

## ПОВЕЋАЊЕ ПРЕЦИЗНОСТИ ПРОЦЕНЕ ЗАПРЕМИНСКОГ ПРИРАСТА ГАЗДИНСКЕ КЛАСЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДА РЕГРЕСИЈЕ У ДВОФАЗНОМ УЗОРКУ

МИЛОШ КОПРИВИЦА<sup>1</sup>  
БРАТИСЛАВ МАТОВИЋ<sup>2</sup>  
ЗОРАН МАУНАГА<sup>3</sup>

**Извод:** У раду је разматрана могућност повећања прецизности процене запреминског прираста газдинске класе високих букових шума, у случају када се за инвентуру шума користи двофазни узорак. Истраживање је експерименталног типа. У првој фази изабран је већи узорак са 240 пробних површина, облика круга и величине 500 m<sup>2</sup>, а у другој фази из овог узорака изабрана су четири мања узорка по 60 пробних површина. Анализом варијансе потврђено је да су сви узорци изабрани у другој фази репрезентативни. Главна променљива је запремински прираст, а помоћна променљива је запремина или темељница по хектару. За корекцију процене запреминског прираста газдинске класе примењен је метод регресије. После корекције запреминског прираста помоћу запремине као помоћне променљиве добијене су мање стандардне грешке, односно повећана је прецизност процене прираста у газдинској класи по хектару и на укупној површини. Релативне грешке узорака, при вероватноћи од 95%, пре корекције износиле су: +/- 9,86%, +/- 8,56%, +/- 8,66% и +/- 9,60%, а после корекције: +/- 8,98%, +/- 7,46%, +/- 6,86% и +/- 7,81%. За постизање прецизности процене запреминског прираста добијене после корекције, изабрани узорци у другој фази величине по 60 пробних површина били би већи приближно за 20 – 60%.

**Кључне речи:** запремински прираст, запремина, газдинска класа, двофазни узорак, метод регресије, прецизност.

### INCREASING THE PRECISION OF ESTIMATE OF MANAGEMENT CLASS VOLUME INCREMENT BY REGRESSION METHOD IN TWO-PHASE SAMPLING

**Abstract:** Potential increase in the precision of estimate of management class volume increment in high beech forests was studied in the case when two phase sampling was applied in forest inventory. The type of investigation used was experimental. The first phase consisted of a larger sample of 240 circular sample plots sized 500 m<sup>2</sup>, and in the second phase four smaller samples of 60 sample plots each were selected from the first sample. The analysis of variance showed that all samples selected in the second phase were representative. The main variable is volume increment and the auxiliary variable is volume or basal area per hectare. The correction of estimate of stand volume increment was performed by regression method. The result of the correction of volume increment, using the volume as an auxiliary variable, were smaller standard errors, i.e. there was an increase in the precision of estimate of stand volume increment per hectare and per total area. Relative errors of the samples, at 95% probability before correction accounted for: +/- 9.86%, +/- 8.56%, +/- 8.66% and +/- 9.60%, and after correction: +/- 8.98%, +/- 7.46%, +/- 6.86% and +/- 7.81%, respectively. If there was no correction, the precision of estimate of volume increment after correction could have been

- 1 др Милош Копривица, Институт за шумарство, Београд
- 2 др Братислав Матовић, Институт за низијско шумарство и животну средину, Нови Сад
- 3 др Зоран Маунага, Шумарски факултет, Бања Лука

reached if the selected samples in the second phase, consisting of 60 sample plots each, were approximately 20 – 60% larger.

**Key words:** volume increment, volume, management class, two phase sampling, regression method, precision.

## 1. УВОД

Одређивање запреминског прираста састојине или газдинске класе у инвентури шума увек представља проблем због начина и трошкова његовог утврђивања. У многим земљама Европе скоро искључиво примењивао се *метод дебљинског прираста*, односно метод бушења стабала и утврђивање дебљинског прираста помоћу Преслеровог сврдла. Овај метод је примењиван раније и при инвентури шума у Србији. Међутим, у последњој деценији уместо овог метода примењује се *метод процента запреминског прираста* (Б а н к о в и ћ , С. *et al.*, 2000). И поред великог значаја овог таксационог елемента, за успешно планирање газдовања шумама он се најчешће утврђује са много мањом тачношћу од запремине. У природним разнодобним шумама ова два таксациона елемента имају сличну величину коефицијента варијације па би се при истој величини узорка пробних површина добила и слична прецизност њихове процене (К о р г и в и с а , М., 2004).

Међутим, запремински прираст се најчешће утврђује на знатно мањем узорку пробних површина у односу на узорак за утврђивање запремине. Тако на пример, у БиХ при инвентури шума примењује се већ педесет година систематски узорак пробних површина различите величине (М а т и ć , V., 1977). За утврђивање броја стабала, темељнице и запремине користи се најчешће растојање између пробних површина 100 x 100 m, а за запремински прираст, квалитативну структуру запремине, запремину пробне дознаке и подмладак, растојање пробних површина је 200 x 200 m. Према томе, у другом случају узорак је четири пута мањи. Последица тога је приближно за два пута већа релативна грешка процене запреминског прираста од грешке процене запремине. Такође, релативна грешка процене запремине пробне дознаке већа је приближно за четири пута од грешке процене запремине (К о р г и в и с а , М. 1984, 2004).

Посматрано статистички, примењивани тип узорка познат је као двофазни узорак. Међутим, већи и мањи узорак пробних површина изабраних у првој и другој фази рада (које се на терену изводе истовремено), при обради података, коришћени су као два потпуно независна једноставна узорка. Иначе, поред двофазног и вишефазног узорка у модерној инвентури шума примењују се и други планови узорка: једноставни, стратификовани, блоковски, двоетапни и вишеетапни, узорак група и слично (М и р к о в и ć , D., В а н к о в и ć , S., 1993; К а н г а s , A., М а л т а т о , M., 2006; L a a r , V. A., А к с а , A., 2007). Главни циљ примене различитих планова, односно типова узорка је постизање максималне прецизности (тачности) процене параметара мерене шуме (инвентурне јединице) уз минималне трошкове.

Двофазни узорак је подесан за инвентуру шума из финансијских и практичних разлога. У првој фази узима се већи узорак, а у другој фази из тог узорка ма-

њи узорак. Због тога, овај тип узорка назива се још и дупли узорак или узорак из узорка. Двофазни узорак може да се користи и тако да узорак изабран у првој фази служи за утврђивање величине помоћне (независно) променљиве, а узорак изабран у другој фази за утврђивање величине главне (зависно) променљиве. Између променљивих мора да постоји одређени степен линеарне корелације. По правилу, помоћна променљива се утврђује лакше и јефтиније од главне променљиве. На пример, за састојину или газдинску класу помоћна променљива може бити темељница или запремина, а главна променљива запремински прираст стабала на пробним површинама, који су најчешће екстраполисани на хектар.

Техника и ефикасност примене двофазног узорка у инвентури шума при процени запремине једне газдинске класе високих букових шума, по хектару и укупно, разматрана је раније (К о р и в и с а, М., 2011).

Задатак овог рада је да на примеру исте газдинске класе високих букових шума презентује технику процене запреминског прираста, по хектару и укупно, помоћу једноставног двофазног узорка, као и да оцени ефекат његове примене. Циљ рада је постизање веће прецизности процене запреминског прираста од прецизности која се у инвентури шума постиже помоћу једноставног узорка.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

Истраживану газдинску класу високих букових шума чини једанаест састојина, укупне површине 240 ha. Применом систематског узорка пробних површина величине 500 m<sup>2</sup>, које су постављене на растојању 100 x 100 m, утврђена је величина најзначајнијих таксационих елемената. Овде су посматрана три таксациона елемента: темељница, запремина и запремински прираст, екстраполисани са величине пробне површине на хектар (К о р и в и с а, М., М а т о в и ć, В., 2005). Запремински прираст је посматран као главна променљива, а запремина или темељница као помоћна променљива.

Према томе, узорак изабран у првој фази имао је  $n_1 = 240$  пробних површина. На основу овог узорка утврђене су све статистичке величине за посматрана три таксациона елемента. То је урађено да би се могла контролисати прецизност процене запреминског прираста на основу узорка изабраних у другој фази. У другој фази, из већ изабраног узорка у првој фази, изабрана су систематским методом четири мања узорка исте величине  $n_2 = 60$  пробних површина. Наравно, са различитим елементима. Претпостављено је да је запремински прираст приликом инвентуре шума утврђиван на свакој четвртој пробној површини, чије је растојање 200 x 200 m. Практично, већи узорак са 240 пробних површина подељен је на 60 група са по четири пробне површине. При избору првог узорка узета је као почетна прва пробна површина, затим код другог узорка друга, код трећег узорка трећа и код четвртог узорка четврта. Корак избора био је увек исти и једнак величини групе. Тако су у другој фази избора добијена четири систематска узорка величине по 60 пробних површина. Узорак који је изабран у првој фази био је увек исте величине и имао је укупно 240 пробних површина.

Техника примене метода регресије у двофазном узорку за повећање прецизности процене запреминског прираста приказана је у оквиру изнетих резултата истраживања, ради лакшег разумевања самог метода.

За дендрометријску обраду података коришћени су програми SORTIMENT (Marković, N. *et al.*, 2005) и EXCEL, а за статистичку обраду програм STAT-GRAPHICS, верзија 5,0.

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

#### 3.1. Карактеристике узорка изабраног у првој фази

Статистички показатељи узорка изабраног у првој фази дати су у табели 1.

**Табела 1.** Статистички показатељи узорка изабраног у првој фази ( $n_1 = 240$ )

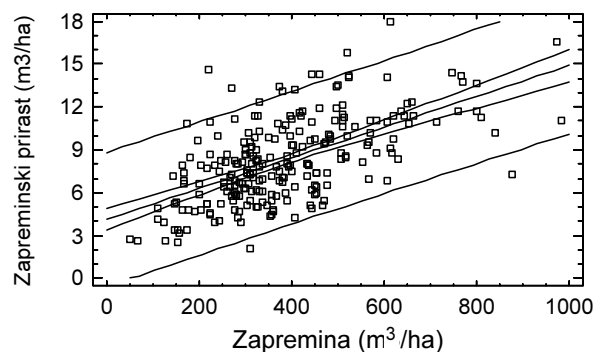
**Table 1.** Statistical indicators of the sample selected in the first phase ( $n_1 = 240$ )

Статистички показатељ	Таксациони елемент		
	Запремина	Темељница	Прираст
Аритметичка средина	384,39 m <sup>3</sup> /ha	26,955 m <sup>2</sup> /ha	8,2681 m <sup>3</sup> /ha
Варијанса	26826,3	82,6957	8,62106
Стандардна девијација	163,787 m <sup>3</sup> /ha	9,09371 m <sup>2</sup> /ha	2,93616 m <sup>3</sup> /ha
Стандардна грешка	10,5724 m <sup>3</sup> /ha	0,586997 m <sup>2</sup> /ha	0,189529 m <sup>3</sup> /ha
Коефицијент варијације	42,61 %	33,69 %	35,51 %
Релативна грешка узорка	5,39 %	4,25 %	4,49 %

На основу података у табели 1 види се да су просечне вредности запремине (384,39 m<sup>3</sup>/ha), темељнице (26,95 m<sup>2</sup>/ha) и запреминског прираста (8,268 m<sup>3</sup>/ha) посматране газдинске класе високих букових шума утврђене са великом прецизношћу. Релативна грешка узорка, при вероватноћи од 95% и степену слободe 239 ( $t = 1,96$ ) је: за запремину +/- 5,39%, за темељницу +/- 4,25% и за запремински прираст +/- 4,49%.

С обзиром на то да се радило о изузетно пажљивим и стручним мерењима на терену, као и о избору адекватних метода и прецизној обради података, може се тврдити да је и тачност добијених резултата висока. Напомињемо да појмови *прецизност* и *тачност* код процене параметара скупа помоћу узорка најчешће немају исто значење (P r a n j i ć, A., 1987; H a d ž i v u k o v i ć, S., 1995; K o p r i v i c a, M., 2006).

Ипак, у инвентури шума запремински прираст се најчешће не утврђује на узорку свих пробних површина, већ на знатно мањем узорку. Самим тим, прецизност и тачност процене запреминског прираста је много мања. Међутим, познато је да је запремински прираст увек у статистичкој вези са запремином или темељницом састојине, односно газдинске класе, па се ова веза може искористити за повећање прецизности његове процене. Ради илустрације, приказана је веза запреминског прираста и запремине у посматраном узорку са 240 пробних површина, екстраполираних на хектар (графикон 1).



**Графикон 1.** Зависност запреминског прираста од запремине на пробним површинама  
**Diagram 1.** Dependence of volume increment on the volume in sample plots

За састојину постоји извесно статистичко ограничење јер узорак који је изабран у другој фази не може бити јако мали. Међутим, за газдинску класу овај проблем не постоји. При већем узорку и при већем коефицијенту корелације између главне и помоћне променљиве све је већи ефекат примене метода регресије у двофазном узорку (На д ђ и в у к о в и ć , S., 1975; L a a r , V. A., A k c a , A., 2007).

У узорку су утврђени и статистички показатељи једноставне линеарне везе између запреминског прираста ( $I_v$ ) и запремине ( $V$ ), односно између запреминског прираста и темељнице ( $G$ ). Добијени су следећи резултати:

$$I_v = 4,13284 + 0,0107579 V \quad S_e = 2,3536 \text{ m}^3/\text{ha} \quad r = 0,6001$$

$$I_v = 3,75202 + 0,1672930 G \quad S_e = 2,5166 \text{ m}^3/\text{ha} \quad r = 0,5181$$

Види се да линеарна веза између запреминског прираста и запремине има бољи квалитет изравнања података од линеарне везе између запреминског прираста и темељнице. У првом случају коефицијент корелације је већи, а стандардна грешка регресије мања. На основу ових резултата може се закључити да је код примене метода регресије у изабраном двофазном узорку боље користити запремину као помоћну променљиву за повећање прецизности процене запреминског прираста него темељницу.

Међутим, не треба потпуно одбацити ни темељницу као могућу помоћну променљиву јер се она на терену утврђује релативно брзо и прецизно. Темељница може у одређеним случајевима да буде помоћна променљива за процену запремине или запреминског прираста, јер је познато да између запремине и темељнице састојине или газдинске класе увек постоји јака линеарна корелација. У посматраном узорку је  $r = 0,8826$ .

У раду К о р г и в и с а , М. (2011) истраживана је могућност повећања прецизности процене запремине газдинске класе високих букових шума помоћу темељ-

нице као помоћне променљиве. Добијено је значајно повећање прецизности процене.

Такође, примена двофазног узорка у инвентури шума може бити значајна и у случају кад не располажемо одговарајућим таблицама за процену запремине или запреминског прираста по хектару и укупно, а постоји могућност да се на релативно малом броју пробних површина сва стабла оборе и детаљно премемере, односно да се секционим методом прецизно утврди њихова запремина и запремински прираст.

### 3.2. Карактеристике узорака изабраних у другој фази

Као што је већ наведено, у другој фази из узорка изабраног у првој фази ситетским методом изабрана су четири мања узорка исте величине ( $n_2 = 60$ ). Наравно, са различитим елементима. Тако је урађено ради сигурнијег закључивања, јер је познато да сви параметри изабраних узорака из истог скупа варирају. На прецизност процене параметара скупа помоћу узорка утиче варијабилитет елемената у скупу (узорку) и величина изабраног узорка. Ово је експериментално, теоретско разматрање проблема, а у пракси се узима искључиво само један узорак у другој фази избора, на бази кога се процењује нпр. запремински прираст, квалитет стабла и залихе у састојини, сортиментна структура и слично.

Статистички показатељи узорака изабраних у другој фази дати су у табели 2.

Појединачно, узорци изабрани у другој фази су четири пута мањи од узорака изабраних у првој фази. С обзиром на то да је коефицијент варијације таксационих елемената приближно исти, релативна грешка узорка, при вероватноћи 95% и степену слободе 59, приближно је за два пута већа. У просеку, за запремину је +/- 11,05%, за темељницу +/- 8,74% и за запремински прираст +/- 9,17%. Ова прецизност процене таксационих елемената била би довољна за састојину, али се за газдинску класу површине око 240 ha не може прихватити као довољна. Ради могућности израде поузданих планова газдовања потребна је већа прецизност процене запремине и запреминског прираста од постигнуте на бази изабраних узорака у другој фази.

У циљу тестирања статистичког значаја разлике између средина узорака за све посматране таксационе елементе примењен је метод једноставне анализе варијансе (Надџић, С., 1991).

F-тест је показао да је разлика између просечних величина запремине, темељнице и запреминског прираста по хектару који су утврђени у узорцима статистички случајна. За запремину је  $F = 0,40$  ( $p = 0,7512$ ), за темељницу  $F = 0,38$  ( $p = 0,7659$ ) и за запремински прираст  $F = 0,94$  ( $p = 0,4201$ ). Према томе, за запремину и темељницу вероватноћа да је разлика између средина узорака статистички случајна је око 75%, а за запремински прираст 42%. Аналогно овоме, вероватноће да је разлика између средина узорака за запремину и темељницу статистички значајна је 25%, односно 58% да је разлика између средина узорака за запремински прираст статистички значајна. Наравно, најпрецизнији је узорак који има најмању релативну грешку средине.

**Табела 2.** Статистички показатељи узорака (1-4) изабраних у другој фази ( $n_2 = 60$ )  
**Table 2.** Statistical indicators of the samples (1-4) selected in the second phase ( $n_2 = 60$ )

Статистички показатељ	Таксациони елемент					
	Запремина		Темељница		Прираст	
Аритметичка средина	(1) 393,21 (3) 384,41	(2) 394,59 (4) 365,35	(1) 27,982 (3) 26,840	(2) 26,930 (4) 26,227	(1) 8,308 (3) 8,752	(2) 8,138 (4) 7,875
Варијанса	27549,6 23460,4	26621,3 30484,2	85,943 76,511	77,326 93,587	10,0784 8,6010	7,2686 8,5605
Стандардна девијација	165,981 153,168	163,160 174,597	9,2705 8,7471	8,7935 9,6740	3,1746 2,9327	2,6960 2,9258
Стандардна грешка	21,4280 19,7739	21,0639 22,5404	1,1968 1,1292	1,1352 1,2489	0,4098 0,3786	0,3481 0,3777
Коефицијент варијације (%)	42,21 39,84	41,35 47,79	33,13 32,58	32,65 36,89	38,21 33,51	33,13 37,15
Релативна стандардна грешка (+/- %)	5,45 5,14	5,34 6,17	4,28 4,21	4,22 4,76	4,93 4,33	4,28 4,80

Данкенов (Duncan) тест је у свим случајевима, односно за сваки таксациони елемент посебно, показао да сви узорци припадају једној хомогеној групи. Такође, интервал поверења утврђен на основу узорка изабраног у првој фази за запремину и темељницу укључује средине свих узорака изабраних у другој фази. Другим речима, сви узорци изабрани у другој фази су репрезентативни за посматрани скуп (газдинску класу). Само код запреминског прираста интервал поверења средине узорка изабраног у првој фази не укључује средину трећег узорка изабраног у другој фази. Према томе, ова разлика је статистички значајна. Изнете констатације могу се рачунски проверити на основу података датих у табелама 1 и 2.

У узорцима су утврђени и статистички показатељи једноставне линеарне везе између запреминског прираста и запремине, односно између запреминског прираста и темељнице по хектару (табела 3).

**Табела 3.** Статистички показатељи везе запреминског прираста са запремином и темељницом

**Table 3.** Statistical indicators of the correlation between volume increment and volarea

Узорак	Регресиона једначина	Стандардна грешка регресије ( $m^3/ha$ )	Коефицијент корелације
1.	$I_v = 4,53920 + 0,00958495 V$	2,7708	0,5011
	$I_v = 3,60457 + 0,16808900 G$	2,7896	0,4908
2.	$I_v = 4,32192 + 0,00967023 V$	2,2049	0,5852
	$I_v = 4,38402 + 0,13938500 G$	2,4219	0,4546
3.	$I_v = 3,57108 + 0,01347680 V$	2,1011	0,7038
	$I_v = 2,95211 + 0,21607700 G$	2,2617	0,6445
4.	$I_v = 3,98268 + 0,01065330 V$	2,2779	0,6357
	$I_v = 3,95021 + 0,14964100 G$	2,5644	0,4948

У свим узорцима бољи је квалитет линеарног изравнања података између запреминског прираста и запремине у односу на изравнање између запреминског прираста и темељнице. Према томе, примена метода регресије при корекцији просечне величине запреминског прираста добијене у узорцима биће боља у првом случају. Због тога, веза између запреминског прираста и темељнице даље није ни коришћена.

### 3.3. Корекција процене запреминског прираста методом регресије

Да би применили метод регресије за повећање прецизности процене запреминског прираста газдинске класе (по хектару и укупно) потребно је, на основу узорка изабраног у другој фази, одредити параметре линеарне регресије између запреминског прираста (главне променљиве) и запремине (помоћне променљиве), као и коефицијент корелације. За четири узорка изабрана у другој фази то је већ урађено, а резултати су дати у табели 3.

На пример, за први узорак резултати су следећи:

$$I_v = 4,53920 + 0,00958495V$$

$$r = 0,5011$$

Познато је да права увек пролази кроз средњу тачку. Према томе, ако узорак изабран у првој фази означимо индексом 1, а узорак изабран у другој фази индексом 2, између средина њихових променљивих постоји релација,

$$\bar{I}_{v1} - \bar{I}_{v2} = b(\bar{V}_1 - \bar{V}_2), \text{ односно } \bar{I}_{v1} = \bar{I}_{v2} + b(\bar{V}_1 - \bar{V}_2)$$

Даље следи

$$\bar{I}_{v1} = a + b\bar{V}_1 \quad (1)$$

Према томе, кориговани запремински прираст у овом узорку је

$$\bar{I}_v = 4,53920 + 0,00958495 \cdot 384,39$$

$$\bar{I}_v = 8,223 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Користећи величину просечне запремине газдинске класе по хектару која је утврђена у узорку изабраном у првој фази добијена је нова процена просечне величине запреминског прираста газдинске класе по хектару. Пре корекције просечна величина запреминског прираста у узорку износила је  $8,308 \text{ m}^3/\text{ha}$ , са стандардном грешком  $\pm 0,4098 \text{ m}^3/\text{ha}$ . После корекције просечни запремински прираст је  $8,223 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Поставља се питање колика је његова стандардна грешка.

Варијанса стандардне грешке средине у овом случају може се добити по формули

$$S_{iv1}^2 = S_{iv2}^2 ((1 - r^2)/n_2 + (r^2/n_1)) \quad (2)$$



У датом примеру је

$$S_{iv}^2 = 10,0784 ((1 - 0,5011^2) / 60 + (0,5011^2 / 240))$$

$$S_{iv}^2 = 0,13634, \text{ односно } S_{iv} = \pm 0,3692 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Према томе, после корекције стандардна грешка просечне величине запреминског прираста по хектару је мања, односно прецизност процене је већа.

Стварна просечна величина запреминског прираста газдинске класе после корекције, са вероватноћом 95% и степеном слободe 59 ( $t = 2,00$ ), налази се у интервалу од  $7,485 \text{ m}^3/\text{ha}$  до  $8,961 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Ширина интервала поверења је  $1,476 \text{ m}^3/\text{ha}$ , а грешка узорка  $\pm 0,738 \text{ m}^3/\text{ha}$  или  $\pm 8,98\%$ . Укупни запремински прираст газдинске класе после корекције налази се у интервалу од  $1796,40 \text{ m}^3$  до  $2150,64 \text{ m}^3$ . Грешка узорка је  $\pm 177,12 \text{ m}^3$  или  $\pm 8,98\%$ .

Пре корекције просечна величина запреминског прираста газдинске класе, процењена на основу првог узорка изабраног у другој фази, при истој вероватноћи и истом степену слободe, налазила се у интервалу од  $7,488 \text{ m}^3/\text{ha}$  до  $9,127 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Ширина интервала поверења била је  $1,679 \text{ m}^3/\text{ha}$ , а грешка узорка  $\pm 0,820 \text{ m}^3/\text{ha}$  или  $\pm 9,87\%$ . Укупни запремински прираст газдинске класе пре корекције налазио се у интервалу од  $1797,12 \text{ m}^3$  до  $2190,48 \text{ m}^3$ , а грешка узорка била је  $\pm 196,68 \text{ m}^3$  или  $\pm 9,87\%$ .

Према томе, после корекције запреминског прираста релативна грешка је мања за 1,0991 пута. Другим речима, да није извршена корекција за постизање грешке узорка од  $\pm 8,98\%$  био би потребан узорак приближно величине 72 пробне површине ( $60 \cdot 1,0991^2$ ). Овај узорак био би већи за 20% од величине коришћеног узорка са 60 пробних површина.

Користећи описани поступак метода регресије у двофазном узорку извршена је корекција просечне величине запреминског прираста по хектару и у остала три узорка изабрана у другој фази. Резултати за сва четири узорка дати су у табели 4.

**Табела 4.** Компарација статистичких показатеља запреминског прираста пре и после корекције

**Table 4.** Comparison of statistical indicators of volume increment before and correction

Узорак	Прираст ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )		Грешка узорка ( $\pm \text{m}^3/\text{ha}$ )		Грешка узорка ( $\pm \%$ )	
	Пре корекције	После корекције	Пре корекције	После корекције	Пре корекције	После корекције
1.	8,308	8,223	0,8196	0,7385	9,86	8,98
2.	8,138	8,039	0,6962	0,6001	8,56	7,46
3.	8,752	8,751	0,7572	0,6003	8,66	6,86
4.	7,875	8,078	0,7554	0,6306	9,60	7,81

Повећање прецизности процене запреминског прираста може се видети поређењем релативних стандардних грешака пре и после корекције, датих у табели 4. У свим случајевима грешке узорака су мање после извршене корекције запреминског прираста. Међутим, просечне величине запреминског прираста после корекције могу бити мање, веће и непромењене у односу на величине пре корекције. У овом погледу карактери-

стичан је трећи узорак где је величина запреминског прираста пре и после корекције остала скоро иста, јер су и просечне величине запремине у узорку изабраном у првој фази и у овом узорку скоро исте (384,39 m<sup>3</sup>/ha и 384,41 m<sup>3</sup>/ha). Свакако, највероватнија је просечна величина запреминског прираста газдинске класе добијена у узорку који је изабран у првој фази (8,268 m<sup>3</sup>/ha).

Ефекат корекције запреминског прираста може се такође уочити посматрањем величине једноставног узорка која би била потребна да се добије већ постигнута прецизност процене применом метода регресије у двофазном узорку.

Резултати поређења дати су у табели 5.

**Табела 5.** Ефекат корекције запреминског прираста помоћу метода регресије на величину узорка

**Table 5.** Effect of volume increment correction by regression method on sample size

Редни број узорка	1.	2.	3.	4.
Величина узорка у другој фази двофазног узорка	60	60	60	60
Потребна величина једноставног узорка без корекције	72	79	96	91
Индекс повећање величине узорка	1,20	1,32	1,60	1,52
Процент повећања величине узорка	20	32	60	52

Подаци у табелама 3 и 5 показују да је ефекат корекције запреминског прираста, при истој величини узорака и сличном коефицијенту варијације коришћених променљивих, директно условљен величином коефицијента корелације између запреминског прираста и запремине. Већи коефицијент корелације увек доприноси већој прецизности процене главне променљиве.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У овом истраживању експерименталног карактера коришћен је двофазни узорак с циљем да се повећа прецизност процене запреминског прираста газдинске класе високих букових шума. У првој фази изабран је већи узорак, а у другој фази четири мања узорка исте величине. Појединачно, величина узорака изабраних у другој фази била је четири пута мања од величине узорка изабраног у првој фази. Овај однос у величини узорака користи се најчешће у инвентури шума. Запремина састојине или газдинске класе се увек утврђује на основу већег узорка, а запремински прираст на основу мањег узорка. Ови узорци су раније при обради података коришћени искључиво као два једноставна и потпуно независна узорка. Последица тога је двоструко већа релативна грешка запреминског прираста у односу на запремину. Међутим, због статистичке везе запреминског прираста са осталим таксационим елементима састојине или газдинске класе, увек је могуће повећати прецизност процене запреминског прираста методом регресије или неком другом методом (нпр. методом односа) ако се примени двофазни узорак. У овом истраживању као главна променљива посматран је запремински прираст, а као помоћна променљива запремина. Разматрана је и темељница као помоћна променљива, али је запремина у овом случају дала боље резултате.

Методом анализе варијансе потврђено је да је разлика између просечних величина, утврђених у узорцима изабраним у другој фази, за запремину, темељницу и запремински прираст, била статистички случајна. Према томе, сви узорци су били репрезентативни за процену запреминског прираста посматране газдинске класе. Интервал поверења за запремински прираст одређен на бази узорка изабраног у првој фази укључивао је средине три мања узорка. Само један узорак (трећи) имао је средњу вредност запреминског прираста изван интервала поверења. По правилу, у инвентури шума узима се увек само један већи и један мањи систематски узорак.

После корекције просечних величина запреминског прираста добијених у узорцима изабраним у другој фази добијене су мање стандардне грешке, односно повећана је прецизност процене запреминског прираста у газдинској класи по хектару и на укупној површини. Релативне грешке узорака, при вероватноћи 95% и степену слободне 59 ( $t = 2,00$ ), пре корекције износиле су:  $\pm 9,86\%$ ,  $\pm 8,56\%$ ,  $\pm 8,66\%$  и  $9,60\%$ , а после корекције:  $\pm 8,98\%$ ,  $\pm 7,46\%$ ,  $\pm 6,86\%$  и  $\pm 7,81\%$ . У узорку изабраном у првој фази релативна грешка запреминског прираста била је наравно много мања и износила је  $\pm 4,49\%$ .

Приликом обраде података инвентуре шума треба увек користити могућност повећања прецизности процене запреминског прираста газдинске класе, односно, описани метод регресије примењен у једноставном двофазном узорку. У суштини поступак је једноставан и користан. Овим се повећава прецизност процене запреминског прираста газдинске класе као значајног таксационог елемента при одређивању обима сеча у складу са принципима одрживог газдовања шумама.

## ЛИТЕРАТУРА

- Банковић, С., Јовић, Д., Медаревић, М., Пантић, Д. (2000): Регресиони модели процента запреминског прираста у чистим и мешовитим састојинама букве и хрasta китњака у Србији. Гласник Шумарског факултета, бр. 83, стр. 21-31. Београд.
- Надžивуковић, С. (1975): Техника метода узорка. Научна књига, Београд.
- Надžивуковић, С. (1991): Статистички методи. Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Кангас, А., Малтамо, М. (2006): Forest inventory - methodology and applications. Springer. Dordrecht, Netherlands.
- Копривица, М. (1984): Планiranje величине узорка за таксациону процјену шума. Шумарство и прерада дрвета, XXXVI, (10 -12), Сарајево.
- Копривица, М. (2004): Варијабилитет таксационих елемената и планiranje величине узорка за таксациону процјену шума у Босни и Херцеговини (докtorsка дисертација), стр. 196. Шумарски факултет, Бања Лука.
- Копривица, М., Матовић, В. (2005): Регресионе једначине запремине и запреминског прираста стабала букве у високим шумама на подручју Србије. Зборник радова, том 52-53, стр. 5-17. Институт за шумарство, Београд.
- Копривица, М. (2006): Reliability of results of beech high stand inventory by sample method. International scientific conference. Sustainable use of forest ecosystems - the challenge of the 21st century. Proceedings, pp 393-402. Donji Milanovac, Serbia.

- Ko p r i v i c a , M. (2011): Dvofazni uzorak u inventuri šuma. Rukopis, Institut za šumarstvo, Beograd.
- L a a r , V. A., A k c a , A. (2007): Forest Mensuration. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- M a t i ć , V. (1977): Metodika izrade šumskoprivrednih osnova za šume u društvenoj svojini na području SR BiH. Šumarski fakultet i Institut za šumarstvo. Posebno izdanje (12). Sarajevo.
- M a r k o v i ć , N., K o p r i v i c a , M., M a t o v i ć , B. (2007): Softver SORTIMENT za obradu terenskih podataka o prirodnoj obnovi, kvalitetu i sortimentnoj strukturi visokih sastojina bukve u Srbiji. Institut za šumarstvo, Beograd.
- M i r k o v i ć , D., B a n k o v i ć , A. (1993): Dendrometrija. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Srbije, Beograd.
- P r a n j i ć , A. (1987): Pouzdanost rezultata izmjere šuma. Glasnik za šumske pokuse, br. 11, str. 161-176, Zagreb.

INCREASING THE PRECISION OF ESTIMATE OF MANAGEMENT CLASS VOLUME  
INCREMENT BY REGRESSION METHOD IN TWO-PHASE SAMPLING

*Miloš Koprivica*  
*Bratislav Matović*  
*Zoran Maunaga*

S u m m a r y

The calculation of stand or management class volume increment in forest inventory is always a problem. Despite a high significance of this forest estimation indicator, it is most often determined with much lower precision than the volume, because also a much smaller sample size is applied. Volume increment is calculated most often on the sample four times smaller than the sample for volume calculation. Because of the great difference in the achieved precision of volume and volume increment estimates, potential increase in the precision of stand volume increment estimates in high beech forest was analysed in the case when forest inventory is based on two phase sampling. The type of investigation used was experimental. The first phase consisted of a larger sample of 240 circular sample plots sized 500 m<sup>2</sup>, and in the second phase four smaller samples of 60 sample plots each were selected from the first sample. The analysis of variance showed that all samples selected in the second phase were representative. The main variable was volume increment and the auxiliary variable was volume or basal area per hectare. The correction of estimate of stand volume increment was performed by regression method. The result of the correction of volume increment, using the volume as an auxiliary variable, were smaller standard errors, i.e. there was an increase in the precision of estimate of stand volume increment per hectare and per total area. Relative errors of the samples, at 95% probability before correction accounted for: +/- 9.86% , +/- 8.56% , +/- 8.66% and +/- 9.60%, and after correction: +/- 8.98%, +/- 7.46%, +/- 6.86% and +/- 7.81%, respectively. If there was no correction, the precision of estimate of volume increment after correction could have been reached if the selected samples in the second phase, consisting of 60 sample plots each, were approximately from 20 to 60% larger. In other words, under the unchanged variability of volume increment, the size of the sample should be: 72, 79, 96 and 91 sample plots. The higher precision of volume increment estimate is not conditioned by higher costs of forest inventory in the field - it can be achieved during data processing by the application of the described regression method in two phase sampling. The described method can probably be used for the correction of other forest estimation values computed on the smaller sample selected in the second phase, based on the information on the size of the auxiliary variable calculated in the larger sample selected in the first phase.