

ПРОЦЕНА ЗАПРЕМИНЕ, БИОМАСЕ И ЗАЛИХЕ УГЉЕНИКА САСТОЈИНА БУКВЕ ПРАШУМСКОГ ТИПА У РЕЗЕРВАТУ „КУКАВИЦА”

МИЛОШ КОПРИВИЦА¹
БРАТИСЛАВ КИСИН²
БРАТИСЛАВ МАТОВИЋ³

Извод: У раду је истраживана запремина, биомаса и залиха угљеника састојина букве прашумског типа, које су под строгим режимом заштите (први степен заштите) и имају статус резервата природе. Истраживани резерват „Кукавица” налази се у шумском газдинству Врање, односно у Шумској управи „Владичин Хан”. Прецизније, резерват је у Газдинској јединици „Кукавица II”, одељења 27 и 31. Састојине букве су сврстане у три типа планинске букове шуме, а за анализу су коришћена два типа: *Fagetum moesiacaе montanum nudum – pauperum* и *Fagetum moesiacaе montanum typicum*. Трећи тип шуме *Luzulo Fagetum moesiacaе* није коришћен за анализу, јер не представља шуму прашумског типа. За истраживање је коришћено седам огледних поља ради постизања што боље репрезентативности узорка. Величина огледних поља била је различита, а постављена су у састојинама 27а, 31а и 31б. Запремина, биомаса и угљеник стабала на огледним пољима одређени су применом регресионих једначина за европску букву. У истраживаном резервату састојина букве прашумског типа процењено је ($p = 0,95$) да су: просечна запремина $695,31 \pm 76,12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, просечна биомаса стабала (изнад и испод земље) $496,780 \pm 50,104 \text{ t ha}^{-1}$ и просечна залиха угљеника у овој биомаси $247,234 \pm 25,309 \text{ tC ha}^{-1}$.

Кључне речи: резерват, буква, запремина, биомаса, угљеник.

ASSESSMENT OF VOLUME, BIOMASS AND CARBON STOCK IN BEECH VIRGIN STANDS IN THE RESERVE “KUKAVICA”

Abstract: Volume, biomass and carbon stock were researched in beech virgin stands, designated as strict protection areas (category Ia) with the status strict nature reserve. The study reserve “Kukavica” is located in the Forest Estate Vranje, i.e. in Forest Administration “Vladičin Han”. More precisely, the reserve is in the management unit “Kukavica II”, compartments 27 and 31. Beech stands are classified in three types of montane beech forests and the analysis deals with two types: *Fagetum moesiacaе montanum nudum – pauperum* and *Fagetum moesiacaе montanum typicum*. The third forest type *Luzulo Fagetum moesiacaе* was not analysed, because it is not a virgin forest. In the aim of the best possible sample representativeness, the research was performed on seven sample plots. Sample plots were of different sizes, and established in the stands 27a, 31a and 31b. Volume, biomass and carbon stock in the trees on sample plots were calculated using regression equations for European beech. In the study beech virgin stand reserve it was estimated ($p = 0.95$) that: average volume $695.31 \pm 76.12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, average biomass of beech trees (above and under ground) $496.780 \pm 50.104 \text{ t ha}^{-1}$, and average carbon stock in the biomass $247.234 \pm 25.309 \text{ tC ha}^{-1}$.

Key words: reserve, beech, volume, biomass, carbon

- 1 др Милош Копривица, виши научни сарадник, Институт за шумарство Београд
- 2 мр Братислав Кисин, ЈП за газдовање шумама „Србијашуме” Београд
- 3 др Братислав Матовић, научни сарадник, Институт за низијско шумарство и животну средину Нови Сад

1. УВОД

Биомаса је износ живе супстанце једног или више организама или њихових делова, изражена тежином суве супстанце по јединици површине (Lukić, N., Kružić, T., 1996). Већ дужи низ година стручњаци у области шумарства баве се проблемом утврђивања биомасе стабала и састојина, односно утврђивањем биомасе шумских екосистема. Биолошка продукција шума настоји се све више изразити тежином органске супстанце уместо њеном запремином (Van Laar, A., Akça, A., 2007). Прва истраживања биомасе стабала и састојина почела су у првој половини двадесетог века. Према Matic, V., 1980, истраживања су провели Boysen-Jensen (1932), Meller (1946) и Burger (1950). Шездесетих година двадесетог века ова истраживања су напредовала. То је било доба великог индустријског развоја, укључујући и развој дрвне индустрије као и велике потребе и изазове у коришћењу енергије.

У последње време значај истраживања биомасе шумских екосистема постаје све већи, не само због њеног коришћења, већ и због ублажавања негативног утицаја климатских промена путем везивања што већих количина угљен диоксида (CO₂) из атмосфере.

Између осталог, постоји велики број радова о утврђивању, премери и коришћењу биомасе стабала и састојина, као и радова о истраживању регресионих једначина за процену биомасе различитих врста дрвећа у различитим регионима. За европску букву (*Fagus sylvatica* L.) дато је више радова који су коришћени за добијање општих једначина за процену биомасе стабала букве у централној Европи (Wutzler, T. *et al.*, 2008). Такође, добијене су и регресионе једначине за процену угљеника у биомаси стабала европске букве (Joosten, R. *et al.*, 2004).

Према Lukić, N., Kružić, T., 1996, у Хрватској су вршена истраживања биомасе стабала за неколико врста дрвећа: буква, храст лужњак, пољски јасен и обични граб.

У Србији, истраживања биомасе и залихе угљеника започета су тек у првој деценији овог века. Прва истраживања била су везана за производњу и коришћење биомасе за енергетске потребе (Орловић, С. *et al.* 2003., Васиљевић, А., Главоњић, Б., 2008; Кнежевић, Н. *et al.* 2010; Јездимировић, Ј., Митровић, С., 2010; Рончевић, С. *et al.*, 2012). Залихе угљеника у дрвету шумских екосистемима Србије процењене су на бази добијених података о запремини дрвета у Националној инвентури шума Србије, користећи опште факторе за превођење запремине у биомасу (Кадовић, Р. *et al.* 2007; Банковић, С. *et al.* 2009). Међутим, значајнија научна истраживања биомасе и залиха угљеника природних шума изведена су до сада само у високим газдованим састојинама букве (Koprivica, M. *et al.*, 2010; Копривица, М., Матовић, Б., 2011а; Koprivica, M. *et al.*, 2011b; Копривица, М. *et al.*, 2012а; Koprivica, M. *et al.*, 2012b; , Koprivica, M. *et al.*, 2013а, 2013b). Такође, изведена су и значајна истраживања садржаја органског угљеника у неким шумским земљиштима у Србији (Кадовић, Р. *et al.* 2012).

Задатак овог рада је процена запремине, биомасе и залихе угљеника у негазованим високим састојинама букве, односно у састојинама прашум-

ског типа резервата „Кукавица”. Иначе, састојине овог типа на подручју Србије могу се наћи још само спорадично у издвојеним резерватима природе.

Циљ истраживања је добијање одговора на питање за колико је садашња запремина, биомаса и залиха угљеника високих газдованих букових шума у односу на високе негазоване букове шуме (прашуме) мања. Познато је да су састојине прашумског типа више деценија уназад (применом различитих система газдовања) превођене у привредни облик шуме. Практично, циљ је да се да мањи допринос постепеном долажењу до нових и савремених параметара потребних за успешније одрживо газдовање високим шумама букве и очувању њиховог биодиверзитета у Србији.

2. ОБЈЕКАТ ИСТРАЖИВАЊА И МЕТОД РАДА

Приказ објекта истраживања и теренског дела метода рада дат је на бази ранијих истраживања (Томић, З. *et al.* 2000; Кисин, Б., 2006; Остојић, Д. *et al.*, 2010).

Објекат овог истраживања су два типа шума букве која су издвојена у резервату природе „Кукавица” на истоименој планини. Резерват се налази у Јужноморавском шумском подручју (Шумско газдинство Врање, Шумска управа „Владичин Хан”), односно у газдинској јединици „Кукавица II” и чине га два одељења 27 и 31, са по четири издвојене састојине. Укупна површина резервата је 77,50 ha, а површина састојина букве 76,21 ha. Представља највећи резерват чистих букових шума прашумског типа у Србији. Резерват обухвата вегетацијски појас од око 500 m, односно распон надморске висине 670-1175 m, што је уз промену орографских и едафских фактора условило појаву више различитих заједница, односно типова букових шума. Геолошку подлогу чини претежно гнајс у фази распадања, а најзаступљенији тип земљишта је кисело смеђе земљиште (дистрични камбисол). Клима је умереноконтинентална. Средња годишња сума падавина је 736,4 mm, а средња годишња температура 7,5 °C. Бонитет станишта је I – II, а склоп састојина 0,7 – 0,9.

У резервату „Кукавица” налазе се три типа букових шума, од којих је ацидофилна шума букве са бекицом најмањег производног потенцијала и условљена је локалним орографским факторима. Према подацима основе газдовања шумама за Газдинску јединицу „Кукавица II” (2012-2021), просечна запремина истраживаних састојина букве је: 258 m³ ha⁻¹ у типу шуме *Luzulo-Fagetum moesiacaе* (27b), 536 m³ ha у типу *Fagetum moesiacaе montanum typicum* (27a) и 554 m³ ha⁻¹ у типу *Fagetum moesiacaе montanum nudum – pauperum* (31a). Просечна запремина свих састојина букве заједно је 509 m³ ha⁻¹.

Истраживане састојине букве у резервату припадају комплексу планинских карактеристика ове састојине су 1980. године стављене под први степен заштите и тако се развијају до данас. Од постојеће четири састојине прашумског типа једна састојина (31c) није истраживана, због сувише уског и издуженог геометријског облика са великим бројем ивичних стабала. Остале три састојине (27a, 31a и 31b) су истраживане и сврстане у два типа пла-

нинске букове шуме:

А) Планинска шума букве са слабо развијеним зељастим покривачем (*Fagetum moesiacaе montanum nudum – rauperum*) на лесивираним киселим смеђим и лесивираним земљиштима хладнијих положаја (састојина 31a - површине 23,60 ha);

Б) Типична планинска шума букве (*Fagetum moesiacaе montanum typicum*) на врло дубоком типичном и хумусно киселом смеђем земљишту на делувијуму (састојина 27a - површине 31,95 ha и састојина 31b - површине 8,90 ha).

У истраживаним састојинама постављено је седам огледних поља величине 0,1531-0,7903 ha, приближно квадратног или правоугаоног облика. Два огледна поља постављена су у типу шуме А (састојина 31a – поља 1 и 2), а пет огледних поља у типу шуме Б (састојина 31b - поља 3 и 4 и састојина 27a - поља 5, 6 и 7).

На огледним пољима 1, 2, 3, 4, 6 и 7 извршен је премер пречника и висине свих стабала изнад таксационе границе од 10 cm (Кисин, Б., 2006). Мерена су два унакрсна пречника са тачношћу до 1 mm, а висине стабала са тачношћу до 0,1 m. Због велике површине (0,7903 ha), на огледном пољу 5 извршен је премер пречника свих стабала изнад 10 cm и премер висина 30% стабала. Применом Проданове функције, висине мерених стабала су изравнате и добијена је одговарајућа регресиона једначина по којој су процењене висине стабала којим није била мерена висина.

Запремина стабала (дрво изнад 3,0 cm) одређена је помоћу регресионе једначине (1) коју смо добили аналитичким изравнањем података из запреминских таблица стабала букве (Мирковић, Д., 1969).

$$v = 0,2811817d^{2,0415244}h^{1,1123098} \quad (1)$$

Запремина свих стабала на огледним пољима добијена је као збир запремине појединачних стабала, а затим преведена на хектар.

Биомаса живих стабала одређена је помоћу опште регресионе једначине (2) намењене за процену укупне биомасе стабала европске букве (Wutzler, T. *et al.*, 2008).

$$m = 0,0523d^{2,12}h^{0,655} \quad (2)$$

где је:

m – укупна биомаса стабла изнад земље (без лишћа) у kg;

d – пречник стабала на прсној висини у cm;

h – висина стабала у m.

Биомаса свих живих стабала на огледним пољима добијена је као збир биомасе појединачних стабала, а затим преведена на хектар.

Биомаса полусувих и сувих дубећих стабала добијена је множењем њихове запремине са коефицијентима 525,2 kg m⁻³ и 413,7 kg m⁻³. Ови коефицијенти одговарају другом и трећем степену распадања мртвог дрвета букве (Marjanović, H. *et al.*, 2010).

Биомаса корена свих стабала заједно добијена је по регресионој једначини (3) за високе букове шуме у Србији (Koprivica, M. *et al.*, 2012b).

$$Br = -0,429475 + 0,182227B - 0,000047499B^2 \quad (3)$$

$$S_e = 3,431 \text{ t ha}^{-1} \quad R^2 = 0,9523$$

где је:

Br – биомаса стабала испод земље (корена) у t ha^{-1} ;

B – биомаса стабала изнад земље у t ha^{-1} .

Угљеник (C) живих стабала (изнад земље – без лишћа) одређен је помоћу опште регресионе једначине (4) намењене за процену угљеника стабала европске букве (Joonsten, R. *et al.*, 2004).

$$C = 0,023806419d^{2,1596}h^{0,6338} \quad (4)$$

Угљеник полусувих и сувих стабла одређен је множењем њихове биомасе са фактором 0,5 (IPCC, 2003). На исти начин добијен је и садржај угљеника у биомаси корена стабала, односно у биомаси испод земље.

На крају су процењена биомаса и угљеник преведени на хектар.

С обзиром на то да су огледна поља била различите површине, приликом рачунања статистичких показатеља у узорку свих огледних поља ($n = 7$, x_i – величина посматраног обележја по хектару) у формулама су коришћени пондери. Пондери су површине огледних поља (p_i). Аритметичка средина узорка добијена је по формули (5), а варијанса по формули (6).

$$\bar{x} = \frac{\sum p_i x_i}{\sum p_i} \quad (5)$$

$$s^2 = \frac{n}{n-1} \frac{\sum p_i (x_i - \bar{x})^2}{\sum p_i} \quad (6)$$

Формуле (5) и (6) се користе у случају кад величина пробних површина у узорку није иста (према Mirković и Banković, 1993).

Проблем различите величине огледних поља у овом случају је сличан проблему примене пробних површина у виду пруга при инвентури шума. Практично, статистичке формуле су исте у оба случаја само што се код пруга као пондери обично користе дужине пруга уместо њихових површина, јер им је ширина иста.

Процена средине и тотала скупа (резервата букве) добијена је по стандардним формулама (7) и (8):

$$\bar{X} = \bar{x} \pm t s_x^- \quad (7)$$

$$T = F(\bar{x} \pm t s_x^-) \quad (8)$$

У формулама (7) и (8) грешка средине узорка (s_x^-) одређена је по класичној формули $s_x^- = s_x / \sqrt{n}$, где је s_x стандардна девијација одређена из варијансе добијене по формули (6) а n је број огледних поља.

Према наводима Мирковић, Д., Банковић, С., 1993; Шмелко је, на основу истраживања већег броја формула, дошао до закључка да се за прак-

тичне радове у инвентури шума код пруга може успешно применити класична формула за одређивање грешке средине.

Van Lear, A., Akça, A., 2007, за пруге наводе две формуле за одређивање грешке средине узорка, које су различите од класичне формуле. Међутим, у прелиминарним истраживањима наведеног проблема проверили смо и ове формуле и дошли до приближно истог резултата.

С обзиром на то да избор огледних поља и узорак није био формално - статистички случајан, потребан је критички осврт на поузданост (интервал поверења) извршених процена параметара скупа, односно резервата „Кукавица” на бази коришћеног узорка. Узорак је био мали ($n = 7$), као и интензитет његовог избора (4,10%), а избор јединица узорка, односно огледних поља (с обзиром на величину и број), извршен је стручно с намером да што боље репрезентује различите станишне и састојинске карактеристике резервата „Кукавица”. Самим тим, може се оправдано очекивати да је и извршена процена параметара скупа на бази таквог узорка довољно поуздана. У прилог овој констатацији наводимо следећи став статистичара: „Није увек могуће коректно применити принципе статистичке инференције. То може да буде када је узорак мали или нема података за све јединице у огледу (изгубљене јединице) или је недоследна примена случајног избора за третмане итд. Пошто нема општеважећег правила за решење таквих проблема, нека врста компромиса је боља него потпуно одбацавање инференције“ (Хаџивуковић, С., Чобановић, К., 1994).

Одговор на ово питање могао би се добити и емпиријским путем. У резервату „Кукавица”, односно у истраживаним састојинама букве требало би систематским методом поставити 53 пробне површине, величине по 0,05 ха на растојању 100 x 100 m. У овом случају систематски узорак пробних површина одговарао би интензитету избора узорка класичних огледних поља (4,10% или 2,65 ха, од 64,45 ха). Тиме би био испуњен услов репрезентативности узорка и у формално - статистичком смислу.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

3.1. Запремина састојина

У овом раду, процена запремине, биомасе и залихе угљеника састојина букве прашумског типа у резервату „Кукавица” добијена је на бази теренских података који су прикупљени на огледним пољима постављеним 2004. године (Кисин, Б., 2006).

За ово разматрање посебно је значајна дебљинска структура састојина и величина запремине састојина по хектару, јер велика запремина са знатним учешћем јако дебелих стабала карактерише састојине прашумског типа.

У раду Стојић, Д. *et al.* (2010) изнети су резултати о дебљинској структури истраживаних састојина букве. Расподела стабала у производном типу А је звонолика са јако израженом десном асиметријом, а у производном типу Б је неправилно опадајућа. У оба случаја постоји велико учешће јако дебелих стабала.

Као што је објашњено у методу рада, на свим огледним пољима (осим ог-

ледног поља 5) запремина стабала је одређена на бази мерених пречника и висина стабала. Применом Проданове функције, висине мерених стабала на огледном пољу 5 су изравнате и добијена је регресиона једначина

$$h = 1,30 + d^2 / (0,0273d^2 - 0,0619d + 14,8761),$$

по којој су процењене висине стабала којим није била мерена висина.

Приликом премера огледних поља посебно су евидентирана жива, полусува и сува дубећа стабла (табела 1).

Евиденција живих, полусувих и сувих стабала била је потребна ради могућности даљег праћења природног процеса одумирања стабала у састојинама букве прашумског типа, као и због могућности прецизније процене њихове биомасе и залихе угљеника.

У табели 1. се види да је у истраживаним састојинама букве прашумског типа просечан број стабала (изнад 10 cm) 183-281 по ha, просечна темељница 38,7-42,5 m² ha⁻¹ и просечна запремина 689,5-717,5 m³ ha⁻¹. Међутим, по производним типовима шума А и Б, разлика у просечним запреминама по хектару практично и не постоји.

Процењена просечна запремина свих састојина букве прашумског типа, добијена на бази узорка од седам огледних поља, при вероватноћи 95% је 695,31 +/- 76,12 m³ ha⁻¹.

Табела 1. Број стабала, темељница и запремина у резервату букве „Кукавица”
Table 1. Number of trees, basal area and volume in the beech reserve “Kukavica”

Огледно поље	Број стабала				Темељница	Запремина			
	N ₁	N ₂	N ₃	N	G	N ₁	N ₂	N ₃	N
	ком. ha ⁻¹				m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹			
ОП – 1	287,32	-	19,59	306,91	41,68	657,38	-	2,60	659,97
ОП – 2	255,47	-	8,66	264,13	43,02	718,27	-	1,31	719,58
А: 31a	268,17	-	13,02	281,19	42,49	693,99	-	1,83	695,82
ОП – 3	224,26	-	-	224,26	32,67	566,82	-	-	566,82
ОП – 4	189,12	-	-	189,12	43,77	841,94	-	-	841,94
31b	205,02	-	-	205,02	38,75	717,49	-	-	717,49
ОП – 5	192,28	8,86	-	201,14	37,15	621,14	31,00	-	652,24
ОП – 6	161,50	1,90	3,80	167,20	43,15	772,39	0,57	6,77	779,73
ОП – 7	166,40	-	4,16	170,56	36,64	651,66	-	0,37	652,03
27a	176,35	4,45	2,23	183,02	38,77	673,60	13,81	2,08	689,49
Б: 27a и 31b	182,22	3,54	1,77	187,53	38,77	682,59	10,97	1,66	695,22
УКУПНО	194,70	3,03	3,40	201,13	39,31	684,25	9,38	1,68	695,31

* У табели индекси означавају: 1 - жива стабла, 2 - полусува стабла, 3 - сува стабла, без индекса - укупно

3.2. Биомаса састојина

Биомаса дубећих стабала букве по ha: изнад земље (без лишћа), испод земље (корена) и укупно изнад и испод земље дата је у табели 2.

Просечна биомаса (изнад и испод земље) у истраживаним састојинама букве прашумског типа варира од 493,4 до 505,1 t ha⁻¹. Слично је варирање

просечне биомасе и по производним типовима шума А и Б.

На бази узорка од седам огледних поља при вероватноћи 95%, добијени су резултати о процењеној просечној биомаси свих састојина букве прашумског типа: изнад земље 428,020 +/- 43,91 t ha⁻¹, испод земље 68,760 +/- 6,197 t ha⁻¹, и укупно изнад и испод земље 496,780 +/- 50,104 t ha⁻¹.

Табела 2. Биомаса састојина букве прашумског типа у резервату „Кукавица”
Table 2. Biomass of beech virgin stands in the reserve “Kukavica”

Огледно поље и тип шуме	Одељење и одсек (састојина)	ОП Р (ha)	Биомаса (t ha ⁻¹)		
			Изнад земље	Испод земље	Укупно
ОП – 1.	31a	0,1531	416,297	67,199	483,496
ОП – 2.	31a	0,2308	447,820	71,650	519,470
А	31a (23,60 ha)	0,3839	435,249	69,875	505,124
ОП – 3.	31б	0,2094	346,188	56,963	403,151
ОП – 4.	31б	0,2535	506,185	79,507	584,692
	31b (8,90 ha)	0,4629	433,808	69,309	503,117
ОП – 5	27a	0,7903	403,782	65,406	469,188
ОП – 6	27a	0,5264	477,679	75,778	553,457
ОП – 7	27a	0,4804	402,128	65,168	467,296
	27a (31,95 ha)	1,7971	424,985	68,381	493,366
Б	31b и 27a (40,85 ha)	2,2600	426,792	68,571	495,363
УКУПНО: А+Б	(64,45 ha)	2,6439	428,020	68,760	496,780

3.3. Угљеник састојина

Залиха угљеника дубећих стабала букве по хектару: изнад земље (без лишћа), испод земље (корена) и укупно изнад и испод земље дата је у табели 3.

Табела 3. Залиха угљеника састојина букве прашумског типа у резервату „Кукавица”

Table 3. Carbon stock of beech virgin stands in the reserve “Kukavica”

Огледно поље и тип шуме	Одељење и одсек (састојина)	ОП Р (ha)	Залихе угљеника (tC ha ⁻¹)		
			Изнад земље	Испод земље	Укупно
ОП -- 1	31a	0,1531	205,693	33,600	239,293
ОП – 2	31a	0,2308	221,394	35,825	257,219
А	31a (23,60 ha)	0,3839	215,132	34,938	250,070
ОП -- 3	31б	0,2094	170,813	28,482	199,295
ОП – 4	31б	0,2535	251,726	39,754	291,480
	31b (8,90 ha)	0,4629	215,124	34,655	249,799
ОП -- 5	27a	0,7903	201,314	32,703	234,017
ОП – 6	27a	0,5264	238,378	37,889	276,267
ОП – 7	27a	0,4804	199,866	32,584	232,450
	27a (31,95 ha)	1,7971	211,783	34,190	245,973
Б	31b и 27a (40,85 ha)	2,2600	212,467	34,285	246,752
УКУПНО: А+Б	(64,45 ha)	2,6439	212,854	34,380	247,234

Просечна залиха угљеника (изнад и испод земље) у истраживаним са-

стојинама букве варира од 246,0 до 250,1 tC ha⁻¹. Слично је варирање и просечне залихе угљеника по производним типовима шума А и Б.

На бази узорка од седам огледних поља, при вероватноћи 95%, добијени су резултати о процењеној просечној залихи угљеника састојина букве прашумског типа: изнад земље 212,854 +/- 22,212 tC ha⁻¹, испод земље 34,380 +/- 3,098 tC ha⁻¹ и укупно изнад и испод земље 247,234 +/- 25,309 tC ha⁻¹.

У истраживаним газдованим високим састојинама букве на подручју Србије (Koprivica, M. *et al.*, 2012b) утврђено је да је просечна запремина 383,9 m³ ha⁻¹, а биомаса састојина: изнад земље 254,06 t ha⁻¹, испод земље 42,34 t ha⁻¹ и укупно 296,40 t ha⁻¹. Такође, просечна залиха угљеника у истим састојинама је: изнад земље 125,24 tC ha⁻¹, испод земље 21,17 tC ha⁻¹ и укупно 146,41 tC ha⁻¹. Изнете просечне вредности утврђене су са грешком узорка (p = 0,95) око +/- 5,00%.

Поређењем добијених података о просечној запремини, биомаси и залихи угљеника у газдованим и негазованим високим састојинама букве, закључено је да је запремина у газдованим састојинама букве мања за око 45%, а биомаса и залиха угљеника за око 40%. Међутим, при овим поређењима треба имати у виду различиту величину узорака, метода истраживања и различите карактеристике станишта и састојина. У првом случају коришћене су пробне површине од 0,05 ha, распоређене систематски на целој површини истраживаних састојина на растојању 100 x 100 m, а у другом случају класична огледна поља величине 0,15 - 0,79 ha, која су изабрана стручно.

3.4. Запремина, биомаса и залиха угљеника резервата „Кукавица”

Помоћу узорка од седам огледних поља, са вероватноћом 95%, у резервату „Кукавица” (64,45 ha), процењена је укупна запремина, биомаса и залиха угљеника.

Запремина свих истраживаних састојина букве прашумског типа је 44.812,73 +/- 4.905,93 m³. Релативна грешка узорка је +/- 10,95%.

Биомаса свих истраживаних састојина букве прашумског типа је: изнад земље 27.585,889 +/- 2.829,999 t, испод земље 4.431,582 +/- 399,397 t, односно укупно 32.017,471 +/- 3.229,203 t. Релативна грешка узорка је: изнад земље +/- 10,26% , испод земље +/- 9,01% и укупно +/- 10,09%.

Залиха угљеника свих истраживаних састојина букве прашумског типа је: изнад земље 13.718,440 +/- 1.431,563 tC, испод земље 2.215,791 +/- 199,666 tC, односно укупно 15.934,231 +/- 1.631,165 tC. Релативна грешка узорка је: изнад земље +/- 10,44%, испод земље +/- 9,01% и укупно +/- 10,24%.

Генерално, запремина, биомаса и залиха угљеника истраживаних састојина букве у резервату „Кукавица” процењене су са задовољавајућом прецизношћу. Релативна грешка узорка у свим случајевима (p = 0,95) је око +/- 10%.

4. ЗАКЉУЧЦИ

На бази изведеног истраживања, у састојинама прашумског типа букве резервата „Кукавица”, могу се извести следећи закључци:

а) Процењена просечна запремина свих истраживаних састојина букве је $695,31 \pm 76,12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, процењена просечна биомаса је $496,780 \pm 50,104 \text{ t ha}^{-1}$, а процењена просечна залиха угљеника је $247,234 \pm 25,309 \text{ tC ha}^{-1}$. Просечан однос у биомаси или угљенику изнад и испод земље је 86% и 14%. Процењена укупна запремина свих истраживаних састојина букве у резервату је $44.812,73 \pm 4.905,93 \text{ m}^3$, процењена укупна биомаса је $32.017,471 \pm 3.229,203 \text{ t}$, а процењена укупна залиха угљеника је $15.934,231 \pm 1.631,165 \text{ tC}$. Прецизност извршених процена је задовољавајућа, јер је релативна грешка узорка ($p = 0,95$) за просечне и укупне вредности око $\pm 10\%$.

б) У односу на истраживане негазоване састојине букве прашумског типа, у резервату „Кукавица” истраживане газдоване високе састојине букве на подручју Србије (Koprivica, M. *et al.* 2012b) имају мању процењену просечну запремину по хектару за око 45%, а биомасу и залиху угљеника за око 40%. Међутим, овде свакако треба имати у виду различит метод истраживања (репрезентативности узорака) и различите карактеристике стањишта и састојина. Разлике су вероватно нешто мање од утврђених.

в) Иако је веома значајно, на огледним пољима у резервату „Кукавица“ није мерено и истраживано лежеће мртво дрво. Међутим, мртво дрво је истраживано у газдованим високим састојинама букве на подручју Србије (Koprivica, M. *et al.*, 2013b). Добијени су научно и практично интересантни резултати, па би ради упоређења требало истражити и мртво дрво у негадованим састојинама букве прашумског типа и проширити истраживање на утврђивање залихе угљеника у органском слоју шумске простирке и органског угљеника у минералном слоју земљишта. Тако би, скоро у целости, била обухваћена процена залихе угљеника изузетно значајног шумског екосистема. Наравно, слична истраживања би требало провести и у осталим резерватима букве у Србији. Добијени резултати могли би да послуже као мерило у оцени стања и сагледавања промена у екосистемима високих букових шума које су последица антропогених утицаја човека и глобалних климатских промена, с аспекта екосистемског и мултифункционалног одрживог газдовања шумама и заштити животне средине.

Истраживање је финансирао Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта: Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину – Праћење утицаја, адаптација и ублажавање (III-43007).

ЛИТЕРАТУРА

- Банковић, С., Медаревић, М., Пантић, Д., Петровић, Н. (2009): Национална инвентура шума Републике Србије (Шумски фонд Републике Србије). Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије – Управа за шуме, стр. 1-244. Београд.
- Васиљевић, А., Главоњић, Б. (2008): Утицај потрошње на производњу пелета у Аустрији. Гласник Шумарског факултета, 98: 25-38, Београд.
- Van Laar, A., Akça, A., (2007): Forest mensuration. Springer, The Netherlands.

- Јездимировић, Ј., Митровић, С. (2010): Коришћење биомасе као алтернативног извора енергије. Зборник научних радова Института ПКБ Агроекономик, 16 (1-2): 275-283, Београд.
- Joosten, P., Schumacher, J., Wirth, C., Schulte, A. (2004): Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management* 189: 87-96.
- Кадовић, Р., Кнежевић, М., Бајић, В., Главоњић, Б., Белановић, С., Петровић, Н. (2007): Резерве и динамике угљеника у шумским екосистемима Србије. Зборник радова „Шуме и промене климе“ Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде – Управа за шуме и Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд.
- Кадовић, Р., Белановић, С., Кнежевић, М., Даниловић, М., Кошанин, О., Белоица, Ј. (2012): Садржај органског угљеника у неким шумским земљиштима у Србији. Гласник Шумарског факултета, 105: 81-98, Београд.
- Кнежевић, Н., Фуртула, М., Градимић, Д., Бајић, В. (2010): Могућност замене фосилних горива дрвном биомасом у туристичким објектима у националном парку Тара. *Прерада дрвета*, 29: 27-33, Београд.
- Кисин, Б., (2006): Стање, циљеви газдовања и систем управљања строгим природним резерватима у чистим буковим шумама Србије. Магистарски рад, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд.
- Копривица, М., Матовић, В., Јовић, Ђ. (2010): Estimates of biomass in a submontane beech high forest in Serbia. *Acta Silvatica and Lignaria Hungarica*, 6: 161-170.
- Копривица, М., Матовић, Б. (2011а): Регресионе једначине биомасе и угљеника стабала букве у високим шумама на подручју Србије. *Шумарство*, 1-2: 29-42, Београд.
- Копривица, М., Матовић, В., Vučković, М., Stajić, В. (2011b): Estimates of biomass and carbon stock in uneven-aged beech stands in Eastern Serbia. The 9th International Beech Symposium. Organized by IUFRO working party 1.01.07. Conference guide, p. 58. Dresden, Germany.
- Копривица, М., Матовић, Б., Стајић, С., Јовић, Ђ. (2012а): Процена биомасе и залихе угљеника високих састојина букве у Јабланичком шумском подручју. *Шумарство* 1-2: 61-72, Београд.
- Копривица, М., Матовић, В., Vučković, М., Stajić, В., Čokeša, V. (2012b): Estimates Biomass and Carbon stock in Beech high Forests in Serbia. International Scientific Conference, Forests in the Future, Sustainable Use, Pisks and Challenges, Invitation papers, Institute of Forestry, pp. 17-30. Belgrade, Serbia.
- Копривица, М., Матовић, В., Vučković, М., Stajić, В. (2013а): Estimation of biomass and carbon stock in uneven-aged beech stands in eastern Serbia. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 184 (1/2): 17-25
- Копривица, М., Матовић, В., Stajić, С., Čokeša, V., Јовић, Ђ. (2013b): Deed wood in managed beech forests in Serbia. *Šumarski list*, 137 (3/4): 163 – 172.
- Lukić, N., Kružić, T. (1996): Procjena biomase obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u panonskom dijelu Hrvatske. Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava. *Znanstvena knjiga* 1, 131-136, Zagreb.
- Marjanović, Н., М. Z. Ostrogović, E. Paladinić, I. Balenović, K. Indir, B. Vebek (2010): First estimates of carbon stocks by pools in a beech-fir forest stand in Croatia. International scientific symposium FAGUS 2010. Book of abstracts, p. 35, and Manuscript. Varaždin, Croatia.
- Matić, V. (1980): Prirast i prinos šuma. Univerzitet u Sarajevu – Šumarski fakultet, Sarajevo.
- Мирковић, Д. (1969): Priručnik za određivanje zapremine i zapreminskog prirasta u bukovim састојинама СР Србије при уређајним радовима. Институт за шумарство и дрвну индустрију, Београд.
- Мирковић, Д., Банковић, С. (1993): Дендрометрија. Завод за уџбенике и наставна средства Србије, стр. 1-509, Београд.
- Орловић, С., Клашња, Б., Пилиповић, А., Радосављевић, Н., Марковић, М. (2003): Могућност ране селекције црних топола (Section Aigeiros) за производњу биомасе на основу њихових анатомских и физиолошких својстава. *Топола*, 171-172: 35-44, Нови Сад.

- Остојић, Д., Јовановић, Б., Кисин, Б. (2010): Резерват природе „Кукавица”, стање и заштита. Шумарство, 3-4: 35-50, Београд.
- Rončević, S., Andrašev, S., Ivanišević, P., Kovačević, B., Klačnja, B. (2012): Biomass production and energy potential of some eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh.) clones in Relation to planting spacing. Šumarski list, 137 (1-2): 33-42.
- Томић, З., Јовић, Н., Бурлица, Ч., Кнежевић, М., Цвјетићанин, Р. (2000): Еколошко-вегетацијска класификација букових шума јужног дела Кукавице. Гласник Шумарског факултета бр. 83: 145-163, Београд.
- Хаџивуковић, С., Чобановић, К. (1994): Статистика: принципи и примена. Пољопривредни факултет, Институт за економику пољопривреде и социологију села, стр. 1 – 228, Нови Сад.
- 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: 1661–1675.
- (2003) IPCC: Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, ISBN 4-88788-003-0.
- ***** Посебна основа газдовања шумама за Газдинску јединицу „Кукавица II” (2012-2021). ЈП за газдовање шумама „Србијашуме” Београд, ШГ „Врање”, Врање.

ASSESSMENT OF VOLUME, BIOMASS AND CARBON STOCK IN BEECH VIRGIN STANDS IN THE PESEPVE “KUKAVICA”

Miloš Koprivica
Bratislav Kisin
Bratislav Matović

Summary

Volume, biomass and carbon stock of beech virgin stands were researched in the reserve “Kukavica”. The study reserve is located in the Forest Estate Vranje, i.e. in the Forest Administration “Vladičin Han”. More precisely, the reserve is in the management unit “Kukavica II”, compartments 27 and 31. Beech stands are classified in three types of montane beech forests and the analysis deals with two types: *Fagetum moesiacaе montanum nudum – pauperum* and *Fagetum moesiacaе montanum typicum*. The third forest type *Luzulo Fagetum moesiacaе* was not analysed, because it is not a virgin forest. The research was performed on seven sample plots, sized 0.1531-0.7903 ha, established in the stands 27a, 31a and 31b. Total area of sample plots is 2.6439 ha. Tree volume was determined by regression equation (1), and biomass and carbon above ground on sample plots were calculated using regression equations (2) and (4), while below-ground biomass (tree roots) was calculated using regression equation (3). Assessment of average and total volume, biomass and carbon stock in the study beech reserve was estimated using the formulas for simple sampling, i.e. using equations (5), (6) and (7). The sample plot areas were weights, estimated average volume of all beech stands ($p = 0.95$) was $695.31 \pm 76.12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, average tree biomass above and under ground was $496,780 \pm 50,104 \text{ t ha}^{-1}$, and average carbon stock was $247.234 \pm 25.309 \text{ tC ha}^{-1}$. Estimated volume of all beech virgin stands (64.45 ha), probability 95%, was $44,812.73 \pm 4,905.93 \text{ m}^3$, estimated biomass $32,017.471 \pm 3,229.203 \text{ t}$, and estimated carbon stock was $15,934.231 \pm 1,631.165 \text{ tC}$. Accordingly, relative error for sample volume was $\pm 10.95\%$, for biomass $\pm 10.09\%$, and for carbon stock $\pm 10.24\%$. Compared to the researched unmanaged beech virgin stands in the reserve “Kukavica”, the researched managed beech high stands in Serbia (Koprivica *et al.* 2012b) have about 45% lower estimated average volume per hectare and about 40% lower estimated biomass and carbon stock. However, as the consequence of different degrees of the sample representativeness, study methods, sites, and stand characteristics, the observed differences in different researches are probably somewhat lower than the determined differences.