

## РЕГРЕСИОНЕ ЈЕДНАЧИНЕ БИОМАСЕ И УГЉЕНИКА СТАБАЛА БУКВЕ У ВИСОКИМ ШУМАМА НА ПОДРУЧЈУ СРБИЈЕ

МИЛОШ КОПРИВИЦА<sup>1</sup>  
БРАТИСЛАВ МАТОВИЋ<sup>1</sup>

**Извод:** Резултат овог рада су регресионе једначине намењене за одређивање биомасе и угљеника стабала букве у високим шумама на подручју Србије. Коришћене су оригиналне једначине за европску букву (*Fagus sylvatica* L.) добијене у Немачкој (Wutzler, T. et al., 2008; Joosten, R. et al., 2004) и запреминске тарифе за букву у Србији (Mirković, D. 1969). Комбинацијом резултата ових аутора добијен је аналитички израз тарифа за биомасу и угљеник. Приказана је примена регресионих једначина и проверена њихова тачност при одређивању биомасе и угљеника једне високе састојине букве. Закључено је да су добијене регресионе једначине поуздане и да се могу једноставно применити за процену биомасе и залихе угљеника високих букових шума у Србији. Потребно је претходно утврдити тарифни низ (бонитет станишта) састојине и измерити прсни пречник стабала. Могу се користити подаци уређајне и националне инвентуре шума.

**Кључне речи:** буква, запремина, биомаса, угљеник, стабло, састојина, регресиона једначина, узорак.

### REGRESSION EQUATIONS OF BEECH BIOMASS AND CARBON IN HIGH FORESTS IN SERBIA

**Abstract:** The result of this study are regression equations for the calculation of beech biomass and carbon stocks in high forests in Serbia. The study is based on the original equations for European beech (*Fagus sylvatica* L.) calculated in Germany (Wutzler, T. et al., 2008, Joosten, R. et al., 2004) and volume tariffs for beech in Serbia (Mirković, D. 1969). The analytical expression of the tariffs for biomass and carbon was developed by the combination of results reported by the above authors. The application of regression equations was presented and their exactness in the calculation of biomass and carbon of a beech high stand was tested. It was concluded that the developed regression equations were reliable and that they could be simply applied in the estimation of biomass and carbon stock in high beech forests in Serbia. This requires the previous calculation of the stand tariff series (site quality) and the measurement of the diameter at breast, for which the data in the national forest inventory can be applied.

**Key words:** beech, volume, biomass, carbon, tree, stands, regression equations, sample.

---

<sup>1</sup> др Милош Копривица, виши научни сарадник; мр Братислав Матовић, истраживач сарадник; Институт за шумарство, Београд

Истраживање је финансирало Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије у оквиру пројекта: Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину – Праћење утицаја, адаптација и ублажавање (ИИИ-43007)

## УВОД

У свету се одавно изузетно велики значај придаје истраживању биомасе и залиха угљеника у шумским екосистема, због решавања сложених проблема човечанства као што су енергетска криза и климатске промене. Проучаван је најчешће утицај разних загађења и климатских промена на развој и стабилност шумских екосистема у целини, као и њихов допринос ублажавању негативних ефеката климатских промена (K o r n e r, C. *et al.*, 1988, 1991; L e b a u b e, S. *et al.*, 2000; J o o s t e n, R. *et al.*, 2004; M u n d, M. 2004). Такође, постоји и изузетно велики број објављених радова о начину утврђивања, премеру и коришћењу биомасе стабла и састојине (C a n n e l l, M.G.R., 1983; K a u p r i, P.E. *et al.*, 1992; N a b o u r s, G.J. *et al.*, 2003; L i s k i, J. *et al.*, 2006; R a u p a c h, M.R. *et al.*, 2005; V a n c l a y, J.K., S k o v s g a r d, J.P., 1997; W i d l o w s k i, J.L. *et al.*, 2003; T h u r i g, E., S c h e l h a s, M.J., 2006).

Поред осталог, истраживане су и регресионе једначине за процену биомасе различитих врста дрвећа у различитим регионима (M a r k l u n d, L.G. 1987., J e n k i n s, J.C. *et al.*, 2003; Z i a n i s, D., M e n c u s c i n i, M., 2003, 2005; M u - u k k o n e n, P. 2007). Више радова посвећено је европској букви (*Fagus sylvatica* L.) чији резултати су коришћени за добијање општих једначина за процену биомасе букве у централној Европи (W u t z l e r, T. *et al.*, 2008). Слична истраживања за букву извршена су у Грчкој (Z i a n i s, D., M e n c u s c i n i, M., 2003) у Чешкој Републици (C i e n c i a l a, E. *et al.*, 2005), у Холандији (B a r t e l i n k, H.H., 1996) и неким другим земљама. Такође, у Хрватској су раније су проведена истраживања мањег обима за букву (*Fagus sylvatica* L.), храст лужњак (*Quercus robur* L.), пољски јасен (*Fraxinus excelsior* L.) и обични граб (*Carpinus betulus* L.), према L u - k i ć, N., K r u ž i ć, T. (1996). Сада су у току истраживања биомасе и залиха угљеника у мешовитим састојинама букве и јеле (M a r j a n o v i ć, H. *et al.*, 2010). Поред регресионих једначина за биомасу стабала, истраживане су и регресионе једначине за процену угљеника у тој биомаси (J o o s t e n, R. *et al.*, 2004).

У Србији до сада скоро уопште нису вршена истраживања биомасе и угљеника шумских екосистема. Најчешће је истраживана могућност коришћења дрвне масе и прераде дрвета (К р с т и ћ, М., С т о ј а н о в и ћ, Љ., 1993; Ш о ш к и ћ, Б., 2003), а запремина састојина садржана у шумским основама грубо је превођена помоћу општих коефицијената у биомасу и угљеник, ради израде разних извештаја за потребе у свету и код нас. Недавно је објављен први рад који се потпуније бави прецизнијом проценом биомасе високе састојине букве (К о р в и с а, М. *et al.*, 2010). Приликом обраде података за овај рад јавио се кључни проблем избора одговарајућих регресионих једначина за процену укупне биомасе стабла и његових компоненти. То је слично проблему избора одговарајућих таблица или регресионих једначина за процену запремине стабла и састојине разних врста дрвећа, а решено је применом општих регресионих једначина за процену биомасе букве у централној Европи (W u t z l e r, T. *et al.*, 2008).

Циљ овог рада је добијање одговарајућих регресионих једначина у виду тарифа за процену биомасе и угљеника стабала букве у високим шумама на подручју Србије. Раније су за ово подручје у виду тарифа дефинисане регресионе једначине запремине и запреминског прираста стабала букве (К о р в и с а, М., M a t o -

vić, B., 2005). Добијени резултати ових истраживања могу се применити при изради апликативних програма за обраду обимних података инвентуре шума.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

На бази прелиминарних истраживања процене биомасе ( $m$ ) и угљеника ( $C$ ) више стабала букве, различитих димензија, одабране су две регресионе једначине за које је потребно познавати прсни пречник ( $d$ ) и висину ( $h$ ) стабла. Једначина (1) намењена је за процену укупне апсолутно суве надземне биомасе стабла букве (Wutzler, T. *et al.*, 2008), а једначина (2) за процену угљеника у тој биомаси (Josten, R. *et al.*, 2004). Општи облик ових једначина је позната Scumacher Hall-ова функција.

$$m = 0,0523d^{2,12} h^{0,655} \quad (1)$$

$$\ln C = -3,7378 + 2,1596 \ln d + 0,6338 \ln h \quad (2)$$

Да би избегли рад са логаритмима једначина (2) је, после антилогаритмирања, написана у истом облику као и једначина (1),

$$C = 0,023806419d^{2,1596} h^{0,6338} \quad (3)$$

У једначинама (1) и (3) биомаса и угљеник су дати у  $kg$ , пречник ( $d$ ) у  $cm$ , а висина ( $h$ ) стабла у  $m$ .

Основни материјал за добијање регресионих једначина биомасе и угљеника стабала букве чинили су подаци садржани у запреминским тарифама за букву у Србији (Mirko vić, D., 1969). Ове тарифе имају девет тарифних низова (пет бонитета и четири међубонитета), са пречницима датим у виду дебљинских степена од 12,5 до 157,5  $cm$ , односно пречника стабала од 10 до 160  $cm$ .

Сукцесивно, користећи одговарајуће пречнике и изравнате висине стабала по тарифним низовима добијена је биомаса и угљеник стабала у  $kg$ . Затим су ове величине, при изналажењу најбољих регресионих једначина, послужиле као зависно променљиве, а пречник стабала као независно променљива. Висина стабала није даље коришћена као независно променљива, јер је обухваћена одговарајућим тарифним низом. Управо, циљ је и био да се овим поступком избегне мерење висине свих стабала у састојини, односно узорку стабала, приликом инвентуре шума. Случај је исти као и када се у пракси уместо двоулазних запреминских таблица користе запреминске тарифе.

Применом метода постепене (stepwise) вишеструке регресије (Надžиву-ко вић, S. *et al.*, 1982) добијено је девет регресионих једначина за процену биомасе и девет једначина за процену угљеника стабала букве. Све једначине имају општи облик полинома четвртог степена,

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 \quad (4)$$

где је,

$y$  – биомаса или угљеник стабла у  $kg$ ,

$x$  – прсни пречник стабла у  $cm$ .

После аналитичког изравнања и дефинисања посматраних зависности регресионе једначине су приказане и графички, ради провере њихове међусобне усклађености.

Поузданост регресионих једначина проверена је на подацима о биомаси једне високе састојине букве која је истраживана раније (K o p r i v i c a , M. *et al.*, 2010). Примењен је метод линеарне корелације (S t o j a n o v i ć , O., 1976) и више статистичких тестова (H a d ž i v u k o v i ć , S., 1991).

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати овог истраживања су регресионе једначине намењене за процену биомасе и угљеника стабала букве. Посебно је разматрана њихова примена и тачност при одређивању биомасе и залихе угљеника у високим састојинама букве.

#### 3.1. Регресионе једначине за биомасу стабала

Девет тарифних низова за биомасу стабла букве дефинисано је помоћу девет регресионих једначина (5 – 13).

$$m = 177,505 - 23,1620d + 1,32775d^2 - 0,00139255d^3 + 0,00000502326d^4 \quad (5)$$

$$m = 164,687 - 21,8479d + 1,26173d^2 - 0,00131925d^3 + 0,00000488629d^4 \quad (6)$$

$$m = 122,483 - 17,8480d + 1,12323d^2 - 0,00054542d^3 + 0,00000251365d^4 \quad (7)$$

$$m = 138,780 - 19,3382d + 1,13435d^2 - 0,00130243d^3 + 0,00000489068d^4 \quad (8)$$

$$m = 145,662 - 19,9102d + 1,11896d^2 - 0,00179640d^3 + 0,00000634375d^4 \quad (9)$$

$$m = 148,343 - 19,9273d + 1,08295d^2 - 0,00208465d^3 + 0,00000736828d^4 \quad (10)$$

$$m = 148,200 - 19,6960d + 1,03959d^2 - 0,00232101d^3 + 0,00000824972d^4 \quad (11)$$

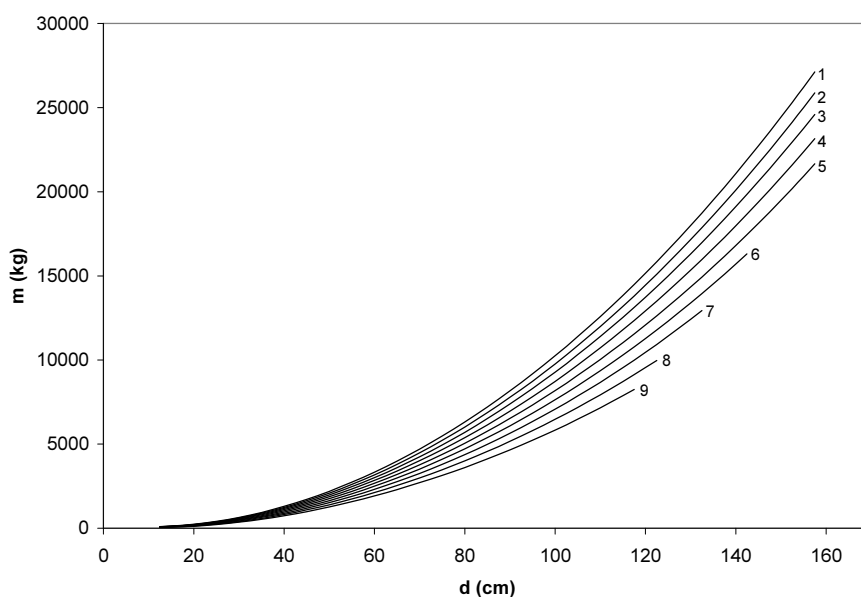
$$m = 139,013 - 18,7146d + 0,97666d^2 - 0,00240378d^3 + 0,00000840901d^4 \quad (12)$$

$$m = 143,825 - 19,4508d + 0,97690d^2 - 0,00341792d^3 + 0,00001284030d^4 \quad (13)$$

У регресионим једначинама (5 – 13) сви коефицијенти регресије су статистички значајни на нивоу ризика  $p < 0,003$ . Стандардне грешке регресије су мале и износе од 7,83 kg до 9,52 kg, а коефицијенти детерминације су јако високи, око 99,98%. Ови резултати су очекивани с обзиром на то да се радило о аналитичком изравнању претходно графички изравнатих података, пречник – висина стабала. Ипак, треба напоменути да се до најбољих регресионих једначина дошло провером више функција (од параболе другог реда до знатно сложенијих). Наиме, приликом изравнања података постојала је велика несразмера у апсолутној величини биомасе стабала од 10 до 160 cm, па је било тешко пронаћи регресиону једначину која би подједнако квалитетно изравнавала биомасу стабала у целом интервалу пречника. Ипак, у томе се успело са ограничењем да се регресионе једначине не могу користити за стабла пречника испод 10 cm. За ова стабла треба користити оригиналну једначину (1), што у пракси захтева мерење пречника и висине свим овим стаблима. И поред тога што се у нашим производним шумама букве

практично не јављају стабла пречника изнад 100 cm, задржане су високе вредности пречника стабала приликом изравнања података јер се ови пречници могу јавити у састојинама букве прашумских карактеристика, где такође често постоји велики интерес за процену биомасе и залиха угљеника.

Регресионе једначине (5 - 13) приказане су графички (графикон 1).



**Графикон 1.** Тарифе за биомасу стабала букве у Србији – укупна надземна биомаса стабала у kg  
**Diagram 1.** Tariffs for beech biomass in Serbia – total aboveground tree biomass in kg

### 3.2. Регресионе једначине за угљеник стабала

Девет тарифних низова за угљеник стабала букве дефинисано је помоћу девет регресионих једначина (14 - 22).

$$C = 90,3403 - 11,6434d + 0,644006d^2 - 0,000390809d^3 + 0,00000200507d^4 \quad (14)$$

$$C = 84,1622 - 11,0103d + 0,613089d^2 - 0,000370815d^3 + 0,00000196820d^4 \quad (15)$$

$$C = 63,3314 - 9,03835d + 0,546075d^2 - 0,000002483d^3 + 0,00000081952d^4 \quad (16)$$

$$C = 71,4874 - 9,78671d + 0,553190d^2 - 0,000392461d^3 + 0,00000202019d^4 \quad (17)$$

$$C = 75,0117 - 10,0835d + 0,547256d^2 - 0,000653452d^3 + 0,00000276597d^4 \quad (18)$$

$$C = 75,1562 - 9,98738d + 0,527976d^2 - 0,000782073d^3 + 0,00000319821d^4 \quad (19)$$

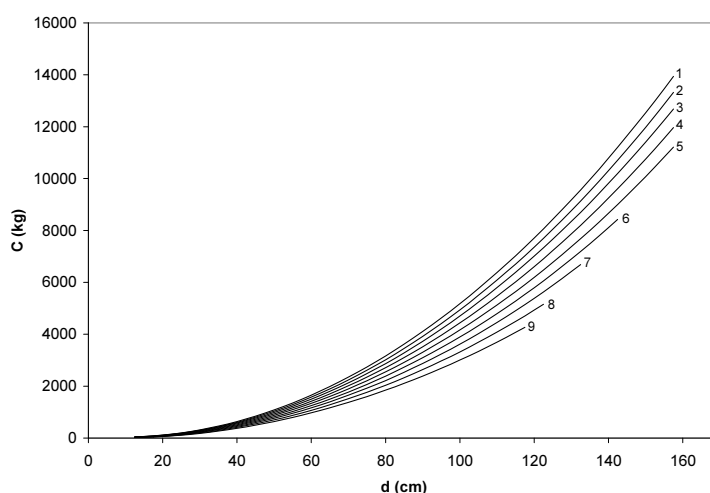
$$C = 74,4935 - 9,81937d + 0,506321d^2 - 0,000897253d^3 + 0,00000359469d^4 \quad (20)$$

$$C = 69,4036 - 9,28067d + 0,474859d^2 - 0,000933887d^3 + 0,00000361312d^4 \quad (21)$$

$$C = 71,7127 - 9,63935d + 0,476098d^2 - 0,001449240d^3 + 0,00000581178d^4 \quad (22)$$

У регресионим једначинама (14 – 22) сви коефицијенти регресије су статистички значајни на нивоу ризика  $p < 0,003$ . Стандардне грешке регресије су мале и износе од 4,01 kg до 4,82 kg, а коефицијенти детерминације су јако високи, око 99,98%. Ови резултати су очекивани с обзиром на то да се и овде радило о аналитичком изравнању претходно графички изравнатих података. При избору најбољег облика регресионих једначина били су присутни исти проблеми као и код избора једначина за биомасу стабала. Ове регресионе једначине не могу се користити за стабла пречника испод 10 cm. За ова стабла треба користити оригиналну једначину (3), што у пракси захтева мерење пречника и висине свим овим стаблима.

Регресионе једначине (14 - 22) приказане су графички (графикон 2).



**Графикон 2.** Тарифе за угљеник стабала букве у Србији – укупни угљеник у надземној биомаси стабла у kg

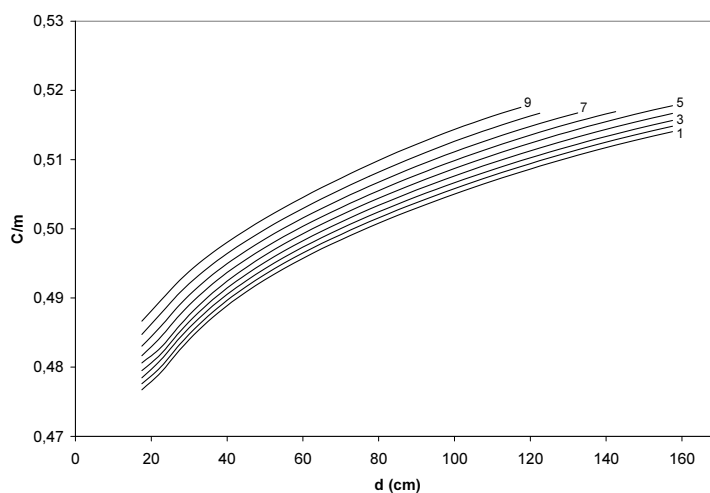
**Diagram 2.** Tariffs for beech carbon in Serbia – total carbon in aboveground tree biomass in kg

### 3.3. Удео угљеника у биомаси стабла

Удео угљеника у укупној надземној сувој биомаси стабла ( $105^{\circ}\text{C}$ ) је генерално око 50%. Међутим, стварни удео угљеника у биомаси стабла није константан већ варира уским границама, најчешће од 47% до 52%. Према истраживањима у западној Немачкој, удео угљеника у надземној биомаси стабала букве за четири региона био је статистички значајно различит и варирао је у просеку од 48,9% до 50,7% (J o o s t e n R. *et al.*, 2004). Иначе, удео угљеника зависи од више фактора: врсте дрвећа, димензија стабла, старости стабла, надморске висине, станишних услова, учешћа појединих компоненти стабла у његовој запремини и слично. Највећи утицај на садржај угљеника у укупној надземној биомаси стабла има прсни пречник, чак и до 99% (H a k k i l a , P., 1989). Приликом добијања оригиналних регресионих једначина за процену угљеника у надземној биомаси стабала коришћено је шест независно променљивих: пречник, висина, старост, надморска висина, станишни индекс и индекс густине састојине. Међутим, утицај станишног индекса и индекса густине састојине није био статистички значајан, па су одабрана

два најбоља модела. У првом моделу укључен је пречник и висина стабла, а у другом пречник, висина стабла и надморска висина (J o o s t e n R. *et al.*, 2004).

У овом раду коришћене су оригиналне регресионе једначине за процену биомасе (1) и угљеника (2) стабла које имају исте независно променљиве, пречник и висину стабла. Иако ове једначине нису добијене на основу истих моделних стабала код њихове примене дају резултате који су потпуно међусобно усклађени. Према томе, и наше регресионе једначине у виду тарифа за биомасу и угљеник стабла букве у Србији су усклађене (графикон 3).



**Графикон 3.** Удео угљеника у надземној биомеси стабала према тарифама за букву у Србији  
**Diagram 3.** Percentage of carbon in the aboveground tree biomass according to tariffs for beech in Serbia

На основу графикона 3, може се констатовати следеће:

- удео угљеника у сувој надземној биомаси стабала букве варира у просеку од 47,5% до 51,5%;
- са повећањем пречника и висине стабала истовремено повећава се удео угљеника у њиховој надземној биомаси на свим бонитетима станишта и
- при истом пречнику стабала са смањењем њихове висине, односно погоршањем бонитета станишта повећава се удео угљеника у надземној биомаси стабала.

#### 3.4. Примена и тачност регресионих једначина

За примену регресионих једначина биомасе (5 – 13) и угљеника стабла букве (14 – 22) потребно је претходно изабрати тарифни низ, односно одредити бонитет станишта, а затим проценити биомасу и залиху угљеника стабала и састојине. С обзиром на то да се при инвентури шума у Србији за утврђивање таксационих елемената састојине најчешће примењује узорак пробних површина, нису потребна

никаква додатна мерења да би се утврдила и биомаса, односно залиха угљеника стабала и састојине.

Ради илустрације примене регресионих једначина биомасе и угљеника изабрана је разнодобна састојина букве 33а у газдинској јединици Мајдан – Кучајна. Ради се о истој састојини која је раније коришћена за илустрацију примене регресионих једначина запремине и запреминског прираста стабла букве у високим шумама на подручју Србије (К о р и в и с а, М., М а т о в и ć, В., 2005).

Овде су дате само основне информације о начину премера састојине, ради могућности праћења даљег излагања. У састојини су постављене 23 пробне површине, облика круга и величине 500 m<sup>2</sup>, на растојању 100 x 100 m. Мерен је прсни пречник и висина свим стаблима на пробним површинама. Премерено је укупно 315 стабала изнад таксационе границе 10 cm. Касније је за сваку пробну површину и за састојину одређен тарифни низ, на начин који је детаљно описан у цитираном раду. Закључено је да је за одређивање тарифног низа пробне површине довољно измерити висину 3 – 5 стабала пречника 30 – 70 cm. У овој састојини били су заступљени тарифни нивои од 1 до 5, са различитом фреквенцијом. Просечни тарифни низ је био 2,74. Према томе, истраживана састојина букве припадала је другом бонитету станишта.

После примене регресионих једначина (1) и (5 - 13) за биомасу стабала и регресионих једначина (3) и (14 - 22) за угљеник стабала добијени су резултати приказани у табели 1.

**Табела 1.** Резултати процене биомасе и угљеника на пробним површинама у састојини букве

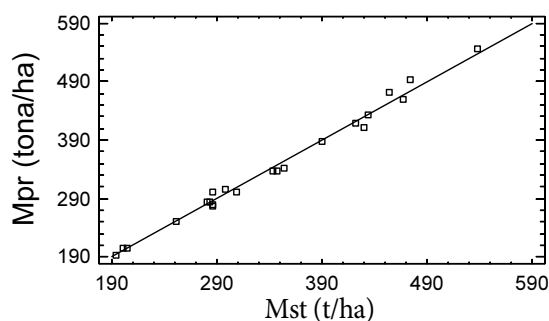
**Table 1.** Results of biomass and carbon estimation on sample plots in a beech stand

Број пробне површине	Биомаса стабала (изнад земље у kg/ha)		Угљеник у биомаси стабала (изнад земље у kg/ha)	
	По једначини (1)	По једначинама (5 - 13)	По једначини (3)	По једначинама (14 - 22)
1	392548,46	387987,40	195194,96	193082,40
2	355964,98	341773,00	175803,39	169036,90
3	202270,84	206263,50	99770,25	101689,10
4	424029,45	419220,60	210648,78	208401,50
5	206689,70	205512,34	101768,50	101364,06
6	432219,83	410430,45	213879,63	203415,63
7	470210,62	459203,76	233016,46	227821,98
8	287963,89	277868,11	142153,93	137339,51
9	436324,23	432419,49	215822,22	214116,87
10	477122,61	492464,24	235743,55	243099,61
11	345976,68	336907,20	170602,25	166309,37
12	285379,98	285404,38	140752,93	140866,88
13	288326,21	279224,76	142955,46	138627,21
14	253471,23	249919,44	126280,42	124641,90
15	196015,27	193341,85	95328,99	93994,18
16	186470,94	194257,00	93453,82	97267,82



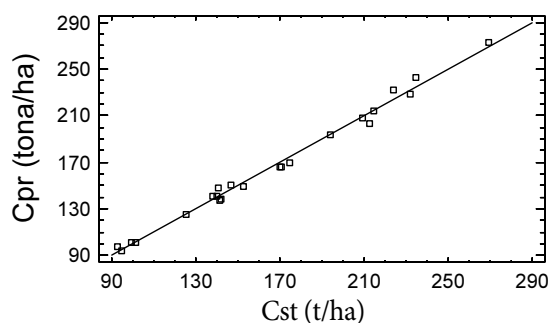
17	287195,70	300830,01	141191,78	147704,84
18	310703,38	301811,24	153794,53	149604,45
19	455915,11	470761,11	224929,59	232141,83
20	299421,31	305956,16	147705,59	150857,88
21	541300,53	545956,55	270511,30	272806,99
22	282348,50	285351,52	138978,98	140435,98
23	349024,39	337433,93	171538,40	166040,25

Методом линеарне корелације испитана је сагласност података датих у табели 1. Резултати су приказани графички (графикони 4 и 5). При потпуној сагласности података једначина праве линије има вредност параметара  $a = 0$  и  $b = 1$  (Stoјановић, О., 1976). С обзиром на то да су се стварне вредности параметара  $a$  и  $b$  статистички случајно разликовале од теоретских вредности ( $p < 0,001$ ), закључено је да постоји изузетно висока сагласност у подацима. То су потврдиле и високе вредности коефицијента детерминације, за биомасу 99,54% и за угљеник 99,57%.



**Графикон 4.** Корелација између биомасе стабала на пробним површинама процењене по оригиналној једначини (Mst) и по нашим регресионим једначинама (Mpr)

**Diagram 4.** Correlation between tree biomass on sample plots estimated by the original equation (Mst) and by our regression equations (Mpr)



**Графикон 5.** Корелација између угљеника стабала на пробним површинама процењеног по оригиналној једначини (Cst) и по нашим регресионим једначинама (Cpr)

**Diagram 5.** Correlation between tree carbon on sample plots estimated by the original equation (Cst) and by our regression equations (Cpr)

Применом метода дескриптивне статистике на податке у табели 1 добијени су статистички показатељи дати у табели 2.

**Табела 2.** Основни статистички показатељи биомасе и угљеника на пробним површинама (n = 23)

**Table 2.** Basic statistical indicators of biomass and carbon on sample plots (n = 23)

Статистички показатељи	Биомаса стабала (изнад земље у kg/ha)		Угљеник у биомаси стабала (изнад земље у kg/ha)	
	По једначини (1)	По једначинама (5 - 13)	По једначини (3)	По једначинама (14 - 22)
аритметичка средина	337691,0	335665,0	167036,0	166116,0
стандардна девијација	100697,0	100713,0	50185,1	50193,3
стандардна грешка	20996,9	21000,1	10464,3	10466,0
минимум	186471,0	193342,0	93453,8	93994,2
максимум	541301,0	545957,0	270511,0	272807,0
коэффициент асиметрије	0,26	0,40	0,29	0,41
коэффициент заобљености	2,15	2,31	2,19	2,36
коэффициент варијације	29,82	30,00	30,04	30,21

Подаци у табели 2 показују да постоји висок степен сагласности у величини статистичких параметара и за биомасу и за угљеник. Просечна биомаса састојине, процењена по оригиналној једначини, износи 337,69 t/ha, а по нашим регресионим једначинама 335,66 t/ha. Залиха угљеника у сувој биомаси, процењена по оригиналној једначини, износи 167,03 t/ha, а по нашим регресионим једначинама 166,16 t/ha. Коэффициент варијације у свим случајевима је око 30%, а релативна грешка процене, при вероватноћи од 95%, око +/- 13,00%. За исту састојину раније је утврђено да просечна запремина износи 522,2 m<sup>3</sup>/ha, коэффициент варијације је 31,3%, а релативна грешка процене +/- 13,05% (K o p r i v i с a , M., M a t o v i ć , B., 2010). Ово показује велику усклађеност између регресионих једначина добијених у виду тарифа за запремину, биомасу и угљеник стабала букве у високим шумама на подручју Србије. Такође, за мање регионе постоји скоро константан однос између запремине стабала, њихове апсолутно суве биомасе и садржаја угљеника.

Ради провере статистичког значаја разлике између аритметичких средина примењен је t – тест. За биомасу је t = 0,068, а за угљеник t = 0,062. У оба случаја разлика је статистички случајна на нивоу ризика p < 0,05. Такође, ради провере статистичког значаја разлике у варијабилитету примењен је F – тест. И за биомасу и за угљеник је F = 1,0003. У оба случаја разлика у варијабилитету је статистички случајна на нивоу ризика p < 0,001.

За тестирање статистичког значаја разлике између дистрибуција узорака примењен је Колмогоров - Смирнов тест. И за биомасу и за угљеник је K-S = 0,442, а максимална дистанца између кумулираних дистрибуција је DN = 0,1304. У оба случаја разлика између дистрибуција је статистички случајна на нивоу ризика p < 0,05.

Проведена тестирања су јасно показала да нема статистички значајне разлике између резултата добијених по оригиналним једначинама за процену биомасе (1) и угљеника (3) и по регресионим једначинама добијеним у овом раду за биомасу (5 - 13) и за угљеник (14 - 22). Такође, разлика није значајна ни практично. Просечна биомаса истраживане састојине букве по хектару, добијена помоћу наших регресионих једначина, мања је за - 0,60% , а за угљеник - 0,55%.

Према томе, добијене регресионе једначине као аналитички израз тарифа за биомасу (5 - 13) и за угљеник (14 - 22) стабла букве могу се успешно применити у пракси. Другим речима, ове регресионе једначине су истог степена поузданости као и оригиналне једначине (1) и (3).

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Проучавање биомасе и залихе угљеника у шумским екосистемима један је од приоритетних задатака шумарске науке у свету, због енергетске кризе и климатских промена. До сада је у овом погледу у Србији урађено врло мало, како методолошки тако и практично. Због тога је у овом раду разматран метод процене биомасе и залихе угљеника у високим буковим шумама на подручју Србије. На бази оригиналних једначина за процену биомасе и угљеника стабала букве добијених у Немачкој (Wutzler, T. *et al.*, 2008; Joosten, R. *et al.*, 2004) и на бази постојећих тарифа за процену запремине стабала букве у Србији (Mirković, D., 1969) добијене су одговарајуће регресионе једначине намењене за процену биомасе и угљеника стабала букве. Овим је привремено решен проблем економичне процене биомасе и залихе угљеника у високим буковим шумама, јер се директно могу користити подаци редовне уређајне инвентуре шума.

За примену добијених регресионих једначина потребно је познавати тарифни низ пробне површине или састојине и пречник мерених стабала изнад таксационе границе 10 см. За стабла испод таксационе границе треба познавати пречник и висину мерених стабала, јер се морају применити оригиналне једначине. С обзиром на то да се метод примене регресионих једначина за процену биомасе и залиха угљеника директно ослања на метод инвентуре шума помоћу систематског узорка пробних површина он је јако економичан и прецизан. Наравно, и овде се као и код процене других таксационих елемената стабла и састојине може поставити питање тачности процене која је увек додатно условљена са више фактора техничке природе извођења узорка, самог мерења и примене таблица.

Удео угљеника у сувој биомаси стабала букве није константан, иако варира у уским границама, већ зависи од више фактора, а првенствено од пречника стабала. Самим тим, дебљинска структура састојине има пресудан утицај на количину биомасе и залихе угљеника. На свим бонитетима станишта са повећањем пречника и висине стабала истовремено повећава се удео угљеника у биомаси. При истом пречнику стабала са погоршањем бонитета станишта, односно смањујем висине стабала, повећава се удео угљеника у сувој биомаси стабла. Према овом истраживању, удео угљеника у надземној сувој биомаси стабала букве варира од 47,5% до 51,5%.

Прецизност процене биомасе и залихе угљеника високе састојине букве помоћу добијених регресионих једначина у виду тарифа скоро је иста као и процена добијена помоћу одабраних оригиналних једначина, али је њихова значајна предност у томе што није потребно сваком стаблу у узорку мерити висину. Ово је потврђено применом метода линеарне корелације и више статистичких тестова, јер је разлика у процени биомасе и залихе угљеника увек била статистички случајна. Просечна биомаса састојине, процењена по оригиналној једначини, износи 337,69 тона/ха, а по добијеним регресионим једначинама 335,66 т/ха. Такође, залиха угљеника у сувој биомаси, процењена по оригиналној једначини, износи 167,03 тона/ха, а по регресионим једначинама 166,16 тона/ха. Коефицијент варијације, при величини пробне површине облика круга 500 м<sup>2</sup>, у свим случајевима је око 30%, а релативна грешка процене, при вероватноћи 95%, око +/- 13,00%.

## ЛИТЕРАТУРА

- Bar t e l i n k, H. H. (1997): Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L). Ann. Sci. For. 54: 39–50.
- C a n n e l l, M. G. R. (1983): World forest biomass and primary production data. Academic Press, London, 391 p.
- C i e n c i a l a, E., C e r n y, M., A p l t a u e r, J., E x n e r o v a, Z. (2006): Biomass functions applicable to European beech. J. For. Sci. 51: 147–154.
- H a k k i l a, P. (1989): Utilization of Residual Forest Biomass. Springer, Berlin, 568 p.
- J e n k i n s, J. C., C h o j n a c k y, D. C., H e a t h, L. S., B i r d s e y, R. A. (2003): National-scale biomass estimators for United States tree species. For. Sci. 49: 12–35.
- J o o s t e n, R., S c h u m a c h e r, J., W i r t h, C., S c h u l t e, A. (2004): Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. For. Ecol. Manag. 189: 87–96.
- H a d ž i v u k o v i ć, S., Z e g n a l, R., Č o b a n o v i ć, K. (1982): Regresiona analiza. Privredni pregled, Beograd.
- H a d ž i v u k o v i ć, S. (1981): Statistički metodi. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- K a u p p i, P. E., M i e l i k a i n e n, K., K u u s e l a, K. (1992): Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. Science 256: 70–74.
- K ö r n e r, C., F a r q u h a r G. D., R o k s a n d i c, S. (1988): A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude. Oecologia 74:623–632.
- K ö r n e r, C., F a r q u h a r G. D., W a n g, S. C. (1991): Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends. Oecologia 88:30–40.
- K o p r i v i c a, M., M a t o v i ć, B. (2005): Regresione jednačine zapremine i zapreminskog prirasta stabala bukve u visokim šumama na području Srbije. Zbornik radova, tom 52-53, Institut za šumarstvo, str. 5-17, Beograd.
- K o p r i v i c a, M., M a t o v i ć, B., J o v i ć, Đ. (2010): Estimates of biomass in a submontane beech high forest in Serbia. Acta silvatica and lingaria hungarica, Volume 6, pp 161-170.
- К р с т и ћ, М., С т о ј а н о в и ћ, Љ. (1993): Стање букових и храстових шума на подручју североисточне Србије са аспекта коришћења дрвне масе. Шумарство, XLVI (3-5):89-96.
- L i s k i, J., L e h t o n e n, A., P a l o s u o, T., P e l t o n i e m i, M., E g g e r s, T., M u k k o n e n, P. and M a k i p a, R. (2006): Carbon accumulation in Finland's

- forests 1922–2004 — an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Ann. For. Sci.* 63: 687–697.
- Le ba u b e, S., Le G o f f, N., O t t o r i n i, J. M., G r a n i e r, A. (2000): Carbon balance and tree growth in a *Fagus sylvatica* stand. *Ann. For. Sci.* 57: 49–61.
- L u k i ć, N., K r u ž i ć, T. (1996): Procjena biomase obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u panonskom dijelu Hrvatske. Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava. Znanstvena knjiga 1; 131-136, Zagreb.
- M a r k l u n d, L. G. (1987): Biomass functions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Sweden. Rapport – Skog. 43. Department of Forest Survey, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- M a r j a n o v i ć, H., O s t r o g o v i ć, M. Z., P a l a d i n i ć, E., B a l e n o v i ć, I., I n d i r, K., V r b e k, B. (2010): Prve procjene zalihe ugljika u bukovo-jelovoj sastojini u Hrvatskoj. Rukopis. Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko.
- M i r k o v i ć, D. (1969): Priručnik za određivanje zapremine i zapreminskog prirasta u bukovim sastojinama SR Srbije pri uređajnim radovima. Institut za šumarstvo i drvnu industriju, Beograd.
- M u n d, M. (2004): Carbon pools of European beech forests (*Fagus sylvatica*) under different silvicultural management. University Goettingen, Goettingen.
- M u k k o n e n, P. (2007): Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. *Eur. J. For. Res.* 126: 157–166.
- N a b u u r s, G. J., S c h e l h a a s, M. J., M o h r e n, G. M. J., F i e l d, C. B. (2003): Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Glob. Change Biol.* 9: 152–160.
- R a u p a c h, M. R., R a y n e r, P. J., B a r r e t t, D. J., D e F r i e s, R. S., H e i m a n n, M., O j i m a, D. S., Q u e g a n, S., S c h m u l l i u s, C. C. (2005): Model-data synthesis in terrestrial carbon observation: methods, data requirements and data uncertainty specifications. *Glob. Change Biol.* 11: 378–397.
- T h u r i g, E., S c h e l h a a s, M. J. (2006): Evaluation of a large-scale forest scenario model in heterogeneous forests: a case study for Switzerland. *Can. J. For. Res.* 36.
- V a n c l a y, J. K., S k o v s g a a r d, J. P. (1997): Evaluating forest growth models. *Ecol. Model.* 98: 1–12.
- W i a n t H. V. J., H a r n e r E. J. (1979): Percent bias and standard error in logarithmic regression, *For. Sci.* 25 167–168.
- W i d l o w s k i, J.-L., V e r s t r a e t e, M. M., P i n t y, B., G o b r o n, N. (2003): Allometric relationships of selected European tree species. Tech. Rep. EUR 20855 EN. EC Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- W u t z l e r, T., W i r t h, C., S c h u m a c h e r, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. *Can. J. For. Res.* 38: 1661–1675.
- Z i a n i s, D., M e n c u c c i n i, 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: 439–448.
- Z i a n i s, D., M e n c u c c i n i, M. (2005): Aboveground net primary productivity of a beech (*Fagus moesiaca*) forest: a case study of Naousa Forest, northern Greece. *Tree Physiol.* 25: 713–722.
- Ш о ш к и ћ, Б. (2003): Могућност коришћења и прераде буковог дрвета. Шумарство, LVI (1-2):173-186.

## REGRESSION EQUATIONS OF BEECH BIOMASS AND CARBON IN HIGH FORESTS IN SERBIA

*Miloš Koprivica*  
*Bratislav Matović*

### S u m m a r y

In order to solve the complex problems of energy crisis and climate changes in the world, great significance is assigned to the study of biomass and carbon budgets in forest ecosystems. Most studies focus on the effect of contamination and climate changes on the development and stability of forest ecosystems in general, as well as on their effect on the mitigation of negative impacts of climate changes. The range of numerous investigations also includes the regression equations for the evaluation of biomass and carbon budgets of various tree species in many regions. The greatest number of papers is focused on European beech (*Fagus sylvatica* L). In Serbia, biomass and carbon stocks in forest ecosystems have not been much researched to date, consequently there are no suitable regression equations for their estimation. Instead, different coefficients of general value were used for the conversion of stand volume into biomass and carbon stocks. For this reason, this study is aimed at the development of the appropriate regression equations for beech biomass and carbon in high forests in Serbia. The study is based on the original equations for European beech developed in Germany (Wutzler, T. *et al.* 2008, Joosten, R. *et al.* 2004) and volume tariffs for beech in Serbia (Mirković, D. 1969). Regression equations used in this paper were made by the combination of the results by the above authors, and they are presented in the form of tariffs for beech biomass (5 – 13) and carbon (14 – 22). It was found that the percentage of carbon in beech biomass depended on tree diameter and on tariff series, i.e. tree height. Carbon percentage in the aboveground dry biomass varied between 47.5% and 51.5%. The application of regression equations was presented and their exactness in the calculation of biomass and carbon was tested in a high beech stand. The average stand biomass estimated by the original equation amounted to 337.69 tons/ha, and by the study regression equations it was 335.66 tons/ha. Also, carbon stock in dry biomass estimated by the original equation was 167.03 tons/ha, and by the study regression equations - 166.16 tons/ha. The coefficient of variation on circular sample plots of 500 m<sup>2</sup>, in all cases, accounted to about 30% and relative error of estimation at 95% probability, to about +/- 13.00%. It was concluded that the study regression equations were economical and precise and that they could be simply applied in the estimation of biomass and carbon stock in high beech forests in Serbia. The simplest method is to use the data of the national forest inventory directly (tariff series and dbh), measured in the stands using the systematic sampling procedure.