajamo le osnovne značilnosti (Preglednica 1). Pri analizi priraščanja drevesnih vrst smo se omejili na glavne drevesne

vrste te združbe, ki so bukev, smreka, graden, rdeči bor in kostanj. Skupaj smo analizirali 19.927 dreves na 9.138 ploskvah (Priloga 1).

Preglednica 1: Osnovni podatki o kisloljubnih bukovih gozdovih z rebrenjačo (povzeto po Bončina in sod., 2021a)
Table 1: Basic data on forest type included in the analysis (after Bončina in sod., 2021a)

Površina (ha)	83.384
Podlaga	glinavec, peščenjak, kremenov keratofir
Tla	distrična rjava tla
Nadmorska višina (m)	300–1200
Vegetacijski pas	(gričevnati), podgorski in spodnji gorski
Poprečna temperatura (°C)	8–10(12)
Letne padavine (mm)	1.000–1.700 (2.000)
Lesna zaloga (m³ ha⁻¹)	323
Drevesna sestava (% lesne zaloge)	smreka (36,5), bukev (30,8), graden (10,1), rdeči bor (6,3), kostanj (4,8), druge vrste (11,5)

2.1 Obdelava podatkov

2.1 Data processing

Iz zaporednih meritev dominantnega drevja smo najprej izračunali njihove periodične debelinske prirastke, potem pa njihove povprečne vrednosti po drevesnih vrstah in debelinskih stopnjah. Izračunane vrednosti so osnova za določitev prehodnih dob in starosti drevja posameznih drevesnih vrst glede na njihovo debelino. Ugotovljena debelinska rast dominantnega drevja odraža povprečne sestojne in rastiščne razmere v obravnavanem območju. Za določitev starosti drevja moramo oceniti obdobje njihove rasti do meritvenega praga ($D_{dom} = 10$ cm). To obdobje smo ocenili z aproksimacijo glede na rast drevja na intervalu $D_{dom} = 10$ do 20 cm, obdobje od vznika do višine drevja $h = 1,3$ m pa znaša 30 % obdobja rasti D_{dom} od 0 do 10 cm (Bončina in sod., 2021b). Prehodne dobe za posamezne debelinske stopnje smo izračunali kot kvocient med širino debelinske stopnje (50 mm) in debelinskim prirastkom dreves te stopnje, izračunanim iz desetletnega periodičnega prirastka.

Postopek modeliranja višinske rasti dominantnih dreves glede na njihov premer (H_{dom}/D_{dom} model) je bil že opisan (Bončina in sod., 2021b), zato povzemamo: uporabili smo programsko okolje R (Version 1.3.1073), paket "robustbase"

(Maechler in sod., 2021). V raziskavo višinskega priraščanja dominantnih dreves smo vključili samo drevesa z izmerjeno višino (Priloga 1). Uporabili smo Chapman-Richardsovo funkcijo, ki se pogosto uporablja za modeliranje rasti drevja (npr. Peng, 2001). Ko je $D_{dom} = 0$, je višina dreves 1,3 m, zato smo uporabili obliko:

$$Y = 1,3 + A(1 - e^{-kD})^p, \text{ enačba (1)}$$

kjer so: Y dominantna višina, A, k, p parametri enačbe, D pa dominantni premer. Pri pripravi podatkov za modeliranje H_{dom} smo vrednosti izmerjenih višin drevja zmanjšali za 1,3 m. Pri napovedovanju vrednosti H_{dom} je treba vrednost 1,3 prišteti. Potem smo izračunali rastiščni produkcijski indeks (SPI), ki je vrednost funkcije pri $D_{dom} = 45$ cm. Za ta referenčni premer smo se odločili, ker tudi enačbe za izračun volumnov dreves po tarifnih razredih vsebujejo faktor, ki je volumen drevesa pri prsnem premeru 45 cm (Čokl, 1980). Lahko bi izbrali tudi večji referenčni premer, ki bi bil blizu vrednostim ciljnih premerov drevja (npr. Beltran in sod., 2016; Molina-Valero in sod., 2019). SPI je kazalnik produkcijske sposobnosti gozdnih sestojev; primeren je predvsem za raznomerne sestoeje pa tudi gozdne sestoeje, ki so nastali z naravno obnovo z različno dolgimi pomladitvenimi obdobji.

Starost drevja smo določili glede na debelinsko priraščanje dreves po debelinskih stopnjah. Glede na model višinskega priraščanja (Hdom/Ddom model) smo v preglednici navedenim vrednostim premera drevja pripisali modelirano višino dominantnega drevja. Podatke o starosti in višinah drevja smo uporabili za modeliranje višinske rasti drevja glede na njihovo starost (Hdom/Starost model). Dominanta drevesa so bodisi vladajoča ali sovladajoča, zato domnevamo, da vzorčena dominantna drevesa iz različnih sestojev ponazarjajo značilen razvoj sestoja v celotnem življenjskem obdobju na obravnavanem rastišču. Za določanje rastiščnega indeksa (SI; site index) lahko poleg razvoja zgornje višine sestoja (povprečje višin sto najdebelejših dreves na hektar) uporabimo razvoj posameznih dominantnih dreves (npr. Sharma in sod., 2011). Tak način je primeren za določanje rastiščnega indeksa drevesnih vrst v mešanih gozdovih. Uporabili smo Chapman-Richardsovo funkcijo (enačba 2):

$$Y = A(1 - e^{-k \cdot t})^p, \text{ enačba (2)}$$

kjer so: Y višina dominantnih dreves, A, k, p parametri enačbe, t pa starost drevja. R^2 kaže prilagajanje krivulje Hdom/Starost podatkom, ki so povprečne starosti dreves po debelinskih stopnjah, določene na podlagi debelinskega prirastka dreves, in izračunane višine dominantnih dreves na podlagi modela Hdom/Ddom.

Zanesljivost modelov višinske rasti dominantnih dreves glede na njihov premer (Hdom/Ddom model) smo ocenili z ocenami napak in porazdelitvijo ostankov. Za validacijo modelov smo uporabili programsko okolje R (Version 1.3.1073), paket "modeler" (Wickham, 2020). Med različnimi ocenami napak prikazujemo štiri, in sicer: i) RMSE (root mean square error; koren povprečne kvadratne napake), ki prikaže razliko med napovedanimi in izmerjenimi podatki, ii) MAPE (mean absolute percentage error; povprečna napaka v odstotkih), ki je povprečna razlika (v %) med napovedano in izmerjeno vrednostjo; iii) R^2 (R-square; R kvadrat), ki kaže, kako dobro se napovedane vrednosti prilegajo dejanskim vrednostim; iv) MAE (mean absolute error; povprečna absolutna napaka), ki kaže

povprečno razliko med napovedano in izmerjeno vrednostjo. Grafično smo analizirali porazdelitev ostankov glede na napovedane vrednosti (grafov ne prikazujemo).

Debelinsko priraščanje dominantnega drevja posameznih drevesnih vrst smo analizirali z multiplo regresijo. Želeli smo ugotoviti, katere izmed drevesnih, sestojnih in rastiščnih spremenljivk (Priloga 2) značilno vplivajo na debelinsko priraščanje dominantnih dreves, saj je spoznavanje vplivnih dejavnikov pomembno za upravljanje gozdov. Rezultate navajamo le za bukev. Glede na predhodne analize podatkov so bile potencialne pojasnjevalne spremenljivke debelinskega priraščanja dominantnih dreves premer dreves in kvadrat premera dreves, sestojna temeljnica, Ginijev koeficient, ki meri heterogenost temeljnic dreves v sestoji, produktivnost rastišča (V45), ki je opredeljena z volumnom drevesa, ko le-ta doseže prsni premer 45 cm, delež bukke v sestoji, naklon in nadmorska višina terena (Priloga 2).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Določanje dominantnega premera sestoja in njegovega prirastka

3.1 Determining dominant diameter of a stand and its increment

Ddom izračunamo kot kvadratično srednjo vrednost premerov stotih najdebelejših dreves na hektar, nekateri pa Ddom izračunajo tudi kot aritmetično povprečje (npr. Bräker in Zing, 2008). Če Ddom ugotavljamo z vzorčenjem, moramo število izbranih dreves prilagoditi velikosti vzorčne ploskve; če ploskev meri pet arov, je treba izbrati pet najdebelejših dreves. Pri vzorčnih ploskvah z dvema različno velikima koncentričnima ploskvama sledimo zahtevi, da zajeta drevesa predstavljajo sto dreves na hektar. Na ploskvi dveh arov merimo drevje, tanjše od 30 cm; drevo na ploskvi pomeni 50 dreves na hektar. Na ploskvi petih arov merimo drevje, debelejšje od 30 cm; drevo na ploskvi pomeni 20 dreves na hektar. Če so na vzorčni ploskvi tanka drevesa, v vzorec za izračun Ddom izberemo dve drevesi na ploskvi dveh arov. Če je prisotno debelejšje drevje, potem na ploskvi petih arov izberemo

pet dreves. Seveda so tudi primeri, ko v vzorec zajamemo vsaj eno drevo, vendar manj kot pet dreves s prsnim premerom $D \geq 30$ cm. V takšnih primerih za vzorčena drevesa upoštevamo faktorja 50 za tanjše in 20 za debelejša drevja ter D_{dom} izračunamo kot tehtano kvadratično sredino, kjer faktor upoštevamo kot utež. Skupno število dreves v vzorcu mora biti natanko sto. Ker je več mogočih kombinacij, smo za izračun D_{dom} s podatki stalnih vzorčnih ploskev izdelali algoritem v R programu (Trifkovič in Bončina, 2020).

D_{dom} je merilo za razvrščanje sestojev v razvojne faze mladovje, drogovnjak in debeljak. Velja: mladovje ($D_{dom} < 10$ cm), drogovnjak ($10 \leq D_{dom} < 30$ cm), debeljak ($D_{dom} \geq 30$ cm). Razmejitev med debeljaki in pomlajenci je pogojena z odločitvijo o ciljnem premeru in pomlajevanju v sestoji. Izračunane D_{dom} s podatki s SVP lahko uporabimo za klasifikacijo enomernih sestojev na razvojne faze.

Po navadi raziskovalne ploskve za spremljavo razvoja gozdnih sestojev merijo več kot 0,1 ha. Na takih ploskvah izračunamo prirastek dominantnega primera (ID_{dom}) enostavno kot razliko med drugo in prvo meritvijo D_{dom} ; letno vrednost določimo tako, da razliko delimo s številom let med meritvama. Če je bil sestoj redčen po načelih izbiralnega redčenja, je lahko D_{dom} takoj po redčenju manjši od D_{dom} pred njim, tako da je vrednost ID_{dom} v krajšem obdobju lahko negativna. Takšen način ni primeren za oceno ID_{dom} na SVP, kjer na izbor dreves za izračun D_{dom} vplivata faktorja za obračun hektarskega števila dreves glede na premer drevja. V obdobju med meritvama lahko drevesa na vzorčni ploskvi dveh arov prerastejo vrednost $D = 30$ cm in se zato faktor spremeni ali pa se na ploskvi petih arov pojavi drevo $D \geq 30$ cm, ki ga prej ni bilo v vzorcu, je pa sedaj vključeno v izračun D_{dom} pri drugi meritvi. Težavo rešimo tako, da se pri izračunu ID_{dom} omejimo na drevesa, ki so bila vključena v izračun D_{dom} pri drugi meritvi in za obe meritvi dreves upoštevamo faktor druge meritve. V takem primeru govorimo o neto prirastku dominantnega premera; posekanih (dominantnih) dreves med meritvama ne upoštevamo, zato ID_{dom} ne zavzame negativnih vrednosti. Takšen postopek je bil že uporabljen pri

pripravi območnih gozdnogospodarskih načrtov za obdobje 2021–2030 (Klopčič, 2021b).

Namesto srednjega dominantnega premera sestoja (D_{dom}) in njegovega prirastka (ID_{dom}) lahko spremljamo razvoj posameznih dominantnih dreves (Sharma in sod., 2011). Med njimi so na isti ploskvi ali v istem sestoji lahko razlike v priraščanju že zaradi različne drevesne vrste ali različnih velikosti drevja. Na podlagi modeliranja razvoja posameznih dominantnih dreves lahko ocenimo razvoj dominantnega premera sestoja glede na mešanost drevesnih vrst in strukturne značilnosti sestoja.

3.2 Debelinsko priraščanje dominantnih dreves in ocena starosti drevja

3.2 Diameter growth and age estimation of dominant trees

Analiza razvoja dominantnega drevja glavnih drevesnih vrst kisloljubnih bukovih gozdov z rebrenjačo (Preglednica 2) kaže predvsem dvoje: 1) ID_{dom} posamezne drevesne vrste so precej podobni po debelinskih stopnjah, izstopajo le prirastki tanjšega drevja, ki so nekoliko večji, oziroma prirastki srednjedebelega drevja, ki so manjši od prirastkov debelega in tankega drevja; 2) med drevesnimi vrstami je opazna razlika v debelinskih prirastkih; prirastki smreke in buke so precej večji od prirastkov bora ali gradna, kar vpliva na prehodne dobe in starosti drevja pri določenih premerih drevja. Če ponazorimo s primerom šeste debelinske stopnje: glede na prirastek buke (4,09 mm) je v poprečju potrebnih 12,2 leta (68,4–56,2 leta), da drevja preraste od 25 do 30 cm, pri smreki 10,0 let, pri gradnu pa kar 18,9 leta. Navedene vrednosti so statične, prikazujejo povprečne razmere v obravnavanih gozdovih. Z gospodarjenjem lahko znatno vplivamo na dinamiko rasti drevja (glej pogl. 3.7).

Preglednica 2: Periodični debelinski prirastki in ocenjene starosti glavnih drevesnih vrst
Table 2: Periodic diameter increment and estimated age of dominant trees

	IDdom (cm/10 let)				
Debelinska stopnja	Bukev	Smreka	Graden	R. bor	Kostanj
3	5,07	6,02	(8,50)	(8,50)	(3,83)
4	5,04	6,04	(2,29)	(3,64)	5,21
5	4,66	5,70	2,71	3,71	4,93
6	4,09	5,00	2,64	2,75	4,14
7	4,12	4,19	2,96	2,27	3,46
8	4,15	4,03	2,89	2,13	3,25
9	4,28	3,99	2,94	2,04	3,72
10	4,27	4,10	3,16	2,06	3,41
11	4,46	4,46	3,23	1,89	3,67
12	4,45	4,57	(3,35)	2,30	3,65
13	4,54	4,60	(2,86)	(2,00)	3,67
14	4,75	4,40	(4,00)		(4,00)

	Starost (leta)				
Ddom (cm)	Bukev	Smreka	Graden	R. bor	Kostanj
*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	5,9	5,0	6,9	5,2	7,1
10	25,7	21,6	29,8	22,5	30,8
15	35,6	29,9	35,7	28,3	43,8
20	45,5	38,2	57,6	42,1	53,4
25	56,2	46,9	76,1	55,6	63,6
30	68,4	56,9	95,0	73,7	75,6
35	80,6	68,8	111,9	95,7	90,1
40	92,6	81,3	129,2	119,2	105,5
45	104,3	93,8	146,2	143,7	118,9
50	116,0	106,0	162,1	167,9	133,5
55	127,2	117,2	177,5	194,4	147,2
60	138,4	128,1	192,5	216,1	160,9
65	149,5	139,0	210,0	241,1	174,5
70	160,0	150,4	222,5		187,0

* Obdobje od vznika do višine 1,3 m.

Vrednosti v oklepajih so bile izračunane z majhnim vzorcem dreves (n < 20).

3.4 Dominantno drevje in ciljni premer

3.4 Dominant trees and target tree diameters

Ciljni premeri drevja so lahko sestavni del gozdno-gojitvenih oziroma produkcijskih ciljev (npr. Hein, 2007). Nekdaj smo jih določali le za prebiralne gozdove, vendar so aktualni tudi za enomerne. V takšnem primeru opredeljeni ciljni premeri veljajo za dominantno drevje posamezne drevesne vrste. S cilji so določene najmanjše dimenzije, ki jih morajo doseči izbranci te vrste. Ker so izbranci določeni med dominantnim drevjem, s spremljavo razvoja dominantnih dreves posredno spremljamo tudi razvoj izbrancev. Ciljni premeri drevja so uporabni za modeliranje razvoja gozdnih sestojev (npr. Rosset in sod., 2013). Obdobje, v katerem drevje doseže ciljne vrednosti, je odvisno od rastiščih razmer in ukrepanja; to obdobje lahko skrajšamo z rednim redčenjem večjih jakosti. Zato je pogosto kot sestavni del gojitvenega (produkcijskega) cilja navedeno obdobje, ko drevje doseže ciljne dimenzije. Z obema ciljnim elementoma je posredno določen režim redčenja, ki omogoča uresničitev tega cilja. V Preglednici 2 so navedene povprečne razmere v kisloljubnih bukovih gozdovih. Če bi določili ciljni premer za vse vrste enako pri vrednosti $D = 50$ cm, potem je obdobje, da drevje doseže tako velikost, za drevesne vrste različno: smreka 106 let, bukev 116 let, graden pa 162 let. Z določitvijo ciljnih premerov je pogosto povezano tudi število končnih izbrancev v sestoji (Hein, 2007). Na splošno velja, da se s povečanjem ciljnih premerov število izbrancev na enoto površine zmanjšuje.

3.5 Prehodne dobe in optimalno razmerje razvojnih faz

3.5 Growth periods of developmental phases and their optimal proportion

Ugotovljene prehodne dobe drevja po debelinskih stopnjah in povprečne starosti drevja so podlaga za določanje optimalnega razmerja razvojnih faz gozda. Določanje je utemeljeno na povezavi časovne in prostorske razsežnosti gozdnih sestojev; prehodne dobe posameznih razvojnih faz določajo njihov optimalni prostorski delež.

Rast drevja je odvisna od rastiščih razmer, drevesne sestave in gojitvenega ukrepanja, s katerim vplivamo na sestojno gostoto in strukturo. Na optimalno razmerje vplivajo upravljavske odločitve glede ciljnega premera drevja in pomladitvenega obdobja. Ciljni premer vpliva na prehodno dobo debeljakov in s tem na njihov optimalni delež v skupni površini. Pomladitveno obdobje določa delež sestojev v obnovi, vpliva pa tudi na delež mladovja. V sestojih v obnovi se podmladek zaradi zastiranja odraslih dreves razvija počasneje kot na prostem. Pri določanju optimalnega razmerja povzamemo, da je učinek zastrte rasti 0,5 (Bončina, 2009); to pomeni, da je razvojna starost podmladka ob koncu pomladitve (ob končnem poseku) enaka polovici celotnega pomladitvenega obdobja. S to vrednostjo skrajšamo prehodno obdobje mladovja. Natančnejše vrednosti učinka zastrte rasti lahko ugotovimo s študijem podmladka v posameznih gozdnih tipih.

Poznavanje priraščanja dominantnih dreves posameznih drevesnih vrst omogoča modeliranje razmerja razvojnih faz za različno drevesno sestavo, različne ciljne premere posameznih drevesih vrst in različne pomladitvene dobe. Za ponazoritev izberimo dve skupini variant (Preglednica 3):

- če bi imeli čiste sestoje posameznih drevesnih vrst, za katere bi določili ciljni premer 50 cm in dvajsetletno pomladitveno dobo, potem bi bila najkrajša proizvodna doba (vključno s pomladitvijo) za smreko (116 let), najdaljša pa za graden (172 let) in rdeči bor (178 let). Optimalni deleži mladovij so okoli 10 % površine, odstotki debeljakov pa 38–53 %;
- v naravi prevladujejo mešani sestoji, zato nava-jamo primer določitve proizvodnega obdobja in optimalnega razmerja razvojnih faz za mešane sestoje: celotni proizvodni cikel traja 137 let, optimalni delež debeljakov je 43 %.

Prednost opisanega postopka je, da lahko modeliramo optimalno razmerje razvojnih faz za različno drevesno sestavo in upravljavske odločitve, izračuni pa temeljijo na eksperimentalnih podatkih o rasti drevja na danem območju. Pri upravljavskih odločitvah lahko spreminjamo ciljni premer, način pomlajevanja, drevesno sestavo

Preglednica 3: Določitev optimalnega razmerja razvojnih faz za dve varianti: 1) čisti sestoji petih drevesnih vrst ob 20-letni pomladitveni dobi in ciljnem premeru $D = 50$ cm; 2) mešani sestoj

Table 3: Determination of optimal proportion of developmental phases for two management variants

	Prehodne dobe (leta)					
Prehodne dobe (leta)	Varianta 1: čisti sestoji*					Varianta 2: Mešani sestoj**
	Bukev	Smreka	Graden	R. bor	Kostanj	
Mladovje***	16	12	20	12	21	16
Drogovnjak	43	35	65	51	45	43
Debeljak	48	49	67	94	58	58
Sestoji v obnovi	20	20	20	20	20	19
Proizvodna doba	126	116	172	178	144	136
Optimalni deleži razvojnih faz						
Mladovje***	0,12	0,10	0,11	0,07	0,15	0,11
Drogovnjak	0,34	0,31	0,38	0,29	0,31	0,32
Debeljak	0,38	0,42	0,39	0,53	0,40	0,43
Sestoji v obnovi	0,16	0,17	0,12	0,11	0,14	0,14
Skupaj	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

* Ciljni premer drevesnih vrst je 50 cm, pomladitvena doba pa 20 let.

** Sestava: bukev (40 %), smreka (35 %), rdeči bor (5 %), graden (10 %) in kostanj (10 %). Ciljni premer drevesnih vrst je 50 cm, pomladitvena doba pa 20 let; le za graden je ciljni premer 65 cm in pomladitvena doba 10 let.

***Obdobje mladovja je zmanjšano za razvojno starost podmladka ob koncu pomladitve, ki je ocenjena kot polovica pomladitvenega obdobja.

pa tudi režim redčenj, ki vpliva na priraščanja dreves ter s tem na prehodne in proizvodne dobe. Prikazani postopek je poenostavljen, saj nismo npr. upoštevali vpliva različne drevesne sestave na rast posameznih drevesnih vrst, zadošča pa namenu določanja optimalnega razmerja razvojnih faz gozda.

3.6 Modeliranje višine dominantnih dreves in ocena produkcijske sposobnosti gozdnih rastišč

3.6 Height modelling of dominant trees and estimation of forest site productivity

Za glavne drevesne vrste kisloljubnega bukovja z rebrenjačo smo modelirali razmerje med višino in premerom dominantnih dreves (H_{dom}/D_{dom} model) (Preglednica 4, Slika 1). Najzanesljivejša modela sta za bukev in graden, najmanj pa za

smreko (Preglednica 4). Na podlagi modelov H_{dom}/D_{dom} smo določili rastiščni produkcijski indeks (SPI) za obravnavane drevesne vrste, ki je vrednost modela pri $D_{dom} = 45$ cm:

- bukev (28,4),
- smreka (31,1),
- graden (25,1),
- rdeči bor (26,1),
- kostanj (23,2).

Največjo produkcijo dosega smreka, najmanjšo pa kostanj. Vrednosti SPI so povezane s tarifnimi razredi; višje vrednosti SPI pomenijo višji tarifni razred. Izračune lahko preverimo, saj imamo za vsako drevesno vrsto podatke o debelini (45 cm) in višini drevja. Z dvovhodnimi deblovnicami (enačba 3; Puhek, 2003) lahko izračunamo volumen dreves. Za bukev velja:

$$\text{Vol} = (1745,5 + 49,384 \cdot D - 222,25 \cdot H - 3,0398 \cdot D \cdot D - 14,677 \cdot D \cdot H + 4,3234 \cdot D \cdot D \cdot H + 0,00011546 \cdot D \cdot D \cdot D \cdot H \cdot H + 12,878 \cdot H \cdot H - 0,20662 \cdot D \cdot H \cdot H) / 100000,$$

enačba (3)

pri čemer je D prsni premer, H pa višina bukve. Izračunan volumen bukve pri $D = 45$ cm in $H = 28,4$ m znaša $V = 2,33$ m³. Če bi želeli dobiti enako vrednost s Čoklovimi tarifami pri $D = 45$ cm, bi morali uporabiti tarifni razred 7/8.

Preglednica 4: Parametri Chapman-Richardsove funkcije za modele Hdom/Ddom

Table 4: Parameters of Chapman-Richards function for Hdom/Ddom models

Parametri Chapman-Richardsove funkcije*	Bukev	Smreka	Graden	Rdeči bor	Kostanj
A	32,6862	41,7223	29,3525	33,8990	27,8189
k	0,0535	0,0348	0,0504	0,0374	0,0362
p	1,9990	1,4405	1,9211	1,51945	1,1044
Ocena skladnosti modela					
RMSE	4,6181	6,9653	4,1857	4,2847	4,6015
MAPE	0,1503	0,2940	0,1563	0,1655	0,1614
R ²	0,3060	0,1998	0,2780	0,2594	0,2705
MAE	3,6491	5,8592	3,3426	3,4253	3,7000

* Parametri (A, k, p) so statistično značilni za vse vrste ($p < 0,001$), razen parametra k in p za kostanj ($p > 0,05$)

S podatki o dominantnem drevju je mogoče oceniti tudi SI posameznih drevesnih vrst na obravnavanem rastišču. Na podlagi modelov Hdom/Starost (Preglednica 5) lahko grafično prikažemo razvoj višine dominantnega drevja posamezne drevesne vrste glede na starost (Slika 2) ter izračunamo SI, ki je višina dominantnega drevja pri referenčni starosti; v našem primeru sto let. Ugotovljene vrednosti SI za analizirane drevesne vrste so:

- bukev (27,9),
- smreka (32,5),
- graden (20,9),
- rdeči bor (22,9),
- kostanj (21,7).

Vrednosti SI so relativno nizke za graden, rdeči bor in kostanj. Raziskave SI na podlagi debelnih analiz dreves na izbranih lokacijah v tem gozdnem tipu (Kadunc in sod., 2013) dajejo naslednje vrednosti SI (povprečje; minimum-maksimum, slednje le, če je bilo več analiziranih lokacij v gozdnem tipu):

- bukev (26,5; 22,0–30,0),
- smreka (34,0; 28,0–38,0),
- rdeči bor (27,8),
- pravi kostanj (23,0),
- graden (ni podatka).

Za bukev in smreko so naši rezultati podobni ugotovitvam na podlagi debelnih analiz (Kadunc in sod., 2013). Opazno razhajanje je pri rdečem boru, kar lahko pripišemo razliki v vzorčenju. Metoda debelnih analiz je bila zaradi zahtevnosti postopka omejena na malo dreves na nekaj lokacijah, ki so bile subjektivno izbrane, praviloma na območjih, ki so bila po presoji raziskovalcev značilni primer ohranjene gozdne združbe. Naša metoda vključuje celotno območje gozdnega tipa, tudi predele, ki so bili v preteklosti pretirano izkoriščeni, predvsem za pridobivanje stelje, paše, v nekaterih predelih so bile intenzivne tudi panjevske sečnje. Prejšnja raba gozdov vpliva na rezultate. V naši raziskavi le-ti kažejo »povprečno« stanje v gozdnem tipu, nikakor pa ne samo stanja v najbolj ohranjenih delih tega tipa. Prednost postopka, ki smo ga

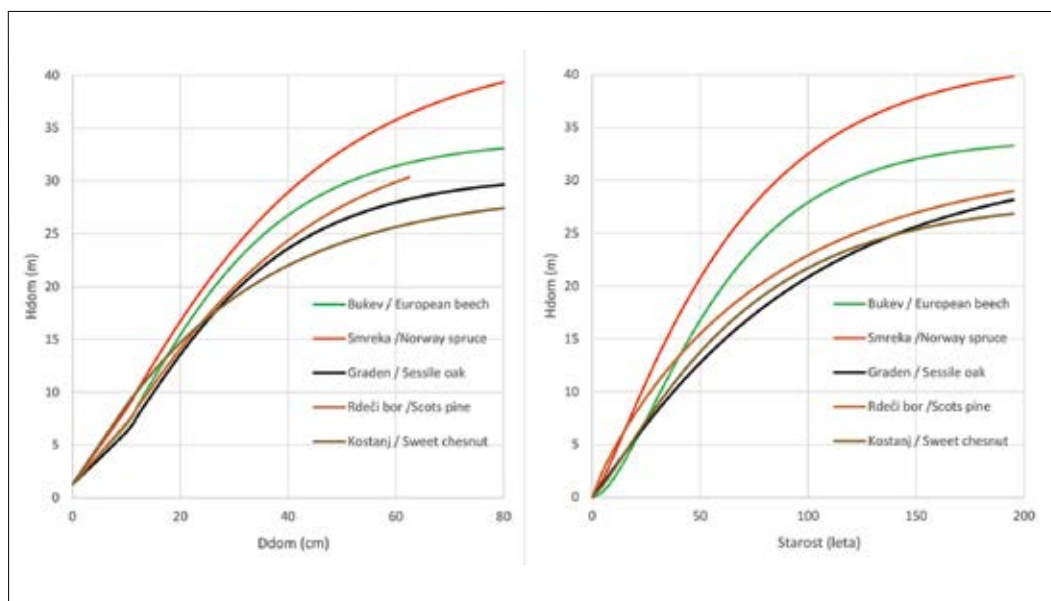
uporabili za določanje rastiščnih indeksov, so veliko dreves v vzorcu, sistematično vzorčenje in s tem reprezentativnost vzorca, razpoložljivost podatkov, nedestruktivnost postopka. Postopek

je treba preveriti še v drugih gozdnih tipih; dose-
danje raziskave (Bončina in sod., 2021b) kažejo
na uporabnost postopka.

Preglednica 5: Parametri Chapman-Richardsove funkcije za modele Hdom/Starost
Table 5: Parameters of Chapman-Richards function for Hdom/Age models

Parametri Chapman-Richardsove funkcije*	Bukev	Smreka	Graden	Rdeči bor	Kostanj
A	33,9900	41,5978	32,0460	31,9378	28,1600
k	0,0230	0,0175	0,0112	0,0116	0,0169
p	1,855	1,2876	1,0949	0,8843	1,2800

* Parametri (A, k, p) so statistično značilni za vse drevesne vrste ($p < 0,001$).



Slika 1: Modeli Hdom/Ddom (levo) in Hdom/Starost (desno) za pet drevesnih vrst kisloljubnega bukovja z rebrenjačo
Figure 1: Hdom/Ddom (left) and Hdom/Age models (right) for five tree species in acidophilus beech forest type

Oba prikaza (Slika 1) lahko uporabimo za določanje pogostnosti redčenj. Razvoj zgornje sestojne višine je namreč primernejše merilo za določanje pogostnosti redčenj kot starost sestojev. Redčenja je priporočljivo ponavljati, ko se zgornja sestojna višina poveča za 3 m (Bräker in Zing, 2008). Iz modela Hdom/Starost lahko razberemo časovni interval redčenj, ki je odvisen od trenutne sestojne višine in drevesne vrste.

3.7 Podrobnejša analiza debelinskega priraščanja dominantnih dreves 3.7 Detail analysis of diameter growth of dominant trees

Za upravljanje gozdov je pomembno tudi podrobnejše poznavanje rastiščnih značilnosti dominantnih dreves glede na rastiščne, sestojne in drevesne znake. Razlog je že v tem, da vsaj na nekatere sestojne znake lahko vplivamo z gospodarjenjem, poznavanje vseh

Preglednica 6: Model debelinskega priraščanja dominantnih bukev

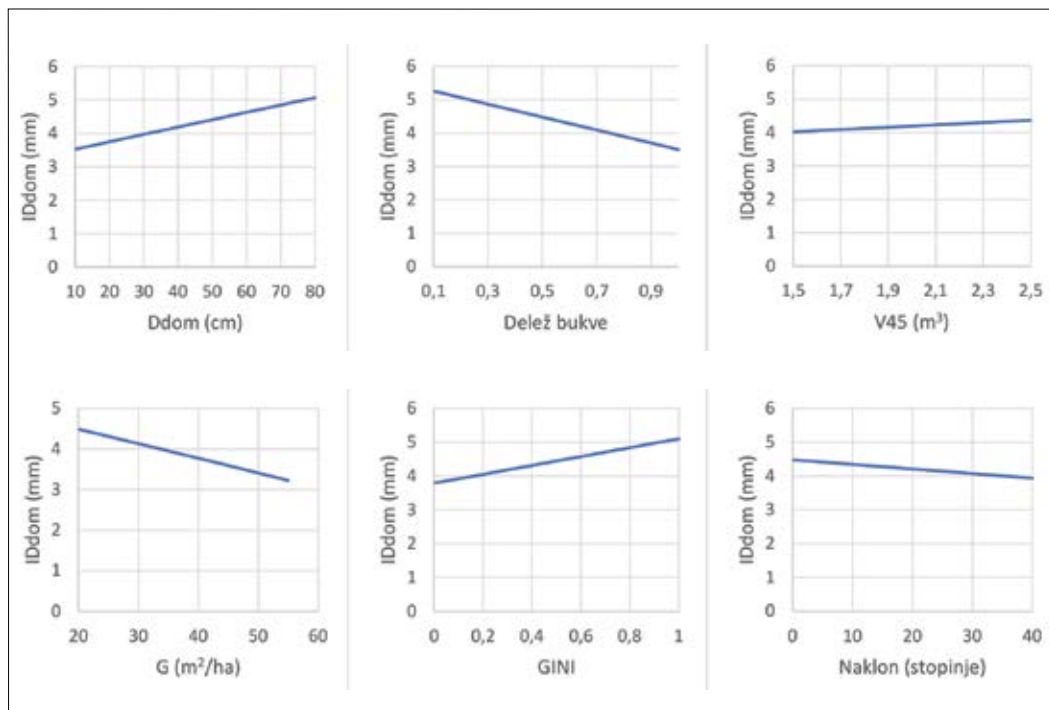
Table 6: Individual diameter growth model for dominant beech trees

	b	Standardna napaka	p-vrednost
Konstanta	4,8970	0,2884	0,0000
Delež bukve	-1,9420	0,1006	0,0000
Temeljnica	-0,0361	0,0027	0,0000
Premer dreves	0,0220	0,0030	0,0000
Naklon	-0,0135	0,0028	0,0000
GINI	1,3119	0,3540	0,0002
V45	0,3441	0,1178	0,0035

vplivnih dejavnikov pa je pomembno za odločanje na ravni posameznih dreves, sestojev ali gozdnega rastiščnega tipa. Rezultate navajamo le za bukev.

Učinek štirih spremenljivk (skalovitost, nadmorska višina, kvadrat premera dreves in srednji temeljnični premer sestoja) je bil neznačilen ($p > 0,05$). V model debelinskega priraščanja bukve

je vključenih šest spremenljivk (Preglednica 6), ki skupaj pojasnijo 10 % celotne variabilnosti debelinskega prirastka. Model kaže naslednje: debelinski prirastek dominantnih dreves se večja z njihovim premerom, prirastek je pričakovano manjši v gostejših sestojih, manjši je v bolj homogenih sestojih z večjim deležem bukve ter na bolj strmih legah.



Slika 2: Vpliv posameznih spremenljivk na debelinsko priraščanje dominantnih bukev v kisloljubnem bukovju z rebrenjačo ob povprečni vrednosti drugih pojasnjevalnih spremenljivk

Figure 2: The effect of individual predictors on the diameter increment of dominant beech trees if the values of other explanatory variables are kept at their means

Slikovni prikazi vpliva posameznih spremenljivk so nazornejši (Slika 2). Pri prikazu vpliva posamezne spremenljivke so vrednosti drugih spremenljivk modela fiksne (njihova povprečja v analiziranem območju), spreminjamo samo vrednost opazovane spremenljivke. Izstopa velik vpliv drevesne sestave na debelinsko priraščanje bukve; pri enaki gostoti sestoja je priraščanje bukve precej večje v sestojih z manjšim deležem bukve oziroma večjim deležem drugih drevesnih vrst. Morebitna razlaga za to je v komplementarnosti vrst in boljši izrabi rastnega prostora pri enaki gostoti (temeljnici) sestoja. Opazno je tudi, da je prirastek dominantnih dreves večji v bolj raznomernih sestojih oziroma v sestojih z večjo heterogenostjo premerov drevja. Tudi v tem primeru lahko pozitiven učinek raznomerne zgradbe pojasnimo z boljšo izrabo rastnega prostora. Pričakovano je prirastek na produktivnejših rastiščih večji, medtem ko naklon terena zmanjšuje debelinsko rast. Sestojna temeljnica kaže na konkurenčne odnose v sestoji; v primeru velike sestojne gostote, npr. okoli 40–50 m²/ha, je desetletni debelinski prirastek manjši za okoli en centimeter; kar s poenostavljenim primerom pomeni, da bi bila doba, da drevje preraste od $D = 10$ cm do $D = 50$ cm v redkih sestojih ($G = 20$ m²/ha) slabih 90 let, pri zelo gostih sestojih ($G = 50$ m²/ha) pa 30 let več.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Zavod za gozdove Slovenije zbira in vzdržuje podatke o drevju in sestojih, zbranih na stalnih vzorčnih ploskvah. Podatki so ključni za oceno stanja gozdnih sestojev, hkrati pa so dragocen vir za modeliranje razvoja dreves in gozdnih sestojev. Na primeru kisloljubnega bukovja z rebrenjačo smo prikazali postopke za analiziranje razvoja dominantnega drevja in pomen izsledkov analiz za načrtovanje gospodarjenja z gozdovi. Strnemo jih lahko v naslednje zaključke:

Poznavanje razvoja dominantnih dreves omogoča določanje optimalnega razmerja razvojnih faz glede na upravljalvske odločitve o drevesni sestavi, ciljnih premerih drevja in pomladitveni dobi v danem območju gozdov.

Modeliranje razvoja dominantnega drevja temelji na eksperimentalnih podatkih, zato lahko modele priraščanja s ponovnimi meritvami drevja dopolnujemo. To je prednost, saj pričakujemo spremembe rastnih procesov zaradi okoljskih sprememb.

Na podlagi razvoja dominantnega drevja lahko ocenimo rastne sposobnosti posameznih drevesnih vrst v gozdnih rastiščnih tipih. Oba indeksa (SPI in SI) sta uporabna za modeliranje razvoja sestojev in dreves. Pri nas je kot cenilka produktivnosti gozdnih rastišč v uporabi skoraj izključno SI. Postopek, ki smo ga razvili, omogoča sistematično raziskovanje SI v gozdovih Slovenije. Zajem podatkov na sistematični vzorčni mreži zagotavlja reprezentativnost rezultatov. Izsledki raziskav razvoja dominantnega drevja drevesnih vrst po gozdnih tipih bodo prispevali k dopolnjevanju znanj o boniteti gozdnih rastišč v Sloveniji. Rezultati so odvisni od točnosti meritev premerov in višin dreves, ki jo je mogoče izboljšati. Lidarska snemanja odpirajo nove možnosti za ocenjevanje drevesnih višin (npr. Socha in sod., 2017). Mogoče so naprednejše statistične analize podatkov (npr. Cieszewski in Bailey 2000), vendar so za njihovo uporabo nujni podatki o zaporednih meritvah višin istega drevja.

Podrobnejše analize debelinskega priraščanja drevja praviloma potekajo v okviru raziskav, lahko pa postanejo tudi sestavina gozdnogospodarskega načrtovanja. To je aktualno v primerih, ko je treba pojasniti vpliv različnih dejavnikov na rast drevja, ali v primerih, ko se rastni procesi značilno spreminjajo in so izsledki podrobnejše analize rasti drevja nujni za prilagojeno upravljanje gozdov.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je bila opravljena v sklopu ciljnih raziskovalnih projektov V4-1821 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh ter V4-2014 Razvoj modelov za gospodarjenje z gozdovi v Sloveniji. Zahvala Zavodu za gozdove Slovenije za možnost uporabe njihovih podatkovnih virov, Vasiliju Trifkoviću in Živi Bončini za pomoč pri obdelavi podatkov, recenzentu prispevka in doc. Klopčiču za koristne pripombe.

6 VIRI

6 REFERENCES

- Beltran, H.A., Chauchard, L., Velásquez, A., Sbrancia, R., Pastur, G.M. 2016. Diametric site index: an alternative method to estimate site quality in *Nothofagus obliqua* and *N. alpine* forests. *Cerne*, 22, 3: 345–354.
- Bončina, A. 2009. Urejanje gozdov - upravljanje gozdnih ekosistemov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 359 str.
- Bončina, A., Rozman A., Dakskobler I., Klopčič M., Babij V., Poljanec A. 2021a. Gozdni rastiščni tipi Slovenije: vegetacijske, sestojne in upravljaljske značilnosti. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Zavod za gozdove Slovenije: 576 str.
- Bončina, A., Trifković, V., Bončina, Ž., 2021b. Modeliranje višinske in debelinske rasti dominantnih dreves ter ocenjevanje indeksov produktivne sposobnosti gozdnih rastišč. *Acta Silvae et Ligni*. 125: 1–12.
- Bräker, U., Zing, A., 2008 Waldwachstum. Professur Forseinrichtung und Waldwachstum ETH Zürich.
- Cieszewski, C., Bailey, R.L. 2000. Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science*, 46, 1: 116–126.
- Cieszewski, C., Bailey, R.L. 2000. Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science*, 46, 1: 116–126.
- Čokl, M. (ur.). 1980. Gozdarski in lesnoindustrijski priročnik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 374 str.
- Ficko, A. 2020. Bayesian evaluation of smartphone applications for forest inventories in small forest holdings. *Forests*, 11, article 1148.
- Hein, S. 2007. Wertholzproduktion mit Buche, Eiche, Esche und Ahorn, FVA-einblick 2/2007.
- Kadunc, A., Poljanec, A., Dakskobler, I., Rozman, A., Bončina, A. 2013. Ugotavljanje proizvodne sposobnosti gozdnih rastišč v Sloveniji: poročilo o realizaciji projekta. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 42 str.
- Klopčič, M., 2021a. Preverjanje uporabnosti modela SiWaWa za simuliranje razvoja čistih bukovih in smrekovih enomernih sestojev v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 79, 1: 3–20.
- Klopčič, M. 2021b. Razvojne starosti sestojev. *Ekspertiza*. BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 3 str.
- Kotar, M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 500 str.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Croux, C., Todorov, V., Ruckstuhl, A., Salibian-Barrera, M., Verbeke, T., Koller, M., Conceicao, E.L., Anna di Palma, M. 2021. Basic robust statistics: R package version 0.93-7. <http://robustbase.r-forge.r-project.org/> (21. 1. 2021)
- Molina-Valero, J.A., Diéguez-Aranda, U., Álvarez-González, J.G., Castedo-Dorado, F., Pérez-Cruzado, C. 2019. Assessing site form as an indicator of site quality in even-aged *Pinus radiata* D. Don stands in north-western Spain. *Annals of Forest Science*, 76: 113.
- Peng, C. 2011. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forests. *Northern Journal of Applied Forestry*, 18, 3: 87–94.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model. Berlin, Springer-Verlag: 664 str.
- Puhek, V. 2003. Regresijske enačbe za volumen dreves po dvovhodnih deblovnica. *Gozdarski priročnik*. 7. izdaja, Kotar M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 46–48.
- Rosset, C., Schütz, J.-P., Lanz, A., Menk, J., Gollut, C., Weber, D., 2013: SiWaWa: Waldwachstumssimulationsmodell der neuen Generation. Schlussbericht. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald und Berner Fachhochschule Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Bern, Švica.
- Sharma, R.P., Brunner, A., Eid, T., Øyen, B.-H. 2011. Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecology and Management*, 262: 2162–2175.
- Socha, J., Pierzchalski Bałazy, R., Ciesielski, M. 2017. Modelling top height growth and site index using repeated laser scanning. *Forest Ecology and Management*, 406: 301–317.
- Trifković, V., Bončina, A., 2002. Algoritem izračuna Ddom v paketu R. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana.
- Wickham, H. 2020. Modelling functions that work with the pipe. R package version 0.1.8. <https://CRAN.R-project.org/package=modelr> (26. 1. 2021).

7 PRILOGE

7 APPENDIX

Priloga 1: Podatki o vzorcu analiziranih drevesnih vrstah

Appendix 1: Data on analysed tree species in the forest type

	Bukev	Smreka	Gradén	Rdeči bor	Kostanj
Število ploskev	2654	3045	1459	1107	873
Število dreves za analizo debelinskega priraščanja	6242	7770	2582	2405	928
Število dreves za modeliranje Hdom/Ddom	1703	2080	697	514	172

Priloga 2: Spremenljivke za modeliranje debelinske rasti bukke

Appendix 2: Variables for modelling beech diameter growth

Spremenljivke	Oznaka	Enote	Srednja vrednost	Sd	Minimum-maksimum
Premer drevesa	D	(cm)	39,1	9,4	10–99
Kvadrat premera dreves	D2	(cm ²)	1621	797	100–9801
Temeljnica	G	(m ² /ha)	28,82	10,57	3,13–69,05
Srednjetemeljnični premer	Dg	(cm)	26,8	6,2	11,2–61,5
Delež bukke	d_BU		0,66	0,27	0,04–1,00
Ginijev koeficient premerov dreves	GINI		0,293	0,076	0,020–0,63,3
Shannov keficient diverzitete drevesnih vrst	SHN		0,666	0,437	0,000–2,091
Volumen dreves pri prsnem premeru 45 cm	V45		1,92	0,27	1,20–2,67
Nadmorska višina	(m)	(m)	514	151	165–1311
Naklon	(°)	(°)	22,8	9,7	0,0–50,0
Skalovitost	(%)	(%)	6,0	10,3	0,0–100,0