

Vladimir Novotny<sup>1</sup>✉, Stjepan Dekanić<sup>2</sup>, Anamarija Durbešić<sup>3</sup>

## MODELIRANJE RAZVOJA SASTOJINSKE TEMELJNICE STANDARDNIM KRIVULJAMA RASTA?

### MODELING OF THE STAND BASAL AREA WITH STANDARD GROWTH EQUATIONS?

#### SAŽETAK

Temeljnica sastojine jedan je od osnovnih elemenata koji čine strukturu sastojine. U ovom radu prikazani su modeli razvoja sastojinske temeljnice, mješovitih sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba, pomoću standardnih funkcija rasta, koje se najčešće upotrebljavaju u praksi, a razvoj zavisne varijable opisuju pomoću samo jedne nezavisne varijable (starosti).

Realizacija postavljenog cilja ovog istraživanja provedena je kroz dvije faze rada:

- Izrada modela razvoja temeljnice na razini gospodarskih sastojina.
- Usporedba razvoja temeljnice sa prirasno-prihodnim tablicama.

Istraživanje prve faze provedeno je na uzorku od 5060 odjela/odsjeka gospodarskih lužnjakovo-grabovih sastojina u Republici Hrvatskoj, ukupne površine od 75948,76 hektara. U drugoj fazi istraživanja napravljena je grafička usporedba razvoja sastojinske temeljnice, dobivenog u prvoj fazi istraživanja, s razvojem sastojinske temeljnice u prirasno-prihodnim tablicama domaćih autora.

Dobiveni rezultati pokazuju kako razvoj sastojinske temeljnice mješovitih gospodarskih sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba, od početka do kraja ophodnje, karakterizira velika varijabilnost podataka, a modeli njezina razvoja, dobiveni odabranim standardnim funkcijama rasta, imaju sličan oblik i slične vrijednosti.

Iz dobivenih rezultata razvidno je kako modeliranje razvoja temeljnice na razini sastojine standardnim funkcijama rasta previše statično i jednostavno pri-

<sup>1</sup> Hrvatski šumarski institut, Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku, Trnjanska 35, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>2</sup> IRES – Institut za istraživanje i razvoj održivih ekosustava, Ivana Lučića 5, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>3</sup> Hrvatske šume d.o.o., Služba za uređivanje šuma, Lj. F. Vukotinovića 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

✉ Dopisni autor/Corresponding author: vladon@sumins.hr, tel. +385 98 326891.

kazuje njezin razvoj, zbog vrlo malo informacija koje bi opisale dinamiku i zakonitosti razvoja promatranog elementa strukture u današnjem vremenu promijenjenih klimatskih uvjeta te sve naglašenijega antropogenog utjecaja na okolinu.

**Ključne riječi: temeljnica, funkcija rasta, lužnjakovo-grabove sastojine, prirasno-prihodne tablice**

## UVOD

### INTRODUCTION

Korijen riječi temeljnica dolazi od grčke riječi *themeilia* i predstavlja osnovu, podlogu i načelo. Samim tim već u korijenu riječi naglašena je primarna važnost riječi temeljnica.

Temeljnica stabla (g) jest površina presjeka stabla u prsnoj visini (na 1,30 m od tla), a temeljnica sastojine (G) suma površina presjeka svih stabala sastojine (Pranjić i Lukić 1997). Zbog svojih karakteristika i vrijednosti temeljnica spada u osnovne elemente strukture sastojina te je neizostavni element svih prirasno-prihodnih tablica (PPT-a) u kojima predstavlja vrijednost prema kojoj težimo gospodarenjem šumskim resursima. Njezina temeljna važnost, učešće u tablicama rasta i razvoja sastojina, točnost te jednostavnost utvrđivanja odredili su joj primjenjivost u praksi koja se očituje u značajnoj ulozi prilikom opisivanja stanja sastojine te prilikom utvrđivanja obrasta i normaliteta sastojine, kao i kod utvrđivanja omjera smjese. Sve su to vrlo važni ulazni podatci za planiranje gospodarskih zahvata kojima pokušavamo, oponašajući prirodu i prirodne zakonitosti, potrajno gospodariti, uzimajući u obzir ekološke, sociološke, društvene i ine zahtjeve modernog društva.

Prognoza budućeg stanja sastojine u cjelini, kao i pojedinačna prognoza bilo kojeg elementa strukture sastojine na osnovu prijašnjeg i sadašnjeg stanja oduvijek je bila najzahtjevnija zadaća uređivanja šuma radi kontinuiranog ostvarivanja kvalitativnog i kvantitativnog prinosa na temeljima potrajnog gospodarenja (Assmann 1970). Modelima rasta i razvoja različitih elemenata strukture sastojine pokušavamo na temelju životnih procesa i zakonitosti koje vladaju unutar sastojine objasniti razvoj promatranog elementa strukture na određenom području. Na taj način prognoze trenda razvoja nekog strukturnog elementa postaju matematički zapisi koje treba riješiti pomoću parametara različite znanstvene preciznosti, točnosti i upotrebljivosti. Što je više ulaznih varijabli, na osnovi kojih određujemo parametre za rješenje matematičkih izraza modela, pridobiveno terenskom izmjerom promatranih sastojina, prognoze će biti realnije i svrhovitije (Križanec 2000). S druge strane, što je više varijabli potrebno za izračunavanje modela, to je modele teže primijeniti u praksi. (Vanclay 1994, Pretzch 2009).

Povijest modeliranja u šumarstvu datira još iz 18. stoljeća, kada je razvoj nekih osnovnih strukturnih elemenata prikazivan grafički ili tabelarno. Daljnji tijek modeliranja rezultirao je izradom regionalnih, a onda i lokalnih tablica za pojedine vrste drveća, koje su uzimale u obzir slične ili jednake ekološke prilike u kojima se promatrana vrsta drveća razvijala.

Osnovni nedostaci tih PPT-a proizlaze iz činjenica da su većinom rađene za čiste sastojine, da nisu uključivale dinamiku šumskih ekosustava te da su podatci za njihovu izradu prikupljeni jednokratno (Novotny 2012).

Razvojem tehnologije i pojavom računalnih strojeva krajem prošloga stoljeća otvorila se mogućnost unapređenja prognoze budućeg stanja na osnovi dinamičnih zakonitosti koje vladaju u šumskom ekosustavu. Slijedom takvog razvoja počeli su se pojavljivati i razvijati modeli rasta (prirasta) i razvoja različitih elemenata strukture sastojine na temelju životnih procesa i zakonitosti koje vladaju unutar sastojine.

Iako je modeliranje rasta i razvoja u šumarstvu, povijesno gledajući, doživjelo razvoj od jednostavnih statističkih modela do empirijskih modela simulacije, u praksi se kod nas još uvijek u najvećoj mjeri koriste PPT-e koje spadaju u kategoriju jednostavnih statističkih modela. U novijoj stručnoj literaturi sve je više indicija koje ukazuju na ozbiljne nedostatke uporabe prirasno-prihodnih tablica za planiranje gospodarenja šumskim sastojinama u današnjim uvjetima klimatskih promjena. Pretzsch i dr. (2013), temeljem mjerenja razvoja čistih kitnjakovih sastojina na trajnim pokusnim plohama počevši od 1900. godine, utvrđuju kako sastojine danas rastu brže te nagomilaju sastojinski volumen ranije negoli je to propisano odgovarajućim prirasno-prihodnim tablicama. Woods i Coates (2013) također zaklju-



Slika 1. Rasprostranjenost državnih gospodarskih šuma hrasta lužnjaka i običnoga graba u RH  
*Figure 1. Spatial distribution of state-owned forests of pedunculate oak and common hornbeam forests in the Republic of Croatia*

čuju, na temelju rezultata dobivenih opsežnim i dugoročnim istraživanjima razvoja preko 14000 stabala u starim jednodobnim plantažama, kako tradicionalni modeli rasta šumskih sastojina u sebi sadržavaju prenamaglašenu ulogu stabilnosti i predviđivosti sastojinskog razvoja tijekom dugog vremenskog razdoblja. Pretpostavke i pojednostavljenja koje se nalaze u srži prirasno-prihodnih tablica u velikoj su većini prihvaćene prije nastupa klimatskih promjena te ne uzimaju u obzir sve češće poremećaje u razvoju sastojina uzrokovane djelovanjem raznih biotskih i abiotskih činitelja.

Područje istraživanja u ovom radu određeno je arealom sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba u Republici Hrvatskoj, kao istraživane fitocenozе. Položaj gospodarskih sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba u Republici Hrvatskoj, kojima gospodare HŠ d.o.o., prikazan je na Slici 1.

Sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba odabrane su zbog činjenice da je hrast lužnjak naša najvrednija vrsta te iz nje proizlaze i drugi, višestruki razlozi odabira (Dekanić 1991, Prpić 1996, Rauš 1996, Vukelić i Rauš 1998, Baričević 1999, Matić 2010, Novotny i dr. 2013).

Podatci korišteni u ovom istraživanju prikupljeni su u okviru redovitog gospodarenja šumama kojima gospodare Hrvatske šume d.o.o. (HS fond).

Cilj je istraživanja ovoga rada prikazati modele razvoja sastojinske temeljnice u mješovitim sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba pomoću standardnih funkcija rasta, koji se najčešće upotrebljavaju u praksi te razvoj zavisne varijable opisuju na statičan način pomoću samo jedne nezavisne varijable (starosti).

## MATERIJAL I METODE

### *MATERIAL AND METHODS*

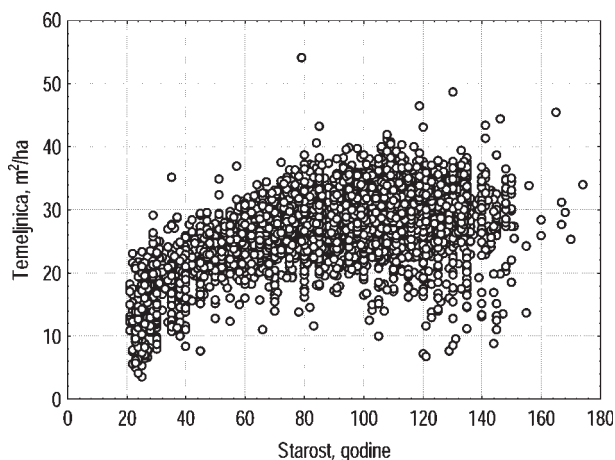
Istraživanja provedena prilikom izrade ovoga rada podijeljena su na dvije osnovne razine:

1. Modeliranje razvoja temeljnice u ovisnosti o dobi gospodarskih šuma hrasta lužnjaka i običnoga graba u Republici Hrvatskoj na razini sastojine.
2. Usporedba izrađenih modela s razvojem temeljnice u prirasno-prihodnim tablicama domaćih autora.

Dizajniranje baze podataka za istraživanje prve razine napravljeno je pomoću programa za upravljanje bazama podataka (Microsoft ACCESS) kroz 7 faza rada na uzorku podataka iz HS fonda (stanje 2010. godine). Konačni uzorak obuhvaća 5060 odjela/odsjeka gospodarskih lužnjakovo-grabovih sastojina, ukupne površine od 75948,76 ha, što prema podacima iz baze HS fonda predstavlja 77,2 % ukupne površine tih sastojina (Novotny 2012).

Oblak podataka na Slici 2. predstavlja vrijednosti ukupne temeljnice istraživanog uzorka prikazane u odnosu na starost sastojina. Iz ovog prikaza vidljivo je kako povezanost promatranih elemenata nije linearna te da se povećanjem starosti povećava varijacijska širina vrijednosti ukupne temeljnice.

S obzirom na činjenicu da više od 70 % cjelokupno dizajniranog uzorka čine sastojine I bonitetnog razreda, razvoj ukupne sastojinske temeljnice modeliran je



Slika 2. Ovisnost ukupne temeljnice po hektaru sastojina dizajniranog uzorka o starosti sastojine  
 Figure 2. Total stand basal area per hectare of all stands in the sample vs. stand age

odabranim standardnim funkcijama rasta karakterističnim za šumarska istraživanja na uzorku sastojina I boniteta.

Prije modeliranja, korelacijskom analizom napravljena je inspekcija odabrane varijable te je na osnovi veličine Pearsonova koeficijenta ustanovljena povezanost varijable sa starošću.

Nelinearne funkcije modela rasta (Pretzsch 2009) koje su odabrane za opis povezanosti sastojinske temeljnice sa starošću su:

$$\bullet y = a \cdot (t^2 / (b + t^2))^c \quad (\text{Levaković III}) \quad (1)$$

$$\bullet y = a \cdot e^{-b \cdot e^{-c \cdot t}} \quad (\text{Gompertz}) \quad (2)$$

$$\bullet y = a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})^c \quad (\text{Chapman-Richards}) \quad (3)$$

$$\bullet y = t^c / (b + (t^c/a)) \quad (\text{Hossfeld IV}) \quad (4)$$

pri čemu je:

y = zavisna varijabla;                      a,b,c = parametri funkcije  
 e = baza prirodnog logaritama;        t = starost sastojine

Validacija vrijednosti modela te njihova međusobna usporedba napravljena je pomoću koeficijenta determinacije ( $R^2$ ), prosječne vrijednosti odstupanja ( $\bar{e}$ ), prosječne apsolutne vrijednosti odstupanja ( $|\bar{e}|$ ) i korijena prosjeka kvadratnih odstupanja (RMSE), kao mjera točnosti izrađenih modela razvoja temeljnice.

Odabrani model razvoja sastojinske temeljnice dobiven u prvoj razini istraživanja grafički je uspoređen s razvojem temeljnice u PPT-ma domaćih autora. Usporedba je napravljena sa Špirančevim PPT-ma za čiste sastojine hrasta lužnjaka I boniteta (Špiranec 1975), s Meštrovićevim PPT-ma za mješovite sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba I boniteta iz 1989. godine (Meštrović i Fabijanić 1995) te s PPT-ma za mješovite sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba ekološko-gospodarskog tipa (EGT-a) II-G-10 (Bezák i dr. 1989).

## REZULTATI I RASPRAVA

### RESULTS AND DISCUSSION

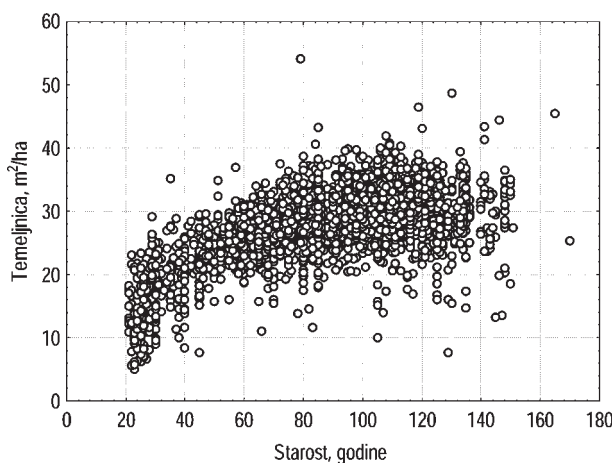
U Tablici 1. prikazana je struktura broja i površine odsjeka dizajniranog uzorka za istraživanje u prvoj razini ovog rada.

Tablica 1. Struktura broja i površine odabranih odjela/odsjeka (n = 5060)  
 po bonitetnim razredima

Table 1. Structure of the number and area of stands/subcompartments in the sample (n = 5,060)  
 by site classes

Bonitetni razred	Broj odsjeka	Udio u uk. broju odsjeka	Površina odsjeka					st. dev.
	n	%	prosjeak	medijan	ukupno	min.	max.	
I.	3453	68	15,66	12,56	54078,35	3,00	86,75	11,37
II.	1403	28	14,13	11,01	19823,05	3,01	64,10	10,27
III.	204	4	10,04	7,79	2047,36	3,04	56,15	7,76
<b>Ukupno</b>	<b>5060</b>	<b>100</b>	<b>15,01</b>	<b>11,02</b>	<b>75948,76</b>	<b>3,00</b>	<b>86,75</b>	<b>11,02</b>

Iz tablice je vidljivo da se najveći broj odsjeka (68 %) ukupne površine 71 % svih gospodarskih lužnjakovo-grabovih sastojina u Republici Hrvatskoj nalazi na I bonitetu. Na II bonitetu nalazi se 28 % odsjeka ukupne površine 26 % uzorka, dok sastojine na III bonitetu obuhvaćaju 4 % ukupnog broja odsjeka, a površinska im je zastupljenost 3 %. Sličan odnos bonitetnih razreda na manjem prostoru (GJ Opeke) dobio je Teslak (2010) analizirajući površine uređajnih razreda hrasta lužnjaka, gdje sastojine I boniteta zauzimaju 72 % površine, a sastojine II boniteta 20 % površine.



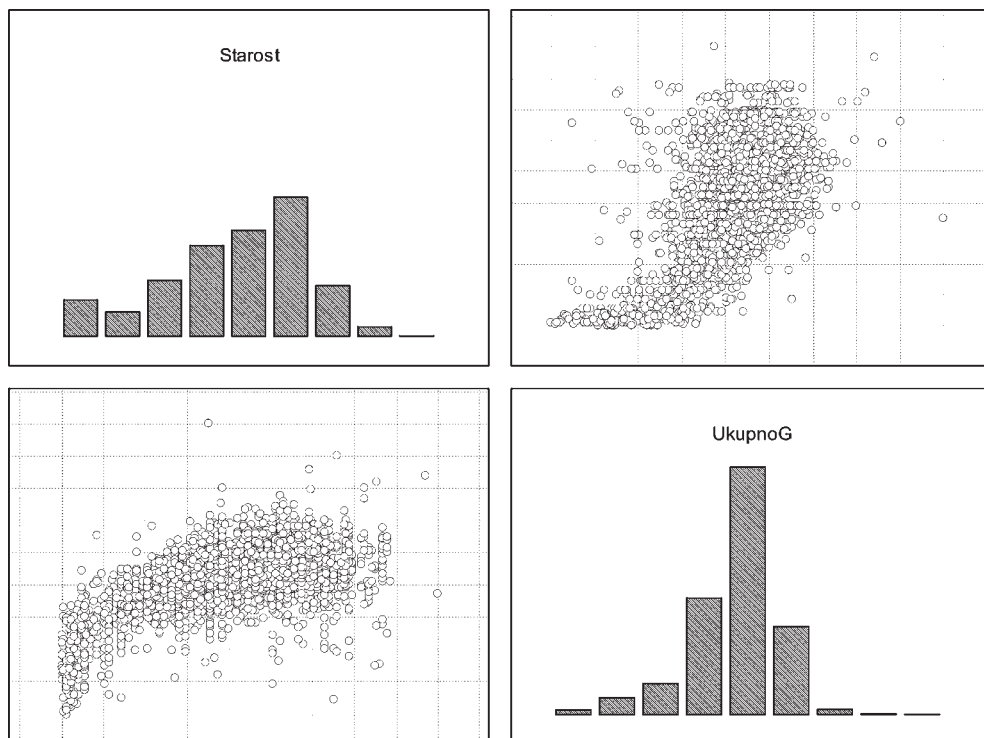
Slika 3. Ovisnost ukupne temeljnice po hektaru sastojina I boniteta o starosti sastojine  
 Figure 3. Total stand basal area of stands on first site class vs. stand age

Činjenicu da se najveći dio naših gospodarski najvažnijih i najkvalitetnijih sastojina ipak nalazi na I bonitetu zahvaljujemo dugogodišnjoj intenzivnoj suradnji znanosti i prakse. Temelj tome dali su domaći stručnjaci rezultatima istraživanja strukture i strukturnih elemenata ovih sastojina te šumari praktičari, koji su prihvatili rezultate tih istraživanja i u velikoj mjeri provodili ih u praksi (Novotny 2012).

Razvoj stvarnih vrijednosti G/ha kroz vrijeme sastojina I boniteta uzorka iz HS fonda prikazan na Slici 3. zorno opisuje kretanje prosječnih vrijednosti promatranog elementa strukture po dobnim razredima.

Čavlović (1996) te Salo i Tahvonon (2002) u svojim istraživanjima naglašavaju kako poznavanje dobne strukture predstavlja temelj za donošenje pravilnih i kvalitetnih odluka u planiranju budućega gospodarenja šumama.

Analizom prezentiranih podataka na Slici 3. uočava se raznolikost strukture kroz značajnu varijacijsku širinu vrijednosti podataka sastojinske temeljnice tijekom njezina razvoja. Krejči (1988) je u svojim istraživanjima, analizirajući strukturu lužnjakovih sastojina, ustanovio kako struktura tih sastojina nije konstantna tijekom cijelog razvojnog razdoblja te da se povećanjem starosti sastojine i premještanjem stabala iz nižih u više debljinske stupnjeve povećava i varijacijska širina vrijednosti podataka promatranog elementa strukture sastojine.



Slika 4. Korelacija ukupne temeljnice po hektaru i starosti sastojina I bonitetnog razreda  
*Figure 4. Correlation of the total stand basal area per hectare and stand age for stands on first site class*

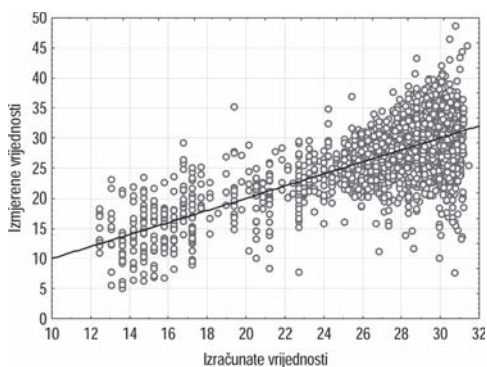
Budući da su na dizajniranom uzorku, i po broju odjela/odsjeka i površinski, najzastupljenije sastojine I bonitetnog razreda, modeliranje G/ha odabranim standardnim krivuljama rasta provedeno je na uzorku sastojina I bonitetnog razreda. Prije samog modeliranja napravljena je korelacijska analiza odabrane varijable i starosti kako bi se ustanovila svrhovitost njezina modeliranja. Korelacija G/ha i starosti sastojina I bonitetnog razreda prikazana je na Slici 4., a deskriptivna statistika i koeficijenti korelacije G/ha i starosti sastojine istog uzorka prikazani su u Tablici 2.

Iako korelacija G/ha sa starošću promatrana kroz veličinu koeficijenta korelacije od 0,63 (Tablica 2.) opravdava pokušaj modeliranja funkcijama rasta, pogotovo zato što je iz grafičkog prikaza vidljiva nelinearna priroda povezanosti dviju varijabla, iz napravljene analize (Slika 4.) vidljivo je da se G/ha kao zavisna varijabla vrlo teško može opisati pomoću samo jedne nezavisne varijable.

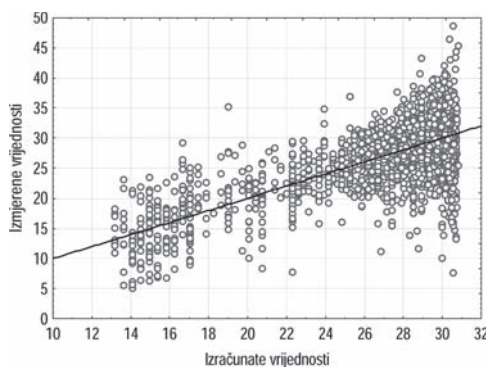
U tablicama 3.-6. prikazani su procijenjeni parametri modela, njihove standardne pogreške te njihove *t* i *p* vrijednosti, kao i raspon vrijednosti procijenjenih parametara za interval pouzdanosti 95 %, dobiveni modeliranjem G/ha odabranim funkcijama rasta.

Tablica 2. Deskriptivna statistika i koeficijenti korelacije ukupne temeljnice po hektaru i starosti sastojina I bonitetnog razreda  
 Table 2. Descriptive statistics and correlation coefficients of the total stand basal area per hectare and stand age for stands on first site class

Varijable	prosjeak	st. dev.	min.	max.	Koeffieient korelacije	
					Starost	Ukupno G
					r	
Starost	90	28,48	21	170	1,00	0,63
Ukupno G	28,00	5,42	5,04	54,11	0,63	1,00



Slika 5. Odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti ukupne G/ha sastojina I boniteta - Levaković III  
 Figure 5. Measured vs. observed values of the total stand basal area for stands on first site class and Levaković III growth equation



Slika 6. Odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti ukupne G/ha sastojina I boniteta - Gompertz  
 Figure 6. Measured vs. observed values of the total stand basal area for stands on first site class and Gompertz growth equation



Na slikama 5.-8. vidljivi su odnosi izračunatih i izmjerenih vrijednosti temeljnica svih modela, a na Slici 9. zajednički su prikazani položaji funkcija (modela izjednačenja) u uzorku stvarnih podataka.

Tablica 3. Model izjednačenja ukupne temeljnice po hektaru za sastojine I boniteta - Levaković III

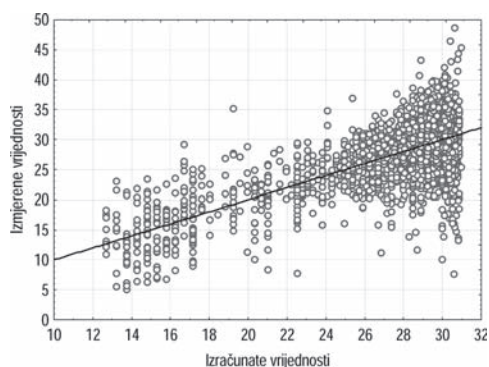
Table 3. Model of total stand basal area per hectare for stands on first site class based on Levaković III growth equation

Model Levaković III: Ukupno $G = a \cdot (t^2 / (b + t^2))^c$						
Interval pouzdanosti = 95,0%						
Parametri	Procjena parametara	Standardna pogreška	t-value df=505	p-level	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a	32,52	0,22	150,59	< 0,001	32,10	32,95
b	1505,74	280,45	5,37	< 0,001	955,88	2055,59
c	0,65	0,08	8,60	< 0,001	0,50	0,79

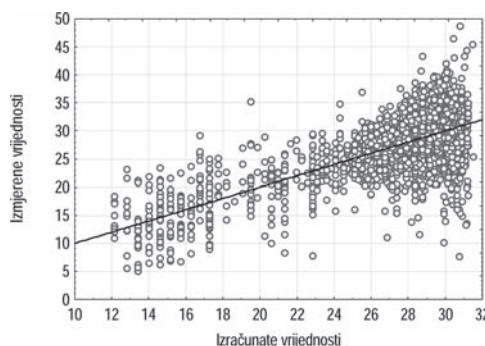
Tablica 4. Model izjednačenja ukupne temeljnice po hektaru za sastojine I boniteta - Gompertz

Table 4. Model of total stand basal area per hectare for stands on first site class based on Gompertz growth equation

Model Gompertz: Ukupno $G = a \cdot \exp(-b \cdot \exp(-c \cdot t))$						
Interval pouzdanosti = 95,0%						
Parametri	Procjena parametara	Standardna pogreška	t-value df=505	p-level	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a	30,89	0,15	203,83	< 0,001	30,59	31,19
b	1,98	0,10	19,74	< 0,001	1,78	2,18
c	0,04	0,00	26,29	< 0,001	0,04	0,04



Slika 7. Odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti ukupne G/ha sastojina I bon. - Chapman-Richards  
Figure 7. Measured vs. observed values of the total stand basal area for stands on first site class and Chapman-Richards growth equation



Slika 8. Odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti ukupne G/ha sastojina I boniteta - Hossfeld IV  
Figure 8. Measured vs. observed values of the total stand basal area for stands on first site class and Hossfeld IV growth equation

Tablica 5. Model izjednačenja ukupne temeljnice po hektaru za sastojine I boniteta – Chapman-Richards

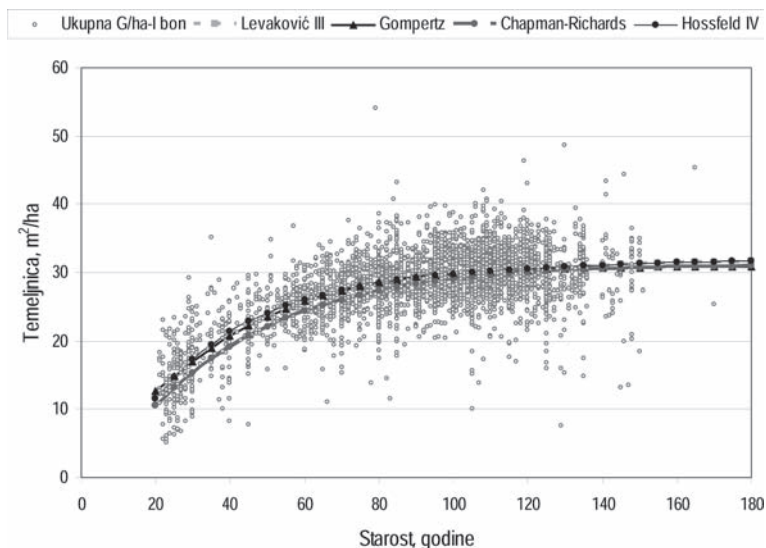
Table 5. Model of total stand basal area per hectare for stands on first site class based on Chapman-Richards growth equation

Model Chapman-Richards: Ukupno $G = a*(1-Exp(-b*t))^c$						
Interval pouzdanosti = 95,0%						
Parametri	Procjena parametara	Standardna pogreška	t-value df=505	p-level	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a	31,11	0,19	167,90	< 0,001	30,74	31,47
b	0,03	0,00	19,20	< 0,001	0,03	0,04
c	1,35	0,09	14,47	< 0,001	1,17	1,54

Tablica 6. Model izjednačenja ukupne temeljnice po hektaru za sastojine I boniteta – Hossfeld IV

Table 6. Model of total stand basal area per hectare for stands on first site class based on Hossfeld IV growth equation

Model Hossfeld IV: Ukupno $G = t^c/(b+(t^c/a))$						
Interval pouzdanosti = 95,0%						
Parametri	Procjena parametara	Standardna pogreška	t-value df=505	p-level	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a	32,84	0,08	22,19	< 0,001	1,62	1,94
b	11,63	3,17	3,67	< 0,001	5,41	17,85
c	1,78	0,37	89,41	< 0,001	32,12	33,56



Slika 9. Modeli izjednačenja ukupne temeljnice po hektaru odabranim funkcijama rasta na uzorku gospodarskih sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba I boniteta u Republici Hrvatskoj

Figure 9. Four models of the total stand basal area per hectare based on selected growth equations plotted over the used sample of managed forest stands of pedunculate oak and common hornbeam on first site class in the Republic of Croatia

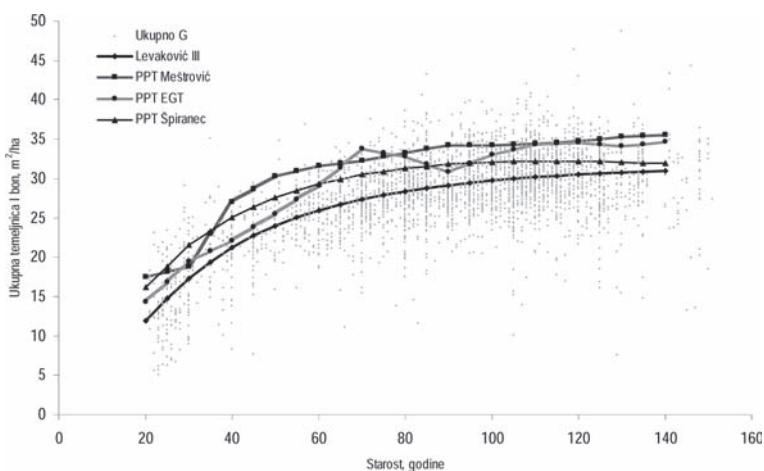
Tablica 7. Validacija modela razvoja ukupne temeljnice po hektaru sastojina I boniteta  
 Table 7. Model validation parameters for the developed models of the total stand basal area  
 of the stands on first site class

Funkcija rasta	Ukupna temeljnica po hektaru			
	$R^2$	$\bar{\epsilon}$	$ \bar{\epsilon} $	RSME
Levaković III	0,5098	0,0002	2,8512	3,7988
Gompertz	0,5110	-0,0002	2,8502	3,7941
Chapman-Richards	0,5110	0,0003	2,8492	3,7944
Hossfeld IV	0,5095	0,0014	2,8523	3,8002

Vrijednosti koeficijenta determinacije ( $R^2$ ), prosječne vrijednosti odstupanja ( $\bar{\epsilon}$ ), prosječne apsolutne vrijednosti odstupanja ( $|\bar{\epsilon}|$ ) te korijen prosjeka kvadratnih odstupanja (RMSE) u ovom slučaju predstavljaju mjere točnosti modela, a prikazane su u Tablici 7.

Uspoređujući rezultate modeliranja razvoja sastojinske temeljnice prikazane na slikama 5.-9. i u Tablici 7., vidljivo je da sve četiri funkcije daju vrlo slične rezultate. Zbog sličnosti rezultata svih funkcija rasta za najbolju je odabrana funkcija rasta Levaković III. Razlog tomu leži u činjenici da je Levaković, kao domaći autor, svoja istraživanja na osnovi kojih je konstruirao odabranu funkciju rasta provodio u sastojinama hrasta lužnjaka u Republici Hrvatskoj.

Na Slici 10. prikazana je grafička usporedba razvoja vrijednosti sastojinske temeljnice u PPT-ma domaćih autora i funkcije rasta Levaković III odabrane u prvoj razini istraživanja, kao model koji najbolje opisuje razvoj sastojinske temeljnice na odabranom uzorku.



Slika 10. Usporedba razvoja G/ha funkcije Levaković III s razvojem G/ha u PPT-ma domaćih autora na uzorku sastojina I boniteta

Figure 10. Comparison of the stand basal area development over stand age for the model based on Levaković III growth equation and the development of total stand basal area development tabulated in domestic growth and yield tables plotted over the sample forest stand on first site class

Iz ovih usporedbi vidljivo je da se vrijednosti svih PPT-a nalaze u gornjem dijelu oblaka podataka dizajniranog uzorka. Iako imaju sličan trend razvoja, vrijednosti Meštrovićevih PPT-a više su od vrijednosti Špirančevih PPT-a. Razlog tome možemo pripisati činjenici da su Meštrovićeve PPT-e konstruirane za mješovite, a Špirančeve PPT-e za čiste lužnjakove sastojine. Vrijednosti ukupne temeljnice PPT-a po EGT-u do 60-te godine starosti nešto su niže od Meštrovićevih i Špirančevih PPT-a, a od 70-te godine starosti pa do kraja ophodnje te se vrijednosti približavaju vrijednostima Meštrovićevih PPT-a. Iznimka je 90-ta godina starosti kada prema PPT-a po EGT-u završava prva ophodnja i počinje druga ophodnja običnoga graba te se vrijednost ukupne temeljnice spušta nešto ispod vrijednosti ukupne temeljnice Špirančevih PPT-a. Vrijednosti razvoja G/ha prikazane funkcijom rasta Levaković III niže su od vrijednosti razvoja G/ha svih PPT-a domaćih autora. Od početka do kraja ophodnje one prolaze sredinom oblaka podataka te predstavljaju model izjednačenja odabranog uzorka, izabran u prvoy razini istraživanja.

## ZAKLJUČCI

### CONCLUSIONS

Razvoj G/ha istraživanih sastojina karakterizira velika raznolikost očitovana znatnom varijacijskom širinom vrijednosti ukupne temeljnice tijekom njezina razvoja. To pokazuje kako u mješovitim sastojinama ne postoji konačni razvojni stadij kao trajni nepromjenjivi oblik te da se na smjer razvoja i vrijednosti temeljnice kroz vrijeme dok priroda traži najprihvatljivije smjerove svojeg razvoja direktno može utjecati brojem i intenzitetom gospodarskih zahvata u sastojinama na osnovi informacija o stanju strukture tih sastojina.

Rezultati korelacijske analize pokazali su kako se G/ha kao zavisna varijabla na uzorku gospodarskih sastojina vrlo teško može opisati pomoću samo jedne nezavisne varijable iako veličina Pearsonova koeficijenta opravdava pokušaj modeliranja odabranim funkcijama rasta.

Analizom rezultata svih dobivenih modela G/ha na razini uzorka gospodarskih sastojina I boniteta može se zaključiti kako nisu ustanovljene značajne razlike između modela četiriju odabranih funkcija rasta (Levaković III, Gompertz, Chapman-Richards i Hossfeld IV).

Budući da je razvoj G/ha mješovitih sastojina, kao i razvoj strukture tih sastojina u cjelini, vrlo kompleksan i dinamičan te predstavlja funkciju dimenzija stabala, vitaliteta stabala, međuvrsne i unutarvrsne konkurencije stabala te produktivnosti staništa, modeliranje razvoja G/ha na razini sastojine standardnim funkcijama rasta zbog vrlo malo informacija koje opisuju dinamiku razvoja promatranog elementa strukture previše je statično i jednostavno.

Kada znamo da su i PPT-e (normale) domaćih autora, koje u praksi predstavljaju vrijednost kojoj gospodarenjem našim sastojinama težimo, ustvari nelinearne funkcije rasta konstruirane pomoću samo jednog elementa strukture te da uspoređivanjem stvarne i normalne temeljnice određujemo obrast i utvrđujemo norma-

litet sastojine, koji predstavljaju ulazne podatke za planiranje gospodarskih zahvata, postavlja se pitanje uvjeta upotrebe postojećih PPT-a kao i konstrukcije novih, lokalnih PPT-a pomicanjem modeliranja svakog pojedinog strukturnog elementa s razine sastojine na razinu stabla pomoću većeg broja nezavisnih varijabli.

## LITERATURA

### REFERENCES

- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford, 506 pp.
- Baričević, D. 1999. Ekološko-vegetacijske promjene u šumama hrasta lužnjaka na području G. J. "Žutica". Šumar. list CXXIII(1-2):17-28.
- Bezjak, K., Cestar, D., Hren, V., Kovačević, Z., Martinović, J., Pelcer, Z. 1989. Uputstvo za izradu karte ekološko-gospodarskih tipova brdskog i nizinskog područja (II) SR Hrvatske. Rad.-Šumar. inst. Jastrebar. 79: 1-119.
- Čavlović, J. 1996. Sustavna dinamika u planiranju gospodarenja regularnim šumama na području Uprave šuma Zagreb. Glas. šum pokuse 33: 109-152.
- Dekanić, I. 1991. Utjecaj strukture na njegu sastojina proredom u šumi lužnjaka i običnog graba (*Quercus roboris-Carpinetum illyricum* Anić). Vinkovci: HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci, 153 str.
- Krejčić, V. 1988. Prirast širina krošanja hrasta lužnjaka u zajednici hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom na području Hrvatske. Rad.-Šumar. inst. Jastrebar. 77: 1-36.
- Križanec, R. 2000. Zašto obrast kao jedinstveni posvudašnje rasprostranjeni uređajni pokazatelj određujemo primjenom dvaju različitih taksacijskih elemenata. Šumar. list 9-10: 573–580.
- Novotny, V. 2012. Model razvoja temeljnice u sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić 1959 ex Rauš 1969). Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 202 str.
- Novotny, V., Dekanić, S., Božić, M., Jazbec, A., Dubravac, T., Durbešić, A. 2013. Current state and the structural analysis of the mixed even-aged pedunculate oak and common hornbeam forests in Croatia. Periodicum Biologorum 115: 409-420.
- Matić, S. 2010. Gospodarenje šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima. U: S. Matić i I. Anić (ur.), Zbornik radova sa znanstvenog skupa šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima, str. 1-22.
- Meštrović, Š., Fabijanić, G. 1995. Priručnik za uređivanje šuma, Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva/Hrvatske šume, Zagreb. 381 str.
- Pranjić, A., Lukić, N. 1997. Izmjera šuma. Zagreb: Šumarski fakultet, 405 str.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics growth and yield. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 664 pp.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Bielak, K. 2013. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. Forest Ecology and Management. (u tisku, doi:10.1016/j.foreco.2013.07.050)
- Prpić, B. 1996. Propadanje šuma hrasta lužnjaka. U: D. Klepac (ur.) Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci-Zagreb: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti - Centar za znanstveni rad Vinkovci i "Hrvatske šume" d.o.o., str. 273-298.
- Rauš, Đ. 1996: Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Šumske zajednice i sinekološki uvjeti hrasta lužnjaka. HAZU-JP HŠ, Vinkovci-Zagreb, str. 27-54.
- Salo, S., Tahvonen, O. 2002. On the optimality of a normal forest with multiple land classes. Forest Science 48(3): 530-542.
- Špiranec, M. 1975. Prirasno prihodne tablice. Rad.-Šumar. inst. Jastrebar. 25, 103 str.

- Teslak, K. 2010: Utjecaj strukturnih i prostorno-vremenskih odrednica na planiranje gospodarenja šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 212 str.
- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests. CAB international, Wallingford, UK, 312 pp.
- Vukelić, J., Rauš, Đ. 1998. Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet Zagreb, 310 str.
- Woods, A., Coates, D.K., 2013. Are biotic disturbance agents challenging basic tenets of growth and yield and sustainable forest management? *Forestry* 86(5):543-554.

## MODELING OF THE STAND BASAL AREA WITH STANDARD GROWTH EQUATIONS?

### SUMMARY

*Stand basal area is one of the fundamental stand structural elements. In this contribution we present growth models of the stand basal area in mixed pedunculate oak and common hornbeam forests developed with four standard growth functions. These functions prevail in practical use in forestry, and they describe development of basal area with only one independent variable: stand age.*

*Research was conducted through two work stages:*

- Development of the stand basal area models based on data from managed forest stands.*
- Comparison of the stand basal area development with values tabulated in growth and yield tables.*

*For the first phase of the research, we utilized the sample of 5,060 stands, or subcompartments of managed oak-hornbeam forests in Republic of Croatia, with total area of 75,948.76 ha. In the second phase we compare development trends of the stand basal area as achieved in the first research phase, with the development of the stand basal area tabulated in the growth and yield tables of domestic authors.*

*Results of the research clearly show high variability of the stand basal area development with stand age, from the beginning to the end of the stand rotation in the mixed oak and hornbeam forests. Four models of the stand basal area development over age obtained in this research are very similar, both in the curve shape as well as in the model values over stand age.*

*It is quite obvious, based on the results of this research, that modeling of the stand basal area development with univariate growth equations oversimplifies the multitude of the basal area growth trajectories that can occur in various forest stands, i.e. this type of models are too static to properly account for the stand basal area variability over stand age.*

**Key words:** *basal area, growth function, pedunculate oak and common hornbeam forest stands, growth and yield tables*