

# Struktura nadzemne drvene biomase obične bukve u različitim sastojinskim uvjetima

---

Stankić, Igor; Marenče, Jurij; Vusić, Dinko; Zečić, Željko; Benković, Zlatko

Source / Izvornik: **Šumarski list, 2014, 138, 439 - 449**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:171628>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-05**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



# STRUKTURA NADZEMNE DRVNE BIOMASE OBIČNE BUKVE U RAZLIČITIM SASTOJINSKIM UVJETIMA

## STRUCTURE OF THE COMMON BEECH ABOVEGROUND TREE BIOMASS IN DIFFERENT STAND CONDITIONS

Igor STANKIĆ<sup>1</sup>, Jurij MARENČE<sup>2</sup>, Dinko VUSIĆ<sup>3</sup>, Željko ZEČIĆ<sup>4</sup>, Zlatko BENKOVIĆ<sup>5</sup>

### SAŽETAK:

Istraživanje o strukturi nadzemne biomase obične bukve provedeno je na tri različite lokacije unutar šumsko-gospodarskog područja Republike Hrvatske, a cilj je bio utvrditi pogodnost uporabe alometrijskih funkcija za izračun biomase obične bukve u različitim sastojinskim uvjetima. Alometrijske funkcije konstruirane su na temelju podataka prikupljenih neposredno in situ destruktivnom metodom. Prema uzgojnom obliku sastojine A i C su visokog uzgojnog oblika, dok je sastojina B panjača. Sastojine A i B su brdske bukove šume kojima se gospodari regularno, a sastojina C je preborna jelovo-bukova šuma. Na svakom lokalitetu posječen je i izmjeren određen broj stabala, pri čemu se posebna pozornost posvetila na reprezentativnost uzorka (prsni promjer) s obzirom na distribuciju doznačenih stabala. Svakom posječenom stablu izmjereni su prsni promjer i visina (duljina). Obujam krupnoga drva promjera >7 cm utvrđen je metodom sekcioniranja. Grane promjera od 3 cm do 7 cm s korom izmjerene su, odnosno sekcionirane kao i krupno drvo, a ostalom dijelu sitne granjevine tanjem od 3 cm određena je masa u svježem stanju. Oblikovanje izračuna biomase triju sastavnica, kao i ukupne nadzemne biomase, izvršeno je prema tri različita modela. Za ocjenu modela korištena su dva parametra, koeficijent determinacije ( $R^2$ ) te drugi korijen prosječne kvadratne pogreške (RMSE). Na osnovi navedenih parametra, za ocjenu modela najbolji model za procjenu svih triju sastavnica te ukupne nadzemne biomase je model 2 – eksponencijalna jednadžba s dvije nezavisne varijable ( $d$ ,  $h$ ) i tri koeficijenta. Od preostala dva ispitivana modela, najbolji se pokazao model 1 i to u 9 slučajeva, što je bilo pomalo neočekivano, jer model 3, koji kao nezavisnu varijablu koristi obujam stabala iz lokalnih tarifa propisanih osnovom gospodarenja, već obuhvaća informacije o promjeru i visini stabala. Najveći prinos biomase očekivano je u sastojinama viših boniteta. Povećanjem prsnog promjera stabla povećava se postotni udio biomase krupnog drva promjera >7 cm u ukupnoj nadzemnoj biomasi stabla, a to povećanje najizrazitije je u regularnoj sastojini II boniteta. Udio biomase granjevine promjera 3–7 cm gotovo je konstantan promjenom prsnog promjera stabla, dok se biomasa treće sastavnice (granjevina <3 cm) u postotnom udjelu smanjuje povećanjem prsnog promjera, što je uočljivije u regularnim sastojinama. Ovdje predloženi modeli mogu predstavljati podlogu za daljnja istraživanja u cilju poboljšanja planiranja procesa proizvodnje te naknadne analize izvršenih

<sup>1</sup> Dr. sc. Igor Stankić, EKONERG – Institut za energetiku i zaštitu okoliša, Koranska 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: igor.stankic@ekonerg.hr

<sup>2</sup> Doc. dr. sc. Jurij Marenče, Biotehniška fakulteta – Univerza v Ljubljani, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija, e-mail: jurij.marence@bf.uni-lj.si

<sup>3</sup> Dr. sc. Dinko Vusić, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: vusic@sumfak.hr

<sup>4</sup> Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zecic@sumfak.hr;

<sup>5</sup> Zlatko Benković, dipl. ing. šum., Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske, Planinska 2A, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zlatko.benkovic@mps.hr

sječa. Poseban potencijal predstavlja sastavnica drvene biomase promjera manjeg od 7 cm, čiji udio u određenim sastojinskim uvjetima može doseći i preko 10 % ukupne nadzemne biomase kod stabala većih prsnih promjera (uključujući i lisnu biomasu), a preko 20 % kod stabala manjih prsnih promjera.

KLJUČNE RIJEČI: Nadzemna biomasa, procjena biomase, alometrijske funkcije, obična bukva

## 1. UVOD

### 1. INTRODUCTION

U Hrvatskoj se pod šumskom drvnom biomasom prikladnom i dostupnom za uporabu najčešće podrazumijeva biomasa nadzemnih dijelova stabala, uključujući deblo i krošnju s lišćem (iglicama), dok panj sa žiljem nije dostupan u prirodnim šumama i na nagnutim terenima (Krpan 1996). U ekološkom pogledu važna je činjenica da je šumska drvena biomasa proizvedena pri gospodarenju šumama po načelu potrajnosti, što ujedno dokazuje da je ista nedvojbeno obnovljiv izvor energije. Od raspoloživih alternativnih izvora energije (voda, sunce, vjetar i dr.) biomasa je jedini održivi izvor temeljen na korištenju ugljika. Kao takva, igra važnu ulogu u emisiji/odlivi stakleničkih plinova, poticanju razvoja domaće industrije te osiguranju i diversifikaciji opskrbe energijom (Čosić i dr. 2011). Od utrošenih energenata u RH 1965. godine na drvenu tvar (drvo za ogrjev i drveni otpad) otpadalo je oko 24,50 %. Od tada se uporaba drva smanjuje ponajviše zbog manjih cijena naftnih derivata i plina na tržištu na svega 3,00 % u 2002. godini (Krpan i dr. 2007). Godine 2010. ogrjevno drvo je u ukupnoj proizvodnji primarne energije sudjelovalo sa 8,73 %, a u ukupnoj potrošnji energije drvo i ostala biomasa sudjelovali su sa 3,90 % (Anon. 2011).

Globalno značenje korištenja šumske biomase je u tome što se ne povećava bilanca ugljika u okolišu (što nije slučaj kod fosilnih goriva). Obveze svih država potpisnica *Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime* (UNFCCC) i *Kyoto protokola* (KP) izvještavanje je o emisijama i odlivima stakleničkih plinova iz tj. u pohraništa (spremnike ugljika). Prema količinama odliva CO<sub>2</sub> najznačajniju ulogu ima sektor LULUCF (*Korištenje zemljišta, promjena u korištenju zemljišta i šumarstvo*). U uputama Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC 2003) propisane su metodologije za utvrđivanje emisija/odliva CO<sub>2</sub> iz ovog sektora. U spomenutom vodiču nalazi se poglavlje koje se u sklopu izračuna emisija/odliva CO<sub>2</sub>, odnosi na utvrđivanje biomase stabala i sastojina na osnovi alometrijskih funkcija za biomasu (en. *biomass equations*, BE); faktora ekspanzije biomase (en. *Biomass expansion factor*, BEF) te faktora konverzije biomase (en. *Biomass conversion factor*, BCF).

Utvrđivanje šumske drvene biomase može se provoditi na 4 načina (GTOS 2009):

- a) *Neposredno In situ destruktivnim metodama* – sječa i izmjera biomase stabala (najtočnija metoda),
- b) *Neposredno In situ nedestruktivnim metodama* – ne uključuju sječu stabala, već samo izmjeru i procjenu biomase stabla u dubećem stanju,
- c) *Posredno metodama daljinskih istraživanja* – povezivanjem refleksije površine iz satelitskih snimaka s količinom biomase određenog područja i
- d) *Posredno modeliranjem* – korištenjem već postojećih modela (jednadžbi) za procjenu biomase.

Najčešće se pomoću alometrijskih funkcija za biomasu iz mjerenih veličina stabla ili sastojine (npr. prsni promjer, visina i dr.) računa obujam ili masa u svježem ili suhom stanju, odnosno pojedine njihove sastavnice (grane, deblo, lišće, korijenje i dr.). Faktor ekspanzije biomase je pak odnos između utvrđene/izmjerene sastavnice i pojedinačnih preostalih sastavnica ili ukupne nadzemne biomase. RS faktor (en. *Root-to-Shoot Ratio*) koristi se za računanje podzemne biomase u cilju dobivanja ukupne biomase iz nadzemne sastavnice biomase.

U izvješćivanju nadležnim tijelima (UN, EC i dr.) moguće je koristiti različite razine izračuna (*Tier 1*, *Tier 2* ili *Tier 3*), s tim što je cilj doseći što više (detaljniju) razinu, pogotovo za ključne kategorije. S tim u vezi pred istraživačima je zadatak donošenja odgovarajućih modela izračuna da bi izvještaji bili što korektniji i točniji.

## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

### 2. PREVIOUS RESEARCH

Nadzemna biomasa stabla predmet je istraživanja i objava većeg broja, kako domaćih (Kajba i dr. 1998, Kajba i dr. 2004, Krpan i dr. 2007, Topić i dr. 2009, Bogdan i dr. 2009, Zečić i dr. 2009, Zečić i dr. 2011) tako i stranih autora (Camp i dr. 2004, Cienciala i dr. 2005, Genet i dr. 2011, Skovsgaard i Nord-Larsen 2012, Vallet i dr. 2006, Wutzler i dr. 2008, Zianis i Mencuccini 2003, Zianis i dr. 2005) tijekom zadnja četiri desetljeća.

Nadzemna je biomasa obične bukve u Republici Hrvatskoj, ali i u susjednim zemljama, najčešće istraživana sa stajališta kakvoće stabala i sastojina, odnosno sortimentne strukture krupnoga drva (Krpan i Prka 2001, Prka 2003a, Prka 2003b, Prka 2006a, Prka 2006b, Krpan i dr. 2006, Prka i Krpan 2007, Prka 2008, Prka i dr. 2009, Prka i Poršinsky 2009, Prka i Krpan 2010, Perković 2010), a istraživanja količine i strukture ukupne nadzemne biomase obične bukve u našim šumama do sada su bila rijetkost (Lukić i Kružić 1996).

Za oblikovanje alometrijskih funkcija za biomasu u prijašnjim objavama korišteni su linearni i nelinearni modeli zasnovani na metodi najmanjih kvadratnih odstupanja. Nelinearni modeli imaju manju pogrešku i bolju povezanost varijabli. Vjerodostojnost modela ovisna je o nezavisnim varijablama i njihovom broju. Najveću povezanost biomasa stabla ima s prsnim promjerom. Uključivanjem dodatnih varijabli (visina stabla, lisna površina, visina debla i dr.), povećava se točnost alometrijskih funkcija za biomasu (Wang 2006). Pri uzorkovanju materijala i izradi alometrijskih funkcija za biomasu vrlo je često prisutna narušena normalna distribucija varijabli samog uzorka, te se pojavljuje situacija da pogreška varijance nije približno jednoliko raspoređena unutar razmatranih slučajeva, što se naziva heteroskedastičnost (Menéndez-Miguélez i dr. 2013). Ove pojave se u određenoj mjeri mogu ublažiti vaganom regresijom (González-García i dr. 2013) i logaritamskom transformacijom zavisnih, odnosno nezavisnih varijabli. Točnost se tako dobivenih modela tek ponekad neznatno povećava, a dodatno otežava obradu i analizu podataka.

Cilj ovoga rada je utvrditi pogodnost uporabe alometrijskih funkcija za izračun biomase obične bukve u različitim sastojinskim uvjetima, konstruiranih na temelju ulaznih podataka prikupljenih *neposredno in situ destruktivnom metodom*.

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3. MATERIAL AND METHODS

Areal obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) proteže se diljem Europe, a posebno mjesto zauzima u njezinom središnjem dijelu. Struktura današnjih bukovih šuma uvjetovana je dinamikom, klimatskim i antropogenim čimbenicima, što je za razliku od preostalih dijelova Svijeta posebno izraženo upravo u Europi (Peters 1997). Prema podacima važeće Šumskogospodarske osnove područja Republike Hrvatske (Anon. 2006), drvena zaliha obične bukve je 143.134.000 m<sup>3</sup>, od čega 124.429.000 m<sup>3</sup> u državnim, a 18.916.000 m<sup>3</sup> u šumoposjedničkim šumama. Obična bukva je najzastupljenija vrsta drveća u Republici Hrvatskoj s udjelom od 36 % u drvnoj zalihi. Ostvareni etat obične bukve iz državnih šuma kojima gospodare "Hrvatske šume" d.o.o. iznosio je u 2012. godini 2.186.912 m<sup>3</sup>, što je 38,71 % realiziranog etata (Anon. 2013). Obična bukva pridolazi u različitim stanišnim uvjetima, a njome se gospodari i regu-

larno i preborno. Sve navedeno govori u prilog iznimnog značaja ove vrste sa stajališta pridobivanja drva, ali i promjena klimatskih uvjeta upravo zbog smanjenja emisije stakleničkih plinova pohranjivanjem/odlivom ugljika iz atmosfere (Donlan i dr. 2012).

Ovo istraživanje provedeno je na tri različite lokacije (u tri odsjeka različitih gospodarskih jedinica) unutar šumsko-gospodarskog područja Republike Hrvatske (Slika 1). Lokacija A je sječina u odsjeku 94 A, gospodarske jedinice "Zapadni Papuk Zvečevački", lokacija B sječina odsjeka 72 A gospodarske jedinice "Javorov vrh – Stubica", dok je lokacija C sječina u odsjeku 97 A gospodarske jedinice "Jadovno – Jazbine". Značajke pojedinih sastojina prikazane su u tablicama 1 i 2.

**Tablica 1.** Značajke istraživanih lokaliteta

**Table 1** Characteristics of the investigated sites

| Lokacija<br>Site                     | A        | B       | C         |
|--------------------------------------|----------|---------|-----------|
| Odjel<br>Compartment                 | 94       | 72      | 79        |
| Odsjek<br>Sub-compartment            | A        | A       | A         |
| Uprava šuma<br>Forest administration | Požega   | Gospić  | Gospić    |
| Šumarija<br>Forest office            | Kamenska | Brinje  | Gospić    |
| Površina, ha<br>Area, ha             | 37,77    | 56,47   | 45,76     |
| Starost, godine<br>Age, years        | 100      | 72      | –         |
| Nagib, %<br>Inclination, %           | 0–45     | 5–30    | 0–30      |
| Nadmorska visina, m<br>Altitude, m   | 320–400  | 510–665 | 1000–1160 |

Prema uzgojnom obliku sastojine A i C su visokog uzgojnog oblika, dok je sastojina B panjača. Sastojine A i B su brdske bukove šume s mrtvom koprivom (*Lamio orvale – Fagetum sylvaticae* Ht. 1938.) kojima se gospodari regularno, a C je preborna dinarska jelovo-bukova šuma (*Omphalodo – Fagetum* Marinček i dr. 1992). U sastojini A provodila se oplodna sječa (redoviti glavni prihod, pripremi sijek), u sastojini B proreda (redoviti prethodni prihod), a u C preborna sječa (redoviti glavni prihod). Osnovom gospodarenja utvrđen je II. bonitet staništa za sastojinu na lokalitetu A, III. za sastojinu na lokalitetu B, odnosno III–IV. za sastojinu na lokalitetu C.

Razmatrajući omjer smjese (Slika 2), obična bukva je prevladavajuća vrsta drveća na sva tri lokaliteta. Prema udjelu u drvnoj zalihi, najviše je zastupljena u sastojini A (86 %), nešto manje u sastojini B (75 %), a najmanje u prebornoj sastojini C (56 %).

**Tablica 2.** Sastojinske značajke istraživanih lokaliteta**Table 2** Stand characteristics of the investigated sites

| Lokacija<br>Site  | A   |   |   |                               |                               | B   |   |  | C   |                               |  |
|---|---|---|---|-------------------------------|-------------------------------|---|---|--|---|-------------------------------|--|
| Vrsta drveća<br>Tree species  | Hrast kitnjak<br><i>Quercus petraea</i><br>(Matt.) Liebl. | Obična bukva<br><i>Fagus sylvatica</i> L. | Obični grab<br><i>Carpinus betulus</i> L. | OTB<br>Other hard broadleaves | OMB<br>Other soft broadleaves | Obična bukva<br><i>Fagus sylvatica</i> L. | Obični grab<br><i>Carpinus betulus</i> L. | Obična breza<br><i>Betula pendula</i> Roth | Obična bukva<br><i>Fagus sylvatica</i> L. | OTB<br>Other hard broadleaves | Obična jela<br><i>Abies alba</i> Mill. |
| Broj stabala, N/ha<br>Number of trees, N/ha                                   | 8   | 191                                       | 61  | 8                             | 2                             | 539                                       | 154                                       | 166  | 255                                       | 34                            | 121                                    |
| Temeljnica, m <sup>2</sup> /ha<br>Basal area, m <sup>2</sup> /ha              | 0,7   | 15,99                                     | 1,99                                      | 0,42                          | 0,1                           | 19,86                                     | 3,1                                       | 4,62                                       | 15,35                                     | 1,21                          | 10,6                                   |
| Srednji prsni promjer, cm<br>Average DBH, cm                                  | 34  | 33  | 20  | 26                            | 25                            | 22  | 16  | 19   | 28  | 21                            | 33                                     |
| Visina, m<br>Height, m  | 25  | 25  | 19  | 22                            | 21                            | 20  | 15  | 19   | 20  | 18                            | 21                                     |
| Drvena zaliha, m <sup>3</sup> /ha<br>Standing wood volume, m <sup>3</sup> /ha | 9,27  | 204,79                                    | 18,64                                     | 4,37                          | 0,82                          | 192,79                                    | 22,54                                     | 41,60                                      | 151,49                                    | 4,61                          | 115,03                                 |

**Slika 1.** Mjesta istraživanja**Figure 1** Research sites

Na svakom lokalitetu posječen je i izmjeren određen broj stabala; u sječini A 15, u sječini B 14, a u sječini C 17 modelnih stabala. Pri tome se obratila pozornost na reprezentativnost uzorka (prsni promjer) s obzirom na distribuciju doznačenih stabala. Odnosno, uzorkovanje je provedeno na način da se izmjera izvrši na stablima koja se svojim prsnim promjerom nalaze unutar raspona doznake. Svakome posječenom stablu je izmjeren prsni promjer i visina (duljina). Obujam krupnoga drva >7 cm utvrđen je metodom sekcioniranja (Pranjić i Lukić 1997). Osnovna ideja ove metode je da se obujam stabla podijeli na sekcije određenih duljina (1–3 m) kojima se onda mjeri promjer na sredini duljine, te se obujam svake sekcije računa Huberovom formulom, odnosno poistovjećuje s obujmom geometrijskog tijela valjka. Grane promjera od 3 cm do 7 cm s korom su izmjerene, odnosno sekcionirane kao i krupno drvo, a ostalom dijelu sitne granjevine tanjem od 3 cm, određena je masa u svježem stanju. U sječinama A i B istraživanje je provedeno tijekom mirovanja vegetacije, a u sječini C istraživanje je provedeno u vegetacijskom periodu. Stoga je u

**Slika 2.** Omjer smjese (postotni udio drvene zalihe) po vrstama drveća**Figure 2** Share in standing wood volume per tree species



količini biomase sitne granjevine promjera <3 cm uključena i lisna biomasa.

Pri terenskim mjerenjima na svakom stablu je izvršeno uzorkovanje drva promjera većeg od 7 cm s korom, zatim sitne granjevine od 3 cm do 7 cm s korom te sitne granjevine <3 cm. Uzorci krupnog drva i sitne granjevine promjera >3 cm bili su kolotovi i njihove dimenzije i masa mjereni su neposredno nakon sječe stabala, pretpostavljajući njihov obujam oblikom valjka. Uzorci sitne granjevine <3 cm izuzeti su i određena im je masa. Laboratorijske analize provedene su u Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U svrhu utvrđivanja nadzemne biomase (standardno suhe mase fitotvari) stabla i pojedinih sastavnica gravimetrijskom metodom utvrđen je udio vlage u drvetu, kao i nominalna gustoća za krupno drvo i granjevinu promjera od 3 do 7 cm, kao i maseni udio vlage za sitnu granjevinu <3 cm.

Prilikom izračuna ukupne količine nadzemne biomase stabla, kao i količina pojedine sastavnice nadzemne biomase korištene su tri alometrijske funkcije (modeli):

$$m = a \cdot d^b \quad (1)$$

$$m = a \cdot d^b \cdot h^c \quad (2)$$

$$m = a \cdot v_r^b \quad (3)$$

pri čemu su:

- $m$  – nadzemna biomasa (masa standardno suhe fitotvari) stabla u kg,
- $d$  – prsni promjer stabla u cm,
- $h$  – visina stabla u m,
- $v_r$  – obujam krupnoga drva stabla iz jednoulaznih tablica u  $m^3$ , te
- $a$ ,  $b$  i  $c$  izračunati koeficijenti jednadžbi.

Za ocjenu modela korištena su dva parametra, koeficijent determinacije ( $R^2$ ) te drugi korijen prosječne kvadratne po-

greške (RMSE). Koeficijent determinacije ukazuje na udio ukupne varijance objašnjene modelom, dok RMSE određuje točnost procjene modela i izražava se u istim jedinicama kao i zavisna varijabla.

## 4. REZULTATI I RASPRAVOM

### 4. RESULTS AND DISCUSSION

Uspoređujući istraživana tri lokaliteta na osnovi podataka uzorkovanih stabala (prsni promjer, visina i ukupna nadzemna biomasa stabala) utvrđena je značajna razlika između njih ( $p < 0,001$ ), što je i za očekivati s obzirom na vrstu prihoda i sastojinske značajke koje prevladavaju na pojedinim lokalitetima. Prosječan prsni promjer uzorka u sječini A bio je 29 cm, u sječini B 26 cm, a u sječini C 34 cm. Visine stabala kretale su se prosječno od 21 m u sječini B, pa do 25 m u sječini A. Prosječna količina nadzemne biomase po stablu na lokaciji A bila je 800,65 kg, na lokaciji B 464,95 kg, a na lokaciji C imala je najveću vrijednost i iznosila je 909,28 kg. Opisna statistika uzoraka detaljnije je prikazana u tablici 3.

Sekcioniranjem je ukupno obuhvaćeno 1117 sekcija, od čega 640 krupnog drva promjera >7 cm, a 477 sekcija granjevine promjera 3–7 cm. Od toga 466 na lokaciji A (231+235), 261 sekcija drva na lokaciji B (154+107), a na lokaciji C 390 sekcija (255+135). Ukupno sekcionirani obujam na sve tri lokacije iznosio je 50,95  $m^3$ , od čega je 17,71  $m^3$  bilo na lokaciji A (>7 cm = 16,73  $m^3$ ; 3–7 cm = 0,98  $m^3$ ), 9,91  $m^3$  na lokaciji B (>7 cm = 9,50  $m^3$ ; 3–7 cm = 0,41  $m^3$ ), a na lokaciji C 23,32  $m^3$  (>7 cm = 22,70  $m^3$ ; 3–7 cm = 0,62  $m^3$ ).

Visinske krivulje konstruirane su izjednačavanjem prikupljenih podataka prsnih promjera i visina eksponencijalnom Mihajlovljevom funkcijom. Bonitet staništa određuje na temelju visinskih krivulja, stoga se može reći da visinske krivulje pružaju uvid u kakvoću pojedinog staništa.



Slika 3. Visinske krivulje uzorkovanih stabala triju lokaliteta

Figure 3 Height curves of sample trees on three sites

Tablica 3. Opisna statistika uzoraka

Table 3 Descriptive statistics of the samples

|   | Prсни промјер, $d$ (cm)<br>DBH, $d$ (cm) | Visina stabla, $h$ (m)<br>Tree height, $h$ (m) | Обујам дрва $> 7$ cm, $V_k$ (m <sup>3</sup> )<br>Wood volume $> 7$ cm, $V_k$ (m <sup>3</sup> ) | Биомаса $> 7$ cm, $m_7$ (kg)<br>Biomass $> 7$ cm, $m_7$ (kg) | Биомаса 3-7 cm, $m_{3,7}$ (kg)<br>Biomass 3-7 cm, $m_{3,7}$ (kg) | Биомаса $< 3$ cm, $m_3$ (kg)<br>Biomass $< 3$ cm, $m_3$ (kg) | Укупна надземна биомаса, $m$ (kg)<br>Total aboveground biomass, $m$ (kg) |
|---|--|--|--|--|--|--|--|
| Lokacija A – Site A                         |  |  |  |  |  |  |  |
| Број стабала<br>Number of trees             | 15                                       |  |  |  |  |  |  |
| Просјечна вриједност<br>Average value       | 28,87                                    | 24,69  | 1,12   | 706,62   | 40,61  | 53,43  | 800,65   |
| Најмања вриједност<br>Minimum value         | 13,00                                    | 16,10  | 0,13   | 79,17  | 1,67   | 10,48  | 94,32  |
| Највећа вриједност<br>Maximum value         | 47,00                                    | 31,50  | 3,65   | 2310,02  | 133,80   | 80,04  | 2523,86  |
| Standardna devijacija<br>Standard deviation | 11,06                                    | 5,21   | 0,98   | 622,84   | 35,91  | 21,49  | 671,73   |
| Lokacija B – Site B                         |  |  |  |  |  |  |  |
| Број стабала<br>Number of trees             | 14                                       |  |  |  |  |  |  |
| Просјечна вриједност<br>Average value       | 26,14                                    | 21,16  | 0,67   | 424,03   | 18,58  | 22,34  | 464,95   |
| Најмања вриједност<br>Minimum value         | 11,00                                    | 14,00  | 0,06   | 40,95  | 3,18   | 5,90   | 56,08  |
| Највећа вриједност<br>Maximum value         | 57,00                                    | 24,00  | 3,13   | 1977,62  | 55,60  | 55,45  | 2088,67  |
| Standardna devijacija<br>Standard deviation | 12,18                                    | 2,81   | 0,77   | 488,73   | 17,93  | 14,46  | 514,25   |
| Lokacija C – Site C                         |  |  |  |  |  |  |  |
| Број стабала<br>Number of trees             | 17                                       |  |  |  |  |  |  |
| Просјечна вриједност<br>Average value       | 34,12                                    | 21,27  | 1,34   | 770,23   | 20,58  | 118,47   | 909,28   |
| Најмања вриједност<br>Minimum value         | 14,00                                    | 11,40  | 0,08   | 44,65  | 1,85   | 8,51   | 55,38  |
| Највећа вриједност<br>Maximum value         | 56,00                                    | 29,50  | 3,72   | 2142,62  | 92,49  | 355,06   | 2392,09  |
| Standardna devijacija<br>Standard deviation | 13,49                                    | 4,67   | 1,12   | 642,57   | 24,07  | 101,80   | 746,41   |

Iz visinskih krivulja konstruiranih na osnovi modelnih stabala uzoraka vidljiva je i razlika među pojedinim lokalitetima, odnosno njihovim bonitetima (Slika 3). Utvrđena je statistička značajnost parametara  $b_0$  i  $b_1$  na sve tri lokacije, a uočava se i (prirodno očekivana) jaka povezanost prsnog promjera i visine stabala ( $R^2$  se kreće od 0,71 pa do 0,91).

Jedan od radova prilikom planiranja proizvodnje drvnih sortimenata je izrada plana sječa. U prvoj razradbi plana sječa povezuju se podaci distribucije prsnih promjera doznačenih stabala s drvnim obujmom iz propisanih jedno-

ulaznih tablica (tarifa), koje su određene za svaku važniju vrstu u odsjeku. Ulazni podatak je prсни промјер, a rezultat ukupna količina krupnog drva promjera  $> 7$  cm. Usporedba izmjerenih vrijednosti obujma krupnog drva na tri lokacije istraživanja i propisanih tarifa za bukvu u istraživanim odsjecima prikazana je na slici 4. Vidljiva su odstupanja u višim debljinskim stupnjevima, posebice na lokacijama A i C, gdje tarife određuju manji obujam drva za više debljinske stupnjeve od onoga koji je izmjeren tijekom ovoga istraživanja.



**Slika 4.** Usporedba izmjerenog obujma krupnog drva > 7 cm i jednoulaznih tablica (tarifa)

**Figure 4** Comparison of the measured wood volume > 7 cm and tariffs



**Slika 5.** Postotni udjeli triju sastavnica biomase stabala na istraženim lokacijama A, B i C modelirani jednadžbom  $m=a \cdot d$

**Figure 5** Shares of the three components of tree biomass on the investigated sites A, B and C modeled by the equation  $m=a \cdot d$



**Slika 6.** Količina biomase stabala po sastavnicama na istraženim lokacijama (A, B i C) modelirana jednadžbom  $m_i=a_i \cdot d_i b_i$

**Figure 6** The amount of biomass per tree components of the investigated locations (A, B and C) modeled by the equation  $m_i=a_i \cdot d_i b_i$

Modeliranje biomase triju sastavnica, kao i ukupne nadzemne biomase po lokacijama, izvršeno je prema jednadžbama 1, 2 i 3. Jednadžba 1 kao ulaz koristi prsni promjer stabla uz dva koeficijenta ( $a$  i  $b$ ), u jednadžbi 2 uvrštena je

i dodatna nezavisna varijabla (visina stabla) u cilju poboljšanja modela i sadrži tri koeficijenta ( $a$ ,  $b$  i  $c$ ). Prilikom planiranja radova pridobivanja drva, u okviru plana sječa na osnovi promjera doznačenih stabala (koji se neposredno



**Tablica 4.** Koeficijenti modela i parametri za njihovu ocjenu**Table 4** The coefficients of the model and parameters for their evaluation

| Lokacija<br>Site | Biomasa<br>Biomass          | Model<br>Model              | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | R <sup>2</sup> | RMSE, kg |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------------|----------|
| A                | <3 cm                       | $m = a \cdot d^b$           | 3,9448   | 0,7804   |          | 0,663          | 12,0608  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 1,3489   | 0,4904   | 0,6345   | 0,674          | 11,8538  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 59,9603  | 0,3048   |          | 0,683          | 11,6920  |
|                  | 3–7 cm                      | $m = a \cdot d^b$           | 0,0038   | 2,6765   |          | 0,854          | 13,2601  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,0155   | 2,8468   | -0,6062  | 0,856          | 13,1738  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 42,4722  | 1,0531   |          | 0,841          | 13,8364  |
|                  | >7 cm                       | $m = a \cdot d^b$           | 0,0255   | 2,9376   |          | 0,965          | 112,0097 |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,3522   | 3,2198   | -1,0915  | 0,974          | 97,1027  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 706,2996 | 1,1726   |          | 0,943          | 143,2260 |
| UKUPNO<br>TOTAL  | $m = a \cdot d^b$           | 0,0592                      | 2,7392   |          | 0,963    | 125,5263       |          |
|                  | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,9574                      | 3,0460   | -1,1655  | 0,972    | 109,4080       |          |
|                  | $m = a \cdot v_t^b$         | 823,3010                    | 1,0866   |          | 0,941    | 158,0182       |          |
| B                | <3 cm                       | $m = a \cdot d^b$           | 0,4288   | 1,2030   |          | 0,737          | 7,1400   |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 20,2192  | 1,4076   | -1,4709  | 0,755          | 6,8896   |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 28,7687  | 0,5313   |          | 0,745          | 7,0402   |
|                  | 3–7 cm                      | $m = a \cdot d^b$           | 0,1338   | 1,4971   |          | 0,626          | 10,5651  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,0002   | 1,1957   | 2,5034   | 0,653          | 10,1832  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 25,0945  | 0,6599   |          | 0,629          | 10,5249  |
|                  | >7 cm                       | $m = a \cdot d^b$           | 0,1467   | 2,3478   |          | 0,987          | 52,7913  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,0028   | 2,1643   | 1,4813   | 0,989          | 47,1477  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 526,0023 | 1,0647   |          | 0,969          | 82,7579  |
| UKUPNO<br>TOTAL  | $m = a \cdot d^b$           | 0,2209                      | 2,2599   |          | 0,987    | 56,8004        |          |
|                  | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,0030                      | 2,0642   | 1,6060   | 0,991    | 47,7687        |          |
|                  | $m = a \cdot v_t^b$         | 584,8660                    | 1,0207   |          | 0,969    | 86,1085        |          |
| C                | <3 cm                       | $m = a \cdot d^b$           | 0,0380   | 2,2303   |          | 0,827          | 41,0581  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,3943   | 3,0944   | -1,7719  | 0,911          | 29,3812  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 111,0270 | 0,8283   |          | 0,827          | 41,1323  |
|                  | 3–7 cm                      | $m = a \cdot d^b$           | 0,1478   | 1,3918   |          | 0,235          | 20,4241  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 17,7076  | 2,5750   | -2,9271  | 0,337          | 19,0093  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 21,5262  | 0,4868   |          | 0,208          | 20,7726  |
|                  | >7 cm                       | $m = a \cdot d^b$           | 0,0855   | 2,5108   |          | 0,992          | 55,5696  |
|                  |                             | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,0605   | 2,4086   | 0,2302   | 0,993          | 50,3360  |
|                  |                             | $m = a \cdot v_t^b$         | 683,7396 | 0,9284   |          | 0,987          | 71,1846  |
| UKUPNO<br>TOTAL  | $m = a \cdot d^b$           | 0,1331                      | 2,4377   |          | 0,992    | 62,8398        |          |
|                  | $m = a \cdot d^b \cdot h^c$ | 0,1546                      | 2,4818   | -0,0998  | 0,993    | 61,6704        |          |
|                  | $m = a \cdot v_t^b$         | 819,1100                    | 0,9013   |          | 0,986    | 86,0311        |          |

mjeri) uz pomoć propisanih tarifa izračunava se i planirani bruto obujam stabla određenog debljinskog stupnja ( $v_t$ ). Iz navedenog razloga (raspoloživost podatka) u jednadžbu 3 kao nezavisna varijabla uključen je i obujam stabla iz jednoulaznih tablica uz još dva koeficijenta *a* i *b*. Za ocjenu dobivenih modela koristili su se koeficijent determinacije i drugi korijen srednje pogreške modela. Koeficijenti dobivenih modela i parametri za njihovu ocjenu prikazani su u tablici 4.

Na osnovi dva parametra za ocjenu modela najbolji model za procjenu svih triju sastavnica te ukupne nadzemne biomase je model 2, dakle eksponencijalna jednadžba s dvije nezavisne varijable (*d*, *h*) i tri koeficijenta. U 11 od 12 ispitivanja ovaj model daje najbolje rezultate. Visoke vrijedno-

sti koeficijenta determinacije za model 2 gotovo su u svim sastavnicama biomase na sva tri područja. Najpouzdaniji modeli su za krupno drvo promjera preko 7 cm, i to na lokalitetu C ( $R^2 = 0,993$  i  $RMSE = 50,3360$  kg), zatim na lokalitetu B ( $R^2 = 0,989$  i  $RSME = 47,1477$  kg), pa tek onda na lokalitetu A ( $R^2 = 0,974$  i  $RSME = 97,1027$  kg). Odstupanja modela od stvarnih podataka ustanovljena su mjestimično i to u dvije kategorije biomase promjera manjeg od 7 cm. Najniža vrijednosti  $R^2$  (0,337), kao i najviše zabilježene vrijednosti  $RSME$ -a su na lokalitetu C za granjevinu promjera 3–7 cm, dok je nešto veća pouzdanost modela na lokalitetu B ( $R^2 = 0,653$ ,  $RSME = 10,1832$  kg). Ova kategorija biomase za promatrani model ima najveću pouzdanost procjene na lokaciji A ( $R^2 = 0,856$ ,  $RSME = 13,1738$  kg).

Bolje se pokazao model za procjenu biomase tanje od tri centimetra, i to najbolji na lokaciji C, zatim na lokaciji B, pa na kraju najslabiji na lokaciji A (za C je  $R^2 = 0,911$  i  $RMSE = 29,3812$  kg, za B je  $R^2 = 0,755$  i  $RMSE = 6,8896$  kg, a za A je  $R^2 = 0,674$  i  $RMSE = 11,8538$  kg). Uspoređujući tri lokacije, modeli za krupno drvo većeg promjera od 7 cm, kao i procjena ukupne biomase daju zadovoljavajuće rezultate uz visoke vrijednosti  $R^2$  i najniže vrijednosti RSME-a. Za biomasu kategorije <3 cm i 3–7 cm, model 2 sveukupno ima nešto slabiju kvalitetu procjene ( $R^2 = 0,596$  i  $R^2 = 0,496$ ).

Iza modela 2, od preostala dva ispitivana modela, najbolji se pokazao model 1 i to u 9 slučajeva. Spomenuto je bilo pomalo neočekivano, jer preostali model 3, koji kao nezavisni parametar koristi obujam stabala izračunat na osnovi lokalnih tarifa propisanih osnovom gospodarenja, već obuhvaća informacije o promjeru i visini stabala. Iz toga razloga se očekivalo da će upravo navedeni model biti bolji od modela 1, ali to nije utvrđeno ovim istraživanjem. Spomenuti model 3 pokazao se bolji u svega 3 slučaja. Navedeno je najvjerojatnije uzrokovano odstupanjem obujma lokalnih tarifa od izmjerenog, posebice u višim debljinskim stupnjevima, a može se obrazložiti na dva načina. Veličina uzoraka stabala na tri radišta nije dovoljno velika, niti su tri radišta dostatna da bi se izvršila provjera točnosti lokalnih tarifa. Uz to, navedeno nije niti bilo predmet ovog istraživanja, pa stoga nije moguće utvrditi značajna odstupanja tarifnih nizova od stvarnog stanja u odsjecima.

Na slici 5 prikazana je distribucija biomase prema debljinskim stupnjevima za sve tri lokacije u postotnom iznosu, a na slici 6 količina biomase po njenim sastavnicama. Vidljiv je značajan udio biomase obje sastavnice biomase promjera <7 cm koje predstavljaju iskoristiv potencijal, jer pri klasičnim tehnologijama pridobivanja drva u Hrvatskoj ostaje na šumskom tlu. U postojećem načinu planiranja i kontrole proizvodnoga procesa taj dio biomase nije obuhvaćen planovima sječa. Iskorištavanje ovih sastavnica biomase moguće je uz određenu prilagodbu kod gotovo svih metoda izradbe drva. U jednodobnim šumama nakon sortimentne ili (polu) deblovne metode izrade drva, neizrađeni dijelovi krošanja mogu biti transportirani do pomoćnog stovarišta, bilo forvarderom ili skiderom. U brdsko-planinskom području nagib je limitirajući čimbenik primjene navedenih sredstava transporta te bi bilo potrebno koristiti šumske vučnice ili žičare za primarni transport. S druge strane, uklanjanje ovih sastavnica biomase promjera <7 cm osiromašuje šumsku prostirku i tlo, a osim toga lisnu biomasu nije poželjno koristiti pri proizvodnji drvne sječke, jer negativno utječe na njenu kakvoću.

Na slici 5 prikazan je postotni udjel, a na slici 6 količine suhe tvari krupnog drva i granjevine odnosno ukupne biomase prema jednadžbi 1. Razlog tomu je što su modeli prema

jednadžbi 2, iako daju najkvalitetnije procjene, teško primjenjivi u šumarskoj operativi. Naime, pri doznaci stabala za sječu ne mjeri se visina svakoga doznačenog stabla, već samo prsni promjer. Ukoliko bi se mjerila visina svakome stablu, vrijeme pripreme i planiranja radova pridobivanja drva uvelike bi se povećalo, što bi uzrokovalo i povećanje troškova.

U domaćoj literaturi ne nalazimo istraživanja slična ovdje provedenom. To ograničava provjeru dobivenih modela te onemogućava usporedbu. S druge strane, u stranoj znanstvenoj literaturi, podjela nadzemne biomase na strukturne dijelove nije strogo definirana općeprihvaćenim standardom. Odnosno, različiti autori u sličnim istraživanjima nadzemnu drvenu biomasu razlučuju na različite načine, a granice (npr. s obzirom na promjer drva) odstupaju od slučaja do slučaja. Ovdje korištene granice od 3 cm, odnosno 7 cm, svoje uporište imaju u *Standardima* koji se koriste u hrvatskoj šumarskoj znanosti i praksi dugi niz godina. Stoga je teorijski moguća usporedba jedino za modele ukupne nadzemne biomase. U tom slučaju pojavljuje se problem što se kakvoća (bonitet) staništa kakav se poznaje u hrvatskom šumarstvu nije izravno usporediv s bonitetom staništa (*en. site index*) koji se koristi u stranoj literaturi. Dakle, za usporedbu modela proisteklih iz ovog istraživanja s obzirom na kakvoću sastojina, prethodno je potrebno definirati bonitet staništa na istovjetan način kao što je to korišteno u stranim objavama. Takav zahvat iziskuje istraživanja u drugoj grani šumarstva (uređivanje šuma), što zbog složenosti nije provedeno tijekom ovog istraživanja.

## 5. ZAKLJUČCI 5. CONCLUSIONS

Istraživanja strukture biomase obične bukve provedeno je u tri po kakvoći i strukturi različite sastojine obične bukve korištenjem neposredne metode izmjere. Biomasa je podijeljena ovisno o promjeru u tri kategorije, >7 cm, od 3 cm do 7 cm, te <3 cm.

Utvrđivanje količina dvaju kategorija nadzemne biomase promjera manjeg od 7 cm posebno je značajno, jer pri tradicionalnom pridobivanju drva ovaj dio šumskog ostatka najčešće ostaje neiskorišten, a prilikom proizvodnje drvne sječke predstavlja iskoristiv potencijal prihoda naših šuma.

Uspoređujući značajke doznačenih i posječena stabla iz triju različitih sječina, očekivano je najveći prinos biomase u sastojinama viših boniteta. Povećanjem prsnog promjera stabla povećava se postotni udio biomase krupnog drva >7 cm u ukupnoj nadzemnoj biomasi stabla, a to povećanje najizrazitije je u regularnoj sastojini II boniteta. Udio biomase granjevine promjera 3–7 cm gotovo je konstantan promjenom prsnog promjera stabla, dok se biomasa treće sastavnice (granjevina <3 cm) u postotnom udjelu smanjuje po-

većanjem prsnog promjera, što je uočljivije u regularnim sastojinama.

Ovdje predloženi modeli mogu predstavljati podlogu za daljnja istraživanja u cilju poboljšanja planiranja procesa proizvodnje te naknadne analize izvršenih sječa. Poseban potencijal predstavlja sastavnica drvene biomase promjera manjeg od 7 cm, čiji udio u određenim sastojinskim uvjetima može doseći i preko 10 % ukupne nadzemne biomase kod stabala većih prsnih promjera (uključujući i lisnu biomasu), a preko 20 % kod stabala manjih prsnih promjera.

## 6. LITERATURA

### 6. REFERENCES

- Anon., 2006: Šumskogospodarska osnova područja RH za razdoblje 2006 – 2015., "Hrvatske šume" d.o.o.
- Anon., 2011: Energija u Hrvatskoj – Godišnji energetski pregled 2010. (Energy in Croatia – Annual energy report 2010). G. Granić i S. Antešević (ur.), Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva Republike Hrvatske, Zagreb, 1–263.
- Anon., 2013: Godišnje izvješće za 2012. godinu. "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb, 1–44.
- Bogdan, S., Šporčić, M., Seletković, A., Ivanković, M., 2009: Biomass production of the common alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in pure plantations and mixed plantations with the willow clones (*Salix* sp.) in Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 30(2): 99–112.
- Camp, N. V., Walle, I. V., Mertens, J., Neve, S. D., Samson, R., Lust, N., Lemeur, R., Boeckx, P., Lootens, P., Beheydt, D., Mestdagh, I., Sleutel, S., Verbeeck, H., Cleemput, O. V., Hofman, G., Carlier, L., 2004: Inventory-based carbon stock of Flemish forests: a comparison of European biomass expansion factors. *Ann. For. Sci.* 61(7): 677–682.
- Cienciala, E., Černý, M., Apltauer, J., Exnerova, Z., 2005: Biomass functions applicable to European beech. *Journal of Forest Science* 51(4): 147–154.
- Ćosić, B., Stanić, Z., Duić, N., 2011: Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia. *Energy* 36: 2017–2028.
- Donlan, J., Skog, K., Byrne, K. A., 2012: Carbon storage in harvested wood products for Ireland 1961–2009. *Biomass and Bioenergy* 46(0): 731–738.
- Genet, A., Wernsdörfer, H., Jonard, M., Pretzsch, H., Rauch, M., Ponette, Q., Nys, C., Legout, A., Ranger, J., Vallet, P., Saint-André, L., 2011: Ontogeny partly explains the apparent heterogeneity of published biomass equations for *Fagus sylvatica* in central Europe. *Forest Ecology and Management* 261(7): 1188–1202.
- González-García, M., Hevia, A., Majada, J., Barrio-Anta, M., 2013: Above-ground biomass estimation at tree and stand level for short rotation plantations of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden in Northwest Spain. *Biomass and Bioenergy* 54(0): 147–157.
- GTOS, 2009: Biomass: assessment report on available methodological standards and guides, ECV Report, GTOS-67. Global Terrestrial Observing System, Rome, 1–18.
- IPCC, 2003: Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Penman, J.; Gytarsky, M.; Hiraishi, T.; Krug, T.; Kruger, D.; Pipatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K.; Wagner, F. (ur). Institute for Global Environmental Strategies. 1–593.
- Kajba D., Krstinić A., Komlenović N., 1998: Proizvodnja biomase stablastih vrba u kratkim ophodnjama. *Šumarski list* 122(3–4): 139–145.
- Kajba, D., Bogdan, S., Katičić-Trupčević, I., 2004: Produkcija biomase klonova bijele vrbe u pokusnoj kulturi kratkih ophodnji Dravica. *Šumarski list* 128(9–10): 509–515.
- Krpan, A. P. B., 1996: Biomasa za energiju – zbilja hrvatskoga krša? Zaštita šuma i pridobivanje drva, S. Sever (ur.), *Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut, Jastrebarsko, Zagreb*, 211–216.
- Krpan, A. P. B., Prka, M., 2001: Kakvoća bukovih stabala iz oplodnih sječa bilogorskog područja. *Drvna industrija*. 52 (4): 173–180.
- Krpan, A. P. B., Prka, M., Zečić, Ž., 2006: Pojava i značajke nepravne srži u bukovim prorednim i oplodnim sječama gospodarske jedinice "Bjelovarska Bilogora". *Glasnik za šumske pokuse*. Posebno izdanje 5: 529–542.
- Krpan, A. P. B., Zečić, Ž., Stankić, I., 2007: Biomasa nekih domaćih vrsta šumskog drveća. Poljoprivreda i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije, Matić, S. (ur.). *Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb*, 75–87.
- Lukić, N., Kružić, T., 1996: Procjena biomase obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u panonskom dijelu Hrvatske. *Znanstvena knjiga Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava*. (U: B. Mayer.), *Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb*, 131–136.
- Menéndez-Miguélez, M., Canga, E., Barrio-Anta, M., Majada, J., Álvarez-Álvarez, P., 2013: A three level system for estimating the biomass of *Castanea sativa* Mill. coppice stands in north-west Spain. *Forest Ecology and Management* 291(0): 417–426.
- Perković, Ž., 2010: Kakvoća bukovih stabala i sortimenata u prebornim šumama Gorskog Kotara. *Magistarski rad. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 1–84.
- Peters, R., 1997: *Beech Forests*. *Geobotany* 24, Kluwer Acad. Publ. 169 pp.
- Pranjić, A., Lukić, N., 1997: Izmjera šuma. *Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb*, 1–405.
- Prka, M., 2003a: Pojavnost nepravne srži kod bukovih stabala i tehničke bukove oblovine iz prorednih i pripremnih sječa na području Bjelovarske Bilogore. *Šumarski list* 128(9–10): 467–474.
- Prka, M., 2003b: Vrijednosne značajke bukovih stabala prema vrsti sijeka u sječinama Bjelovarske Bilogore. *Šumarski list* 127(1–2): 35–44.
- Prka, M., 2006a: Visina i čistoća debla bukovih stabala po vrsti sijeka i postotak tehničke oblovine u deblima i krošnjama stabala s obzirom na primijenjeni standard. *Šumarski list* 130(11–12): 511–522.
- Prka, M., 2006b: Značajke doznačenih bukovih stabala po vrsti sijeka u sječinama Bjelovarske Bilogore i utjecaj na strukturu sortimenata. *Šumarski list*. 130(7–8): 319–329.
- Prka, M. Krpan, A. P. B., 2007: Problem određivanja sortimentne strukture jednodobnih bukovih sastojina. *Šumarski list* 131(5–6): 219–236.
- Prka, M., 2008: Određivanje sortimentne strukture jednodobnih bukovih sastojina primjenom norme HRN EN 1316-1:1999. *Šumarski list*. 132(5–6): 223–238.

- Prka, M., Zečić, Ž., Krpan, A. P. B., Vusić, D., 2009: Characteristics and share of beech false heartwood in felling sites of Central Croatia. *Croatian journal of forest engineering*. 30 (1): 37–49.
- Prka, M., Poršinsky, T., 2009: Usporedba strukture tehničke oblovine jednodobnih bukovih sječina u sortimentnim tablicama izrađenim primjenom normi HRN (1995) i HRN EN 1316-1:1999. *Šumarski list* 133(1–2): 15–25.
- Prka, M., Krpan, A. P. B., 2010: Impact of Tending Measures on Assortment Structure of Fellings in Central Croatian Beech Stands. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 6: 171–182.
- Skovsgaard, J., Nord-Larsen, T., 2012: Biomass, basic density and biomass expansion factor functions for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. *Eur J Forest Res* 131(4): 1035–1053.
- Topić, V., L. Butorac, G. Jelić, 2009: Biomasa u panjačama planike (*Arbutus unedo* L.) na otoku Braču. *Šumarski list* 133 (1–2).
- Vallet, P., Dhôte, J.-F., Mogueđec, G. L., Ravart, M., Pignard, G., 2006: Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. *Forest Ecology and Management* 229(1–3): 98–110.
- Wang, C., 2006: Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecology and Management* 222(1–3): 9–16.
- Wutzler, T., Wirth, C., Schumacher, J., 2008: Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research* 38(6): 1661–1675.
- Zianis, D., Mencuccini, M., 2003: Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for *Fagus* sp. *Ann. For. Sci.* 60(5): 439–448.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Makipaa, R., Mencuccini, M., 2005: Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva fennica monographs* (Article): 1–2,5–63.
- Zečić, Ž., Stankić, I., Vusić, D., Bosner, A., Jakšić, D., 2009: Iskorištenje obujma i vrijednost drvnih sortimenta posušenih stabala jele obične (*Abies alba* Mill.). *Šumarski list*. 133 (1–2): 27–37.
- Zečić, Ž., Vusić, D., Štimac, Z., Cvekan, M., Šimić, A., 2011: Biomasa nadzemnoga dijela stabla obične jele, europskoga ariša i crnoga bora. *Croatian journal of forest engineering* 32(1): 369–377.

## Summary

The study was conducted at three different locations (three sub-compartments of different management units) within the forest management area of the Republic of Croatia (Figure 1) with the aim of determining the suitability of using allometric equations for calculation of the common beech biomass in different stand conditions, constructed on the basis of input data collected *directly by in situ destructive method*.

Two locations were situated in high forests (stand A in regular managed beech forest and stand C in selective managed fir-beech forest) and one location, stand C was a coppice forest (Tables 1 and 2). During the investigation, a preparatory felling was conducted in the stand A, a thinning was conducted in the stand B, and a selection cut was conducted in the stand C.

At each site a number of trees was cut down and measured; 15 at the felling site A, 14 at the felling site B and 17 model trees at the felling site C. In doing so, attention was given to the representativeness of the sample (dbh) given the distribution of marked trees. For each cut tree dbh and height (length) were measured. Volume of wood >7 cm was determined by the sectioning method. Branches with a diameter of 3 cm to 7 cm with bark was measured (sectioned) and for the rest of the brushwood, thinner than 3 cm, fresh mass was determined. In felling sites A and B research was conducted in the dormant season, and in the felling site C research was conducted during the growing season. Therefore, the amount of brushwood thinner diameter than 3 cm biomass included foliar biomass.

Modeling of three components of biomass, and total aboveground biomass was carried out according to equations 1, 2 and 3, Equation 1 uses dbh as input with two coefficients ( $a$  i  $b$ ), in Equation 2 an additional independent variable (tree height) was included in order to improve the model and it contains three coefficients ( $a$ ,  $b$  and  $c$ ). When planning harvesting operations, under the felling plan based on dbh of the marked trees (which are directly measured) with the help of prescribed tariffs planned gross volume of a tree in a specified dbh class is calculated. For this reason (availability of data) in equation 3 volume of tree from tariffs is included as the independent variable with two coefficients  $a$  and  $b$ . For the evaluation of the models two parameter-swere used, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and root mean square error (RMSE).

Based on these parameters the best model for the calculation of all three aboveground biomass components and for the total aboveground biomass is model 2, the exponential equation with two independent variables ( $d$ ,  $h$ ), and three coefficients (Table 4). In 11 of the 12 cases this model gives the best results. After the model 2, from the other two models tested, the best model has proven to be the model 1 (in 9 cases). This is somewhat unexpected because the remaining model 3, which uses the volume of tree calculated on the basis of local tariffs prescribed by the management plan as an independent parameter, already includes information on

the diameter and height of trees. Therefore, it was expected that this model will be better than model 1, but that was not determined in this study. Mentioned model 3 proved to be better in just 3 cases.

Determining the amount of two categories of aboveground biomass with a diameter less than 7 cm is particularly important because in the traditional wood harvesting this part of the forest residue usually remains unused, and in the production of wood chips is a usable income potential of our forests.

When comparing the features of marked and cut trees from three different felling areas, the highest yield of biomass is in the stands of higher site index, as expected. By increasing the dbh of trees the percentage of the biomass of wood >7 cm in total aboveground tree biomass increases, and this increase was most pronounced in the regular stand of the site index II. The share of brushwood 3–7 cm biomass is almost constant when dbh increases, while the share of the third component of biomass (branches <3 cm) reduces by increasing the dbh, which is more noticeable in regular stands.

Models proposed in this paper can represent the basis for further research in order to improve the planning of the production process and the subsequent analysis of felling results. Biomass of a diameter less than 7 cm represents a special potential, which share in certain stand conditions can reach over 10% of the total aboveground biomass of trees with larger dbh (including foliar biomass), and over 20% of the total aboveground biomass of trees with the smaller dbh (Figure 5).

---

KEY WORDS: Aboveground biomass, biomass calculation, allometric equations, European beech