

## АЕРОФОТОИНТЕРПРЕТАЦИЈА У САСТОЈИНСКОЈ ИНВЕНТУРИ ШУМА СРБИЈЕ

ДАМЈАН ПАНТИЋ<sup>1</sup>  
МИЛАН МЕДАРЕВИЋ<sup>1</sup>  
ДРАГАН БОРОТА<sup>1</sup>  
БОЈАН ТУБИЋ<sup>2</sup>  
МАРКО МАРИНКОВИЋ<sup>2</sup>

**Извод:** Истраживања у овом раду била су фокусирана на издвајање одсека и одређивање квантитативних елемената стабала и састојине на бази авио-снимака, односно применом аерофотограметрије. Као пилот објекат за просторно разграничење шума послужио је узорак од 13 одељења у пребирним шумама јеле и букве ГЈ „Гоч Гвоздац-А”, док је степен поузданости аерофототаксације тестиран у чистим, високим и изданачким шумама букве ГЈ „Туманска река”. Констатовано је да се на авио-снимцима могу прецизније поставити границе одсека, те да су они хомогенији у односу на терестричко издвајање. Исто важи и за издвајање чистина, односно за обележавање путева, далековаода и других видљивих објеката на снимку. При томе, нису утврђене значајне разлике у површинама одељења одређеним на основу тестираних метода. Пречници крошњи, прсни пречници, висине стабала и из њих изведени елементи (број стабала и запремина састојине) одређени аерофото методом били су оптерећени значајним грешкама, односно разликама у односу на податке добијене земаљском инвентуром. Као такви, ови подаци не могу представљати основу за поуздано оперативно планирање.

**Кључне речи:** аерофотограметрија, авионски снимци, издвајање одсека, прикупљање таксационих података

AERIAL PHOTO-INTERPRETATION IN STAND INVENTORY OF FORESTS IN SERBIA

**Abstract:** The research was focused on the delimitation of sections and on the determination of quantitative tree and stand attributes based on aerial photography, i.e. aerial photogrammetry. A pilot plot for spatial delimitation consisted of a sample of 13 compartments in fir and beech selection forests in FMU "Goč Gvozdac-A", and the degree of reliability of aerial photography was tested in pure beech, high and coppice forests in FMU "Tumanska Reka". Aerial photographs enabled more precise section boundaries, and that they were more homogeneous than terrestrial methods. The same applies to the delimitation of clearings, i.e. the demarcation of roads, transmission lines and other structures visible on the photographs. There were no significant differences in compartment areas determined by the tested methods. However, there were significant inaccuracies in crown diameters, diameters at breast height, tree heights and the derived elements (number of trees and stand volume) determined by aerial photography method, i.e. there were differences compared to the data measured in the field. Therefore, such data cannot be the base for a reliable operative planning.

- 
- 1 др Дамјан Пантић, ванредни професор; др Милан Медаревић, редовни професор; др Драган Борота, студент докторант; Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
  - 2 дипл. инж. Бојан Тубић, студент докторант; дипл. инж. Марко Маринковић, студент докторант; ЈП „Војводинашуме”

**Key words:** aerial photogrammetry, aerial photographs, section delimitation, acquisition of forest estimation data.

## 1. УВОД

Захтеви савременог друштва према шумским екосистемима константно се усложњавају у квалитативном и квантитативном смислу. При томе, шумски екосистеми су све угроженији, од локалног до глобалног нивоа. У оваквој, условно речено парадоксалној ситуацији, шумарска наука и струка, а посебно планирање газдовања шумама и шумским простором у целини, имају посебну одговорност. Она се огледа у потреби да се трајно обезбеди задовољење свих захтева савременог друштва према шуми (социјалних, заштитних, економских итд.), а да се при томе спречи даља девастација шумских екосистема и омогући њихова ревитализација у сваком погледу (еколошком, структурном, функционалном итд.). Рационално, промишљено и усклађено планирање од стратешког до оперативног нивоа, планирање засновано на свеобухватном и поузданом информационом основу о шумским екосистемима, нужна је претпоставка за испуњење овако сложених задатака. Успешност планирања зависи од поузданости прикупљених информација (Банковић, С., Пантић, Д., 2006). Зато значај инвентуре шума, као дисциплине која путем различитих метода и техника прикупља, обрађује, анализира и презентује информације о шумским екосистемима, све више долази до изражаја, а такав тренд ће се наставити и у будућности (Шмелко, Ш., 1985, 1991; Пантић, Д., 2003). Поред наведеног, за савремено планирање у шумарству од изузетног је значаја контролна и корективна улога инвентуре шума. Континуирано увођење нових технологија у праксу инвентуре шума, између осталог, омогућује да се одговори на све комплексније захтеве за информацијама о шумском простору (Милер, D. *et al.*, 2000; Матејка, К., 2009). Рад на терену и прикупљање података унапређен је системима за глобално сателитско позиционирање (GPS), аутоматским мерним уређајима, теренским компјутерима и бежичним преносом података, док се савременом даљинском детекцијом могу обезбедити веома прецизни просторни подаци (Гонг, Р. *et al.*, 2002). Авионски снимци и аерофотограмetriја у процесу прикупљања података за различите нивое планирања имају све већу улогу (Акса, А. *et al.*, 1991), и то у истраживањима природних и семиприродних услова животне средине, те су постали незаобилазан метод масовног прикупљања података о простору (Пантић, Д. *et al.*, 2012). Процес интерпретације авионских снимака може се спроводити на различите начине, од визуелног тумачења и доношења закључака, па све до напредног издвајања података анализом снимака коришћењем статистичких алгоритама (Поулиот, D. A. *et al.*, 2002). Подаци чији су извор авионски снимци јефтинији су од података прикупљених на друге начине (Стонге, В., Асхаичија, N., 2001), у извесној мери и у појединим ситуацијама су поузданији и тачнији, а применом метода аерофотограмetriје значајно се смањује обим теренског рада (Томашеговић, Z., 1956, 1961; Бенко, М., Валеновић, I., 2011). Синергија између терестрички прикупљених података и података добијених аерофотограмetriјом и даљинском детекцијом данас је широко препозната као значајна за свеобухватне и правовремене анализе животне средине и њен мониторинг на локалном, регионалном и националном нивоу.

Предмет овог рада били су авионски снимци и аерофотограметрија, а циљ истраживање могућности коришћења техника и метода аерофотограметрије у процесу издвајања састојина и одређивања основних квантитативних (таксационих) података за шуме ГЈ „Гоч Гвоздац-А” и ГЈ „Туманска река”. Сврха рада била је да се пружи основ за практичну примену аерофотограметријског метода при редовној састојинској инвентури шума.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

### 2.1. Прикупљање података

На подручју шума ГЈ „Гоч Гвоздац-А”, којом газдује Шумарски факултет Универзитета у Београду и у којој просторно доминирају пребирне шуме јеле и букве, истраживана је могућност коришћења аерофото метода за издвајања састојина. У ГЈ „Туманска река”, којом газдује ЈП „Србијашуме” и у којој су најзаступљеније високе и изданачке букове шуме, испитивана је могућност одређивања основних таксационих елемената путем аерофото метода. На основу снимака и уз настојање да се максимално испоштују критеријуми за издвајање одсека, за одабрану површину (узорак) од 13 одељења у ГЈ „Гоч Гвоздац-А”, издвојене су састојине. Критеријуми за издвајање састојина су станиште (односно разлика у бонитету станишта), врста дрвећа, порекло, облик гајења-структурни облик (условљен начином обнове састојине, начином сече и начином неге), старост у једнодобним шумама (односно разлике у старости веће од ширине једног добног разреда), мешовитост (разлике у мешовитости дефинисане односом врста дрвећа у састојини), склопљеност и обраст (M e d a r e в и ћ, M., 2006). Неки од поменутих критеријума, нпр. склопљеност (K a n g a s, A., M a l t a m o, M., 2006), могу се детерминисати визуелном интерпретацијом авионских снимака док други, нпр. старост то не могу. K l o b u ĉ a r, D. (2004) је поредио границе и површине одсека добијене са снимака са онима добијеним на терену, при чему је као основ за издвајање одсека на снимку користио склоп. P e r n a r, R. (1997) је издвајала састојине користећи авионске снимке и то на основу критеријума као што су: врста дрвећа, размер смесе, склопљеност, величина крошњи и степен њихове оштећености. Приликом издвајања одсека на бази авионских снимака, за потребе овог рада, поред наведеног, основни принцип се огледао у тежњи да издвојене јединице буду што хомогеније. Границе одељења су задржане као полазна основа, а самом издвајању састојина претходила је дигитализација путева, далековода, пољопривредних површина, чистина и осталих лако уочљивих објеката који нису шума или шумско земљиште. Тек након издвајања ових шумских површина приступило се издвајању одсека и то помоћу софтвера Delta DPS у стерео (3D) моду. Добијени подаци су систематизовани, статистички обрађени (дескриптивна статистика, анализа варијансе), анализирани и квантификовани.

Када су у питању истраживања која се односе на процену квантитативних (таксационих) елемената са авионских снимака, преко одељења и одсека у којима су заступљене букове састојине у ГЈ „Туманска река”, систематски је распоређена мрежа примерних површина на растојању 50 x 50 m. Коришћене су примерне површине облика круга са константним полупречником величине 5 aри, под усло-

вом да се на њима налазило минимално 20 стабала за премер. У супротном, примерна површина је повећавана на 10 *ари*. Оваквим пројектовањем узорак је обухватио 281 примерну површину, од чега је њих 70 било детаљних. На обичним примерним површинама мерени су пречници свих стабала изнад таксационе границе и полупречници круне једног или два доминантна стабала. На детаљним примерним површинама поред пречника мерене су и висина стабала и полупречници крошњи једног до три доминантна стабла. Пречници су мерени стандардном (мануелном) пречницом са тачношћу од 1 *мм*, а висине ултразвучним висиномером Vertex 3. Полупречник круне мерен је Kronenspiegel инструментом у 8 праваца од центра стабала до линије пројекције круне. Центар примерне површине и позиције доминантних стабала којима су мерене круне утврђени су GPS уређајем.

## 2.2. Обрада података

Подаци терестричке инвентуре шума обрађени су путем програмског пакета „Основа”, као дела информационог система о шумама Србије. Поред тога, поједини специфични показатељи као што су површина крошње ( $P$ ) и пречник крошње ( $D_{kr}$ ) добијени су на основу формула:

$$P = \frac{\pi}{n} \cdot \sum_{i=1}^8 r_i^2 \Rightarrow P = \frac{r_{1kr}^2 + r_{2kr}^2 + r_{3kr}^2 + r_{4kr}^2 + r_{5kr}^2 + r_{6kr}^2 + r_{7kr}^2 + r_{8kr}^2}{8} \cdot \pi \quad (1)$$

$$D_{kr} = 200 \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi}}, \quad (2)$$

у којима је  $r_k$  полупречник крошње, а  $n$  број праваца у којима су мерени полупречници крошње. У овом сегменту истраживања статистичка обрада података подразумевала је примену регресионе и корелационе анализе у циљу избора најбољег математичког модела за предиктовање вредности прсног пречника (не може се поуздано читати са снимка) на основу пречника крошње, односно пречника крошње и броја стабала на једном хектару (могу се са довољном поузданошћу одредити на авио снимцима). У оквиру наведене једноструке и вишеструке регресије тестиран је већи број функција, а избор дефинитивног модела за предикцију прсног пречника вршен је на бази основних статистичких показатеља, уз поштовање принципа рационалности. Треба напоменути да друга независно променљива ( $N \cdot ha^{-1}$ ) није битније допринела смањењу варијансе погрешке, те је за предикцију прсног пречника изабран једноструки модел, који са вредностима параметара код високих букових шума гласи:

$$d = 0,1286 + 0,0273 \cdot D_{kr} \quad R^2=0,454; R=0,674; sd=0,069; F=344,17, \quad (3)$$

односно, код букових шума изданачког порекла

$$d = 0,0236 + 0,0355 \cdot D_{kr} \quad R^2=0,545; R=0,738; sd=0,061; F=467,47. \quad (4)$$

Легенда:

$R^2$  – коефицијент детерминације,  $R$  – коефицијент корелације,  $sd$  – стандардна грешка регресије  $F$  –  $F$  вредност

Изузетно велика варијабилност променљивих ( $d$ ,  $D_{kr}$  и  $N \cdot ha^{-1}$ ), као последица структурне хетерогености букових састојина, произашле из досадашњег газдин-

ског третмана, основни је разлог лошијем изравнавању тестираних зависности. Поред наведених, тестирана је и веза  $h=f(D_{kr})$ , али коефицијент детерминације код свих анализираних функција није прелазило 10%, тако да ова веза није узета у даље разматрање.

### 2.3. Пример на авио-снимцима

За потребе ових истраживања коришћени су авио-снимци размере 1:14.500 и 1:20.000. Након поуздане идентификације примерних површина и стабала на њима, на бази авио-снимака прикупљени су подаци о крунама стабала. Површине крошњи стабала на авио-снимцима добијене су аутоматски, након дефинисања полигона крошњи у фотограметријској станици. По одређивању површина крошњи, на основу формуле 2, изведени су пречници крошњи. Прсни пречници стабала, у зависности од њиховог порекла, добијани су према формулама (моделима) 3 и 4. Број стабала на  $ha$  одређен је према формули:

$$N = \frac{10.000}{P} \quad (kom \cdot ha^{-1}) \quad (5)$$

Маркица инструмента у стерео моду постављала се на врх стабла и читавала се његова надморска висина. Затим се маркица спуштала на подножје стабла и читавана је надморска висина подножја. Висина стабла одређивана је као разлика надморских висина врха и подножја стабла. При томе, изванредан проблем представљала је отежана могућност одређивања подножја стабла када у његовој близини није било видљиве површине земље. Запремине стабала одређене су на основу општих двоулазних запреминских таблица за букове шуме Србије, односно преко формула:

$$v = 0,31806 \cdot d^{1,99795} \cdot h^{1,06685} \quad \text{за високе шуме и} \quad (6)$$

$$v = 0,48294 \cdot d^{1,83649} \cdot h^{0,81967} \quad \text{за изданачке шуме.} \quad (7)$$

## 3. РЕЗУЛТАТИ

### 3.1. Издвајање одсека

Поређење резултата класичног (терестричког) и аерофото метода за издвајање одсека у 13 одељења ГЈ „Гоч Гвоздац-А” приказано је у табели 1.

Упоредни приказ резултата анализираних метода за издвајање одсека указује на то да је аерофото методом у већини одељења издвојен већи број одсека. На нивоу целог узорка од 13 одељења терестричким методом је издвојено 58, а аерофото методом 65 одсека, што имплицира закључак да се аерофото методом могу идентификовати и издвајати хомогеније целине у односу на терестрички метод. При томе, на графикаону 1 се види да у већини случајева нема израженијих разлика између укупних површина одељења одређених на основу ова два метода.

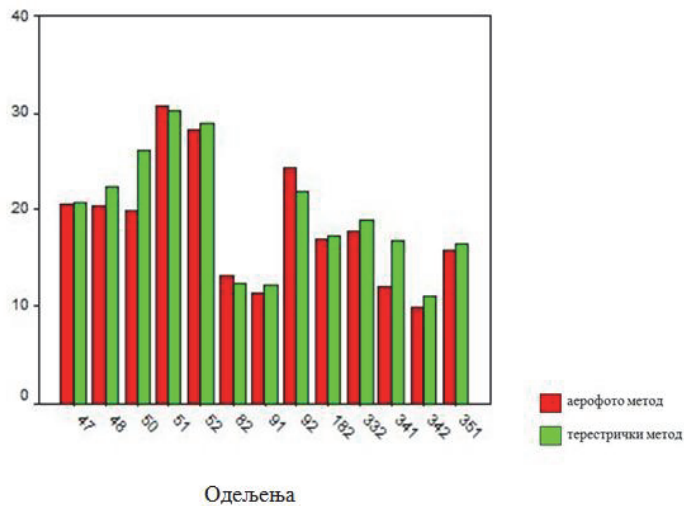
Статистички показатељи по појединим одељењима и на нивоу целог узорка, који се односе на разлике између два примењена метода за издвајање одсека, приказани су у табели 2.

**Табела 1.** Број одсека и површине по одељењима – терестрички и аерофото метод  
**Table 1.** Number of sections and areas per compartments - terrestrial and aerial photography method

Терестрички метод			Аерофото метод		
Одељење	Одсек	Површина (ha)	Одељење	Одсек	Површина (ha)
50	a	20,11	50	a	12,13
	b	5,82		b	7,76
	1	0,20		a	1,11
51	a	25,88	51	b	1,81
	1	0,25		c	0,91
	2	4,00		d	20,97
	3	0,09		1	5,41
48	a	10,37	48	2	0,40
	b	4,19		a	9,51
	c	4,07		b	3,22
	d	0,90		c	3,49
	1	0,29		d	1,77
	2	0,20		1	0,50
	3	1,13		2	0,03
	4	0,14		3	0,89
	5	0,58		4	0,24
	6	0,15		5	0,77
47	7	0,40	47	a	0,09
	a	8,11		b	0,34
	b	8,29		c	0,67
	c	2,41		d	2,89
	1	1,77		e	5,97
	2	0,22		f	2,13
34/1	a	9,62	34/1	g	7,09
	b	1,78		h	0,32
	c	0,94		1	0,63
	1	2,50		2	0,42
	2	1,77		a	0,92
34/2	3	0,16	34/2	b	1,42
	a	6,00		c	4,68
	b	4,67		d	3,64
	1	0,30		1	1,43
35/1	2	0,12	35/1	a	4,99
	a	8,00		b	2,28
	b	7,83		c	2,45
	1	0,50		1	0,13
33/2	2	0,03	33/2	a	13,76
	a	2,45		b	2,10
	b	3,75		a	14,12
	c	2,95		b	3,57
	d	9,85	18/2	a	17,06

18/2	a	17,24	9/1	a	4,52
	1	0,09		b	3,16
9/1	a	6,76	9/2	c	2,69
	b	4,12		d	1,02
	c	1,08		1	0,07
	1	0,18		a	2,93
9/2	a	10,85	8/2	b	1,25
	b	7,19		c	3,64
	c	3,32		d	3,06
	1	0,44		e	10,58
8/2	a	2,95	52	f	1,68
	b	6,49		g	0,98
	1	2,96		h	0,23
52	a	14,60	8/2	a	5,75
	b	13,90		b	4,22
	1	0,11		c	0,58
	2	0,20		1	0,09
			2	1,27	
			3	1,27	
			52	a	6,33
				b	6,82
				c	6,97
				d	7,74
			1	0,39	

Површина (ha)



**Графикон 1.** Површине одељења - аерофото и терестрички метод  
**Diagram 1.** Compartment areas - aerial photography and terrestrial method

**Tabela 2.** Статистички параметри тестираних метода за издвајање одсека  
**Table 2.** Statistical parameters of tested methods for the delimitation of sections

Одељење	Терестрички метод				Аерофото метод			
	n	Површина (ha)			n	Површина (ha)		
		p arit	sp	$\Sigma$		p arit	sp	$\Sigma$
47	5	4,16	3,77	20,80	10	2,06	2,53	20,55
48	11	2,04	3,14	22,42	9	2,27	2,99	20,42
50	3	8,71	10,26	26,13	2	9,94	3,09	19,89
51	4	7,56	12,35	30,22	6	5,10	7,98	30,61
52	4	7,20	8,14	28,81	5	5,65	2,99	28,25
8/2	3	4,13	2,04	12,40	6	2,20	2,26	13,18
9/1	4	3,03	3,00	12,14	5	2,29	1,76	11,46
9/2	4	5,45	4,54	21,80	8	3,04	3,26	24,35
18/2	2	8,66	12,13	17,33	1	---	---	17,06
33/2	4	4,75	3,44	19,00	2	8,84	7,46	17,69
34/1	6	2,80	3,44	16,77	5	2,42	1,65	12,09
34/2	4	2,77	3,01	11,09	4	2,46	1,99	9,85
35/1	4	4,09	4,42	16,36	2	7,93	8,24	15,86
Узорак	58	4,40	5,48	255,27	65	3,71	4,36	241,26

Легенда: n – број одсека; p arit. – просечна површина одсека; sp – стандардна девијација;  $\Sigma$  - површина одељења (узорка)

Изнети резултати, уз резултате анализе варијансе  $F_{(1;121)} = 0,604$ ;  $p = 0,439$ , упућују на то да нема сигнификантних разлика у површинама које су добијене применом терестричког и аерофотограметријског поступка издвајања одсека. Нужно је напоменути и то да је издвајање одсека аерофото методом извршено временски независно од терестричког метода који је спроведен у оквиру редовне састојинске инвентуре шума ГЈ „Гоч Гвоздац-А”. Границе одељења су биле идентичне у оба случаја, док су се површине одељења разликовале (иако не статистички значајно). Ово упућује на закључак да површине одељења у планским документима нису прецизно одређене, имајући у виду да у време израде тих докумената нису коришћене савремене технологије (GIS и сл.).

Комапаративном анализом резултата терестричких мерења и мерења на авио снимцима на подручју ГЈ „Туманска река” дошло се до одређених сазнања које се односе на могућност утврђивања и поузданост основних таксационих елемената употребом авионских снимака, и то висине стабала, површине круна, броја стабала и запремине на *ha*.



### 3.2. Висине стабала

Када су у питању висине стабала тестиране су разлике између висина доминантних стабала одређених на авио-снимку и терестрички, те разлике између висина доминантних стабала са авионских снимака и средње састојинске висине добијене на бази теренских мерења. Резултати спроведеног  $t$  теста показали су да, осим код одсека 17/a и 18/a, не постоје статистички значајне разлике између висина доминантних стабала одређених на основу ова два метода  $-t < t_{(0,05; k-2)}$ . Другим речима, висине стабала горњег спрата мерене су на снимцима са значајном тачношћу код више од 80% третираних састојина. Међутим, када су упоређене висине са снимка са просечним састојинским висинама одређеним на бази терестричког мерења јавиле су се статистички значајне разлике  $-t > t_{(0,05; k-2)}$ . Сходно томе, следећи корак је подразумевао да се пронађе начин за исправљање систематских грешака у мерењима висине на снимцима. Бројне методе су тестиране да би био одабран општи линеарни модел који се заснива на висини са снимка и одговарајућој стандардној девијацији:

$$h_{teren} = 54,741 + 0,523 \cdot h_{sнимак} + 0,322 \cdot std.dev_{sнимак} \quad \text{високе букове шуме,} \quad (8)$$

$$h_{teren} = 49,267 + 0,471 \cdot h_{sнимак} + 0,289 \cdot std.dev_{sнимак} \quad \text{изданацке шуме букве.} \quad (9)$$

И поред извршене корекције мерења са снимка дала су тачне висине у свега 55% састојина. Без корекција, висине са снимка биле су тачне у мање од 30% састојина.

### 3.3. Круне стабала

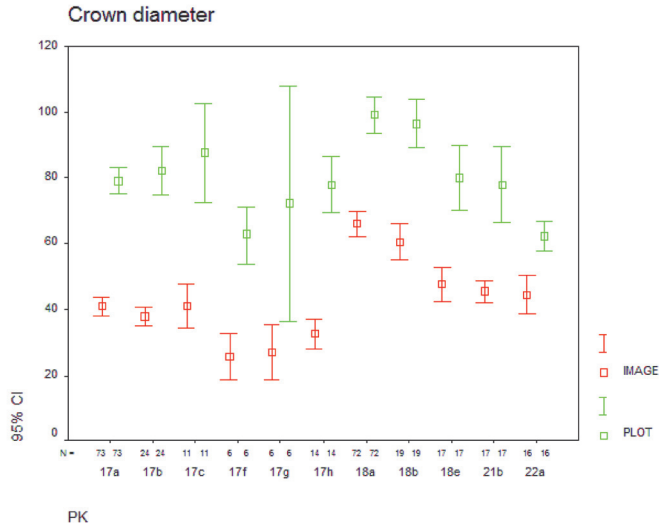
Поређење просечних вредности површина круна одређених преко авио снимка и на бази терестричких мерења приказано је у табели 3.

**Табела 3.** Просечне површине круна по тестираним методама  
**Table 3.** Average crown areas by tested methods

Метод	Одсек										
	17/a	17/b	17/c	17/f	17/g	17/h	18/a	18/b	18/e	21/b	22/a
	просечна површина круна ( $m^2$ )										
Аерофото метод	41,11	38,09	41,17	25,75	27,17	32,64	65,87	60,37	47,94	45,61	44,58
Терестрички метод	78,91	81,89	87,60	62,65	72,26	77,95	99,49	96,66	79,86	77,79	61,98
Разлике ( $m^2$ )	37,80	43,80	46,43	36,90	45,09	45,31	33,62	36,29	31,92	32,18	17,40

У свим третираним одсецима површине круна добијене на бази терестричких мерења веће су од оних које су одређене на основу авио-снимака. Разлике се крећу у интервалу од 28,1% до 62,4% и статистички су значајне  $-t > t_{(0,05; k-2)}$ . Узрок овако изражених разлика свакако лежи у структурној хетерогености третираних састојина, али и у слабијој резолуцији коришћених снимака. Због изнетог, круне стабала горњег и доњег спрата су се често стапале (нису биле јасно издиференциране), због чега је одређивање њихове површине на снимцима било оптерећено субјективном грешком. Како су пречници крошњи изведене величине из њихових

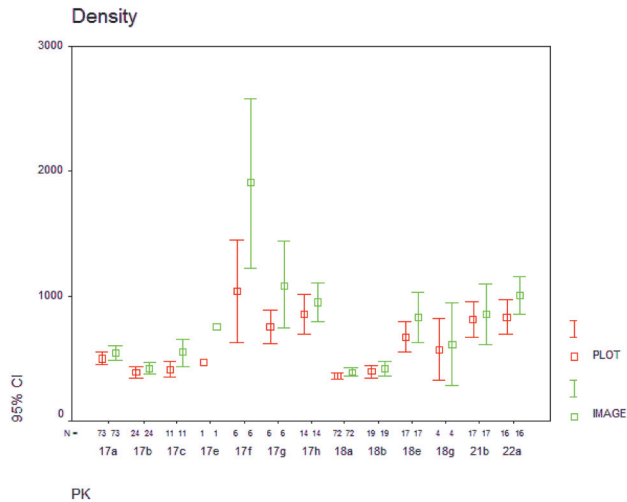
површина, логичне и статистички значајне су разлике и код ове таксационе величине одређене на основу посматраних метода (графикон 2).



**Графикон 2.** Пречници крошњи - аерофото и терестрички метод  
**Diagram 2.** Crown diameters - aerial photography and terrestrial method

### 3.4. Број стабала

Већ поменута структурна хетерогеност (пре свега спратовност) истраживаних састојина и лоша резолуција авио-снимака, основни су узроци разлика и у броју стабала на *ha* одређеном на основу тестираних метода (графикон 3). Значајне разлике су констатоване у одсецима 17/с, 17/е, 17/ф, 17/г, 18/е и 22/а. Према томе, у

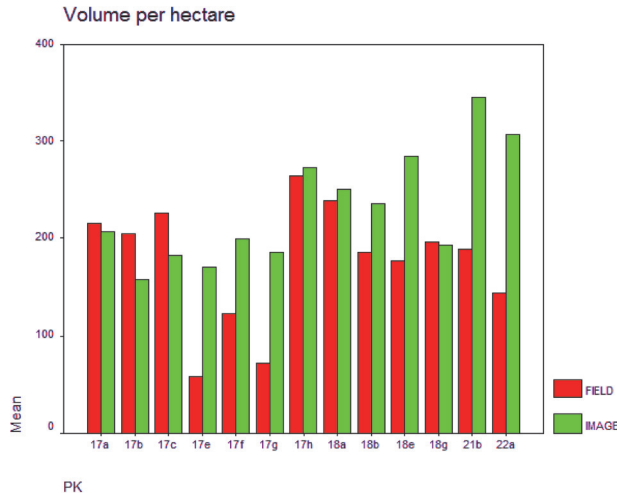


**Графикон 3.** Број стабала по хектару - аерофото и терестрички метод  
**Diagram 3.** Number of trees per hectare - aerial photography and terrestrial method

конкретним условима се не може очекивати одређивање тачног броја стабала на *ha* на бази снимака у више од 54 % случајева.

### 3.5. Запремина састојине

Запремина по *ha* одређена на бази авио-снимака у већини одсека већа је од запремине која је одређена на основу података терестричке инвентуре (графикон 4). У просеку та разлика износи 33%. Овакав резултат логична је последица ниског степена поузданости са којим су на основу авио-снимака одређени градивни елементи запремине (пречник крошње и преко њега прсни пречник, висина стабала и број стабала на *ha*).



**Графикон 4.** Запремина састојине - аерофото и терестрички метод  
**Diagram 4.** Stand volume - aerial photography and terrestrial method

## 4. ДИСКУСИЈА

Развој рачунарске технологије 80-их и 90-их година прошлог века утицао је и на снажан развој метода даљинске детекције. Од тада је у свакој области шумарства спроведен велики број истраживања на снимцима добијеним оптичким, радарским и сателитским сензорима са летелица или сателита (Benko, M., Valenović, I., 2011). Како су трошкови авиоснимања и рачунарске технологије у сталном паду, а њихове могућности у сталном порасту, може се очекивати интензивирање активности у подручју даљинске детекције, односно дигиталне фотограметрије (Valenović, I. et al., 2010).

Пошто инвентури шума претходи издвајање одсека, логично је да су бројна досадашња истраживања могућности примене аерофотограметрије у шумарству била фокусирана на ову проблематику. Tomasegović, Z. (1956) је на подручју Хрватске користио авионске снимке за издвајања састојина. Pernar, R. (1997) је издвајала састојине помоћу огледалног стереоскопа са повећањем од 8 пута и то на аероснимцима средње размере 1:5.754, уздужног преклопа 55–70%, при чему није тестирала разлике између теренског и фотограметријског издвајања, већ је

фотограметријско издвајање користила само као предрадњу за процену других параметера. Klober, D. (2004) је истраживао могућност употребе дигиталних ортофото снимака израђених од црно-белих аероснимака размере 1:20.000 у издвајању састојина. Издвајање је вршио на бази склопа и закључио да су разлике у односу на терестрички метод у већини одсека прихватљиве, али да издвајање помоћу дигиталног ортофотоа може послужити само као канцеларијска подлога за теренски рад. Истраживања у 13 одељења Газдинске јединице „Гоч Гвоздац-А” указала су на то да се аерофото методом границе одсека прецизније постављају у односу на терестрички метод. Наиме, у много случајева приликом преклапања дигитализоване основне карте (терестрички метод) са аерофото снимцима граница која би требало да дели два видно различита дела шуме била је знатно померена. С друге стране, исте те границе су на снимцима прецизно издвојене. У прилог изнетом иду и истраживања Miller, D. et al. (2000) којима је констатовано да се коришћењем дигиталне фотограметрије могу извршити боље процене просторних карактеристика одсека и њихове варијабилности него терестричким методама. Питање које остаје отворено односи се на избор критеријума за издвајање одсека на основу снимака. Поједини елементи, нпр. мешовитост састојине, могу се детерминисати на снимцима, бонитет се може проценити посредно преко висине, али се старост не може утврдити. Решење треба тражити у комбиновању аерофото издвајања и теренског обиласка. Matejka, K. (2009) је применио аерофотограметријски метод у комбинацији са терестричким за процену биомасе састојине.

Поред издвајања одсека, један од циљева даљинске детекције у шумарству јесте и одређивање основних таксационих елемената: запремине, биомасе и запреминског прираста састојине. При томе, бољи резултати са авионских снимака добијају се у плантажама него у вишеспратним природним састојинама (Gong, P. et al., 2002). Применом фотограметријских принципа, запремина се може одредити проценом или мерењем. У литератури је описано више метода. Метод окуларне процене базира се на визуелном прегледу и поређењу снимка посматране састојине и састојине чија је запремина позната и утврђена теренским мерењима. Код оваквог одређивања запремине не врше се никаква мерења, а визуелни утисак се преводи у запремину по јединици површине ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ). Метод аеротаксацијских запреминских таблица користи висину стабла и видљив пречник крошње као улазе у ове таблице. Овај метод се користио у истраживањима која су вршена од 2002 до 2007. године од стране Шумарског факултета у Београду и Норвешке шумарске групе. Добијени резултати нису ишли у прилог одређивању запремине са аероснимака, јер се грешка кретала и до 33%, што је са аспекта оперативног планирања неприхватљиво (\*\*\*) 2005). Запремина састојине може се одредити и помоћу приносно-приходних таблица, методом профила и методом регресионих модела. Међутим, у склопљеним, односно „затвореним” састојинама великог обраста и вертикалне слојевитости, бољи резултати добијају се помоћу аеро-састојинских запреминских таблица. Класичне прирасно-приходне таблице могу се користити за процену запремине састојине на основу познате старости и фотограметријски измерене средње или горње висине састојине. Примена двофазног узорка има посебан значај за процену запремине састојине помоћу аеротаблица. У првој фази на аероснимцима се поставља и мери велики број пробних површина, да би се на ба-

зи средње висине састојине, склопљености крошњи и броја стабала добила брза процена запремине састојине. У другој фази изабере се подузорок пробних површина мерених у првој фази на аероснимку и премери класичним методом на терену. Добијени подаци мерења повезују се методом регресије. Више аутора објавило је задовољавајуће резултате добијене помоћу овог типа узорка (А k с а, А. *et al.*, 1991; А k с а, А., 2007). За потребе националне инвентуре шума са добром поузданошћу могу се користити мултиспектрални сателитски снимци LANDSAT (30x30 m), IRS (23x23 m), ASTER (15x15 m) и SPOT (10x10 m) (S e l e t k o v i ć, А. *et al.*, 2008).

## 5. ЗАКЉУЧЦИ

Резултати спроведених истраживања пружају могућност извођења следећих конкретних и општих закључака:

- Велика корист од примене метода даљинске детекције може се очекивати у просторном разграничењу и класификацији шума и шумских земљишта. Примена даљинске детекције и фотограметрије показала се поуздана за просторну поделу на одељења и одсеке, за издвајање чистина, обележавање путева, далековаода и других видљивих објеката на снимку. Ако се посматра прецизност издвојених граница одсека, аерофотограметрија има предност у односу на терестрички метод. Границе одсека на снимцима су коректније издвојене, а издвојени одсеци су хомогенији.
- Утврђивање основних дендрометријских величина (пречника круне, прсног пречника и висине стабала) и изведених елемената (нпр. запремине) на бази снимака незадовољавајуће је тачности. За процену запремине стабла, групе стабала или састојине могу се очекивати резултати прихватљиве тачности само у комбинацији са мерењима на терену.
- Битно квалитетнији снимци и опрема (хардверска и софтверска) у односу на коришћене у овим истраживањима омогућили би добијање знатно поузданијих, а тиме и апликативнијих резултата.
- Фотограметрија и даљинска детекција не могу у потпуности да замене терестричке методе, али свакако могу да послуже као помоћно или у неким случајевима као главно средство за прикупљање података. Комбиновањем ових метода могу се у знатној мери побољшати, убрзати и учинити економичнијим процеси прикупљања геопросторних података.
- Будућа истраживања из области примене даљинске детекције и фотограметрије у шумарству Србије морају бити заснована на добро планираном експерименту у смислу просторног и квантитативног обухвата састојина различитог порекла, структурног облика, степена мешовитости, старости итд. На тај начин добио би се поуздан одговор о могућностима и обиму примене авио-снимака у инвентури шума Србије.
- Примена аерофотограметрије у шумарству Србије зависиће и од финансијских услова, техничких капацитета, обучености кадра за руковање опремом, законског оквира везаног за проблематику инвентуре шума и спремности за измене у досадашњој методологији рада.

**Захвалница:** Захваљујемо се Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије које је финансијски подржало ова истраживања у оквиру пројеката „Одрживо газдовање укупним потенцијалима шума у Републици Србији” - ЕВБР 37008.

## ЛИТЕРАТУРА

- A k c a, A., D o n g, P.H., B o c k m a n n, T. (1991): *Der Stellenwert von Luftbildern und anderen Fern-Erkundungsmethoden im Rahmen von Grossrauminventuren*, Abschlussbericht DFG AK 9/1-2.A
- B a l e n o v i ć, I., M a r j a n o v i ć, H., B e n k o, M. (2010): *Primjena aerosnimaka u uređivanju šuma u Hrvatskoj*, Šumarski list, 134 (11-12): 623-631
- B a n k o v i ć, S., P a n t i ć, D. (2006): *Dendrometrija*, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd, 1-556
- B e n k o, M., B a l e n o v i ć, I. (2011.): *Prošlost, sadašnjost i budućnost primjene metoda daljinskih istraživanja pri inventuri šuma u Hrvatskoj*, Šumarski list, 135 (13): 272-281
- G o n g, P., S h e n g, Y., B i g i n g, G. S. (2002): *3D Model-Based Tree Measurement from High-Resolution Aerial Imagery*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68 (11) 1203-1212
- K a n g a s, A., M a l t a m o, M. (2006): *Forest inventory Methodology and application*, Published by Springer. Chapter 21: 341-358
- K l o b u ć a r, D. (2004): *Izlučivanje sastojina prema sklopu na digitalnom ortofotu i usporedba s terešičkim izlučivanjem*, Rad. Šumar. inst. Jastrebar., 39 (2): 223-230
- M a t e j k a, K. (2009): *Assesment of tree layer biomass and structure using aerial photos in lake catchments of the Šumava Mts.*, Journal of Forest science, 55 (2): 63-74
- M e d a r e v i ć, M. (2006): *Planiranje gazdovanja šumama*, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd
- M i l l e r, D., Q u i n e, C.P., H a d l e y, W. (2000): *An investigation of the potential of digital photogrammetry to provide measurements of forest characteristics and abiotic damage*, Forest Ecology and Management, 135: 279-288
- P a n t i ć, D. (2003): *Izbor optimalnog metoda premera u veštački podognutim sastojinama topole na području Ravnog Srema*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd
- P a n t i ć, D., M e d a r e v i ć, M., T u b i ć, B., B o r o t a, D. (2012): *Mogućnost primene i pouzdanost daljinske detekcije u strukturnoj i prostornoj determinaciji šumskih ekosistema*, Međunarodna naučna konferencija "Šume u budućnosti-održivo korišćenje, izazovi i rizici", Beograd
- P e r n a r, R. (1997): *Application of results of aerial photograph interpretation and geographical information system for planning in forestry*, Glas. šum. pokuse, (34): 141-189
- P e r n a r, R., Š e l e n d i ć, D. (2006): *Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma*, Glas. šum. pokuse, pos. izd. (5): 467-477
- P o u l i o t, D.A., K i n g, D.J., B e l l, F.W., P i t t, D.G. (2002): *Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration*, Remote Sensing of Environment, 82 (2-3): 322-334
- S e l e t k o v i ć, A., P e r n a r, R., J a z b e c, A., A n ĉ i ć, M. (2008): *Točnost klasifikacije satelitske snimke visoke prostorne rezolucije IKONOS za potrebe šumarstva*. Šumarski list 132 (9-10): 393-404

- St-Onge, B., Achaihia, N. (2001): *Measuring forest canopy height using combination of lidar and aerial photography data*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis
- Tomášević, Z. (1956): *Razmatranja o fotoplanu Turopoljskog luga*, Šumarski list, 80 (5-6): 154-166
- Tomášević, Z. (1961/a): *Sterefotogrametrijska linearna taksacija*, Šumarski list 85 (1-2): 36-45
- Tomášević, Z. (1961/b): *Ovisnost promjera dl,3 jela i smreke o krošnji i visini stabala*, Šumarski list, 85 (7-8): 254-261
- Šmelko, Š. (1985): *Nové smery v metodike a technike inventarizácie lesa*, Vodecké a pedagogické aktuality 6, Zvolen
- Šmelko, Š. (1991): *Biometrické vlnosti rôznych druhov skunych plôch pre zistovanie a monitorovanie stavu lesa*, Acta facultatis forestalis XXXIII, Zvolen
- \*\*\* (2005): *Moderno planiranje gazdovanja šumama-dokumentacija o aktivnostima u okviru Projekta Program razvoja sektora šumarstva Srbije*, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu i Norveška šumarska grupa, Beograd

## AERIAL PHOTO-INTERPRETATION IN STAND INVENTORY OF FORESTS IN SERBIA

*Damjan Pantić*  
*Milan Medarević*  
*Dragan Borota*  
*Bojan Tubić*  
*Marko Marinković*

### S u m m a r y

As forest inventory is preceded by the delimitation of sections, it is logical that many previous researches of aerial photogrammetry implementation in forestry were focused on this topic. In this sense, the use of aerial photos in spatial differentiation of forests was analysed on a pilot plot selected in fir and beech selection forests on Goč. The scales were 1:14,500 and 1:20,000. Aerial photography method resulted in a higher number of delimited sections in the majority of compartments. Boundary lines of the sections were more precise, and the sections were more homogeneous. The same applied to clearings, roads, transmission lines and other structures located in pilot area. The compartment areas determined by aerial and terrestrial methods did not differ in the statistical sense. In addition to the delimitation of sections, one of the goals of remote sensing in forestry is the determination of the main forest estimation elements of individual trees and stands in general. The reliability of forest estimation results was researched in the pilot plot established in pure beech, high and coppice forests in FMU "Tumanska Reka". Diameters at breast height (calculated based on the model of correlation with crown diameters) and tree heights (calculated from the differences between the altitudes of tree tops and tree bases) differed significantly compared to the same elements calculated in the field (partial survey on circular sample plots with constant radius). Logical consequences were the significant differences in the values of the derived elements, such as the number of trees and the stand volume. Still, these results do not eliminate aerial photography in the methodological sense. Namely, higher quality imagery and equipment (hardware and software) than the one used in the above research would provide much more reliable, and thus also more applicable results from the aspect of operative planning in forestry.

Photogrammetry and remote sensing cannot replace completely the terrestrial methods but, surely, they can serve as an auxiliary, or in some cases as the principal method of data acquisition. The processes of acquisition of geo-spatial data can be significantly improved, accelerated and made more cost-effective by the combination of the above methods. Future research of the application of remote sensing and photogrammetry in Serbian forestry should be based on well-planned experiments from the aspect of spatial and quantitative range of stands of different origin, structural form, mixture degrees, age, etc. This would result in a reliable conclusion on the potentials and scope of aerial photography implementation in forest inventory in Serbia. The implementation of aerial photogrammetry in Serbian forestry will depend also on the financial conditions, technical capacity, training of personnel in operating the equipment, legislation framework on forest inventory issues and readiness for changes in previous methodology.