

UPORABLJIVOST VERTEXA PRI IZMJERI STRUKTURE BRDSKE BUKOVE SASTOJINE PRIMJENOM UZORAKA PROMJENJIVE VJEROJATNOSTI SELEKCIJE

APPLICABILITY OF VERTEX TELEMETER IN MEASURING THE STRUCTURE OF MONTANE BEECH STAND USING VARIABLE PROBABILITY SAMPLING

Mile RADOČAJ¹, Mario BOŽIĆ², Mislav VEDRIŠ²

Sažetak

Uporabljivost ultrazvučnog visinomjera/daljinomjera Vertex pri izmjeri strukture brdske bukove sastojine primjenom uzoraka promjenjive vjerojatnosti selekcije ocijenjena je na temelju rezultata procjene strukturnih elemenata i vremena, odnosno novčanih sredstava utrošenih za izmjeru. Istraživanje je provedeno u čistoj bukovoj sastojini na području Uprave šuma Podružnice Karlovac, Šumariji Slunj u gospodarskoj jedinici Mašvina. Na kvadratnoj mreži 100x100 metara postavljeno je 25 stajališta na kojima je provedena izmjera prsnih promjera Bitterlichovom metodom (PPS). Za odabir stabala korišten je Bitterlichov štapić (faktor temeljnice 1) i Bitterlichov zrcalni relaskop (faktori temeljnice 1, 2 i 4). Provjera udaljenosti rubnih stabala provodila se Vertexom, a uz faktore temeljnice 2 i 4 i mjernom vrpcom. Kao referentna metoda postavljena je kružna ploha radijusa 20 m.

Na temelju izmjera različitim metodama izračunate su vrijednosti strukturnih elemenata (broj stabala, temeljnica i volumen) za pojedine plohe i sastojinu u cjelini. Analizom varijance ponovljenih mjerenja nije utvrđena statistički značajna razlika u prosječnim vrijednostima strukturnih elemenata između različitih metoda izmjere uz razinu značajnosti 0,05.

Za odabrane PPS metode provedena je studija vremena i procjena troškova inventure. Uz veće faktore temeljnice znatno se smanjuje vrijeme i trošak inventure (i do 71 %). Ukupno vrijeme i troškovi inventure primjenom faktora temeljnice 2 uz korištenje Vertexa su 20 % manji, a kod faktora temeljnice 4 su 12 % manji nego kada se udaljenost rubnih stabala provjerava mjernom vrpcom.

Ovim istraživanjem potvrđeno je da se troškovi izmjere PPS metodama mogu smanjiti primjenom Vertexa, a jednako tako i primjenom odgovarajućih faktora temeljnice, kao i organizacijom rada (prijevoz ekipa).

KLJUČNE RIJEČI: daljinomjer Vertex, Bitterlichova metoda uzorkovanja, troškovi, izmjera šuma, primjerne plohe

¹ Mr. sc. Mile Radočaj, Mile.Radocaj@hrsume.hr, UŠP Karlovac, Hrvatske šume d.o.o., Put Davorina Trstenjaka 1, Karlovac

² Izv. prof. dr. sc. Mario Božić, bozic@sumfak.hr, dr. sc. Mislav Vedriš, mvedris@sumfak.hr, Zavod za izmjeru i uređivanje šuma, Šumarski fakultet, Svetošimunska 25, Zagreb

Uvod Introduction

Izmjera šuma neophodna je osnova za racionalno gospodarenje šumom, te se tijekom vremena trajno usavršava poboljšanjem postojećih i uvođenjem novih metoda. Podaci o strukturi šuma redovito se dobivaju na temelju uzoraka, a u uređajnoj inventuri prevladava izmjera na primjernim plohama. Jedna od metoda terenskog prikupljanja podataka su uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije (*Variable probability sampling*) koji su kod nas poznati i kao PPS uzorci (*Probability Proportional to Size*), a osmislio ih je W. Bitterlich (1947, 1948). Temelj ove metode jest relativna izmjera (kutovi, duljine) iz koje se naknadno preračunavaju željene stvarne veličine (promjer, temeljnica, volumen) čime se sama izmjera olakšava i ubrzava (Iles 2003).

Bitterlichove PPS metode u svijetu se primjenjuju već mnogo godina, a do sada su našle najširu primjenu u SAD (Bitterlich 1984), gdje je provedeno i najviše istraživanja o pouzdanosti i učinkovitosti ovih metoda inventure šuma (Grosenbaugh 1952, Kulow 1966, Oderwald 1981, Gambill i dr. 1985). Učinkovitost ove metode očituje se u činjenici da je za istu pouzdanost procjene temeljnica Bitterlichovom metodom potrebno mjeriti manje stabala negoli metodom kružnih ploha (Matern 1972). PPS metode, njihova prilagodba radi bolje učinkovitosti te usporedba s metodama primjernih ploha i dalje su predmet istraživanja (Brooks i McGill 2004, Marshall i dr. 2004, Lindemuth 2007).

Objave vezane za uzorke promjenljive vjerojatnosti selekcije u Hrvatskoj su dosta rijetke. Lukić (1984) uspoređuje strukturu sastojina u nizinskim lužnjakovim šumama izmjerenu metodom totalne klupaže i metodama izmjere na prugama s PPS metodama (stajališta, linije). Slično istraživanje u nizinskim lužnjakovim šumama provodi Indir (2005) koji uspoređuje strukture sastojina dobivene izmjerom na krugovima fiksne površine s PPS metodama (stajališta). Vedriš (2010) u prebornim šumama bukve i jele uspoređuje procjenu strukturnih elemenata dobivenu pomoću kružnih primjernih ploha različite veličine s Bitterlichovom metodom promjenljive vjerojatnosti selekcije. Pranjić (1993) predlaže Bitterlichovu PPS metodu za kontrolu podataka dobivenih pri izmjeri nekim drugim metodama.

Dobar dio objava vezanih uz uzorke promjenljive vjerojatnosti selekcije tiče se izbora faktora temeljnica kojim će se izmjera provesti. Manjim faktorima mjeri se više stabala i postiže bolja pouzdanost procjene, a veći faktori iziskuju manji utrošak vremena. Odabir faktora temeljnica određuje se unaprijed te ga autori vežu uz željeni prosječan broj mjerenih stabala po stajalištu (plohi). Prema Bitterlichu (1984) isti se treba nalaziti u rasponu 7 do 14 stabala, prema Schreuderu i dr. (1993) 6 do 12, van Laaru i Akçi (2007) 6 do 16, Kangas i Maltamu (2006) 6 do 10, a prema Bankoviću i Pantiću (2006) čak 15 do 25 stabala. Iles (2003) preporučuje

svega 4 do 8 stabala po plohi za procjenu volumena, radi učinkovitosti izmjere te izbjegavanja pogrešaka izostavljanja (udaljenih) stabala.

Prema Todoroviću (1984) i Ilesu (2003) nije poželjno primijeniti (pre mali) faktor temeljnica koji uključuje udaljena stabla koja se ne mogu sigurno procijeniti. Lukić (1984) i Indir (2005) koriste faktore temeljnica 1, 2 i 4 za izmjeru starih lužnjakovih sastojina. Vedriš (2010) koristi faktore temeljnica 3, 5 i 7 za izmjeru prebornih bukovo-jelovih sastojina.

Kao i kod ostalih terestričkih metoda, poteškoću pri izmjeri predstavljaju 'rubna stabla' čija se pripadnost uzorku (udaljenost od središta) mora provjeravati (Bitterlich 1984, Iles 2003). Provjera udaljenosti udaljenih rubnih stabala mjernom vrpcom iziskuje puno vremena, te se to smatralo jednim od razloga neprimjenjivanja ove metode pri uređajnim izmjerama u Hrvatskoj.

Budući da u Hrvatskoj ova metodologija do sada nije našla širu primjenu, ovim se radom želi pridonijeti njenom poznavanju i praktičnoj primjenjivosti. Razvojem tehnologije i u šumarstvu se pojavljuju instrumenti koji olakšavaju i ubrzavaju izmjere. Jedan od njih je višenamjenski ultrazvučni uređaj Vertex koji mjeri duljine, kutove (nagib) i visine. Budući da se Vertex mnogo koristi u izmjeri šuma za provjeru udaljenosti stabala kod svih terenskih izmjera, cilj je ovog rada istražiti njegovu uporabljivost pri izmjeri strukture sastojina primjenom uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije.

2. Materijal i metode Material and methods

2.1. Rad na terenu – Field work

Istraživanje je provedeno u odjelu 1, Gospodarska jedinica (GJ) Mašvina, Šumarije Slunj, Uprava šuma Podružnica (UŠP) Karlovac, u kojem je postavljen sistematski uzorak sa 25 stajališta na sjecištima kvadratične mreže stranice kvadrata od 100 m

Početna je izmjera provedena na krugovima radijusa 20 m (K20) pri čemu su svakom stablu iznad taksacijske granice (10 cm) izmjereni prsni promjer i visina te udaljenost od središta plohe. Pri tomu su sva stabla unutar kruga označena rednim brojevima koji su korišteni i pri izmjeri PPS metodama. Podaci s ovih krugova korišteni su kao referentna vrijednost s pretpostavkom da zbog najveće površine uzorka i broja mjerenih stabala najtočnije odražavaju stvarnu strukturu sastojine.

Za izmjeru PPS metodom odabrani su faktori temeljnica 1, 2 i 4 te je odabir stabala vršen iz središta ploha na temelju tako odabranih kritičnih kutova koristeći Bitterlichov štapić (Š) i Bitterlichov zrcalni relaskop (R). Pomoću PPS metoda mjerena su sva stabla čiji je prsni promjer bio širi od zada-

Tablica 1. Nazivi metoda izmjere, način odabira stabala, provjere udaljenosti i broj članova ekipe po metodama
Table 1. Measurement methods, way of sample tree selection, distance checking, and number of crew members

METODA IZMJERE Measurement Method	Bitterlich							FK
	V1	Š1	R1	R2	R2MV	R4	R4MV	K20
FAKTOR TEMELJNICE – BAF		1			2		4	20*
ODABIR STABALA – Selection of trees	OKO	Š	R	R	R	R	R	
PROVJERA UDALJENOSTI – Distance check	V	V	V	V	MV	V	MV	V
BROJ ČLANOVA EKIPJE – Number of crew members	4	4	4	2	2	2	2	3

Bitterlich – promjenjiva vjerojatnost selekcije; FK – fiksni krug; V – Vertex; Š – Bitterlichov štapić; R – Bitterlichov zrcalni relaskop; MV – mjerna vrpca; OKO – oko; * 20 je radijus fiksnog kruga (m)

Bitterlich – Variable probability sampling; FK – Circular sample plot; V – Vertex; Š – Bitterlich stick; R – Bitterlich Spiegelrelaskop; MV – Measuring tape; OKO – eye; * 20 is plot radius (m)



Slika 1. Prikaz izračuna minimalnog promjera stabla (34,0 cm) koje je od središta plohe udaljeno 16,99 m u horizontali, uz odabrani faktor temeljnice 1

Figure 1 Display with calculated minimum diameter (34,0 cm) for horizontal distance from center 16,99 m, with assigned BAF 1

nog kritičnog kuta selekcije, a onima čiji je promjer izgledao jednak kritičnom kutu provjeravana je horizontalna udaljenost od središta plohe Vertexom (kod metoda Š1, R1, R2 i R4) odnosno mjernom vrpcom (kod metoda R2MV i R4MV) metodom "ravnjače-podravnjače".

Pri izmjeri prsnih promjera PPS metodama mjeritelj je prisima ili leđima okrenut k središtu plohe, jer je to upravo onaj promjer koji vidimo gledajući iz središta plohe preko Bitterlichovog štapića ili kroz Bitterlichov zrcalni relaskop. Bitterlichov zrcalni relaskop koristio se otkočen radi automatske korekcije udaljenosti zbog nagiba.

Budući da je za utvrđivanje pripadnosti svakog rubnog stabla uzorku provjera udaljenosti teoretski obvezna (Bitterlich 1984, Iles 2003), u dijelu ovoga rada odlučili smo istražiti je li u ovom slučaju provjera praktično nužna. Stoga su osim metoda Š1, R1, R2 i R4, kod kojih su rubna stabla provjeravana ("originalne metode"), naknadno primijenjene iste metode, ali tako da je u uzorak uzeto svako drugo rubno stablo ("izvedene metode"). Ove druge nose oznake Š1½, R1½, R2½ i R4½.

Vertex je pri izmjeri korišten za mjerenje udaljenosti (provjera rubnih stabala) kako bi se ubrzalo vrijeme izmjere i time smanjili troškovi, te za odabir stabala u uzorak (samo kod metode V1). Primjena Vertexa za odabir stabala proizašla je iz njegove mogućnosti postavljanja faktora temeljnice, iz kojega kod izmjere udaljenosti stabala izračunava i prikazuje minimalni promjer stabla da bi ono bilo u uzorku (slika 1).

Kod metode V1, uz korištenje Vertexa za odabir i provjeru stabala radi jednostavnosti rada uzet je faktor temeljnice 1 kod kojega je odnos granične udaljenosti (R) u metrima i promjera stabla (d) u centimetrima jednak $R_i = d_i / 2$ (Bitterlich 1984, Vedriš 2010: 25) te je odnos granične udaljenosti i promjera jednostavno preračunati. Ova metoda odabira ipak zbog nepouzdanosti vizualne procjene omjera udaljenosti i promjera očekivano obuhvaća velik broj rubnih stabala, pa je izmjera provedena samo kao provjera na jednoj plohi.

Radi procjene troška izmjere snimano je vrijeme potrebno za izmjeru na svakom stajalištu za svaku metodu. Vremena izmjere snimana su štopericom. Ukupno vrijeme rada razdijeljeno je na vrijeme izmjere na plohami i vrijeme hoda, a obrađivano je kao:

1. **Vrijeme izmjere na plohi** (T_{ip}) koje čini vrijeme od početka do kraja izmjere na pojedinoj plohi određenom metodom;
2. **Vrijeme izmjere ekipe** (T_{ie}) koje je dobiveno množenjem vremena izmjere na plohi (T_{ip}) s brojem članova ekipe – predstavlja osnovu za izračun troškova cijele ekipe;
3. **Vrijeme hoda** obuhvaća hod između ploha kao i hod od vozila do početne plohe te od završne plohe do vozila (jednako za sve metode), pomnoženo s brojem članova ekipe;
4. **Ukupno vrijeme** (T_{uke}) koje je dobiveno tako da se vremenu izmjere ekipe (T_{ie}) dodalo vrijeme hoda (za prosječan iznos po plohi podijeljeno je s brojem ploha).

Na samo vrijeme izmjere na plohi utječu različiti čimbenici: nagib terena, prohodnost, broj stabala koja se mjere (povr-

šina plohe), broj rubnih stabala (koja se provjeravaju) te broj članova terenske ekipe koji provode izmjeru. Broj članova koji provode izmjeru pri pojedinoj metodi određen je unaprijed na temelju procjene optimalne učinkovitosti pojedinaca u ekipi i same terenske ekipe (tablica 1).

2.2. Obračun i analiza podataka – Data analysis

Prije samog obračuna izmjereni promjeri grupirani su po njemačkim debljinskim stupnjevima. Volumen (krupnog drva) obračunat je pomoću dvoulaznih tablica za bukvu (Špiranec 1975). Strukturni elementi (broj stabala (N/ha), temeljnica (G/ha) i volumen (V/ha)) obračunati su za svaku plohu te ukupno za cijelu sastojinu.

Odstupanje distribucija pojedinih metoda (Š1, R1, R2 i R4) u odnosu na metodu K20, a također i izvedenih distribucija (Š1½, R1½, R2½ i R4½) u odnosu na originalne (Š1, R1, R2 i R4) testirano je hi-kvadrat testom.

Usporedba vrijednosti strukturnih elemenata (N , G i V) dobivenih različitim metodama provedena je Analizom varijance ponovljenih mjerenja u programu STATISTICA 7.1 (Statsoft 2006).

Procjena troška izmjere dobivena je na temelju utrošenog vremena za izmjeru i internog cjenika poduzeća Hrvatske šume d.o.o., po kome je cijena rada pomoćnika taksatora 554 kn/dan, a pomoćnog radnika u šumarstvu 298 kn/dan. Prema istom cjeniku trošak prijevoza vozilom Lada Niva iznosi 172 kn/dan. Broj pomoćnih radnika ovisio je o metodama. Kako u radno vrijeme od 8 sati ulazi dolazak i odlazak s posla kao i vrijeme odmora, obračun je proveden za efektivni rad od 6 sati.

3. Rezultati

Results

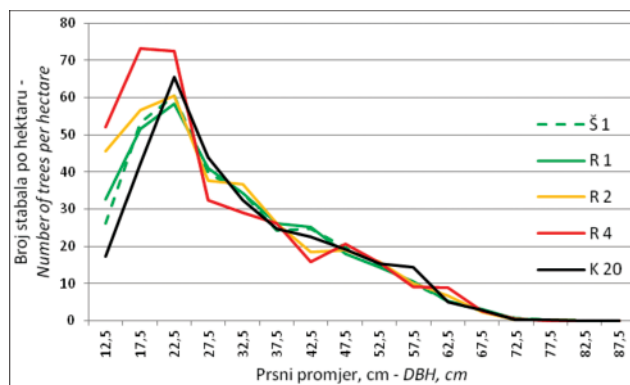
3.1. Distribucije broja stabala – Diameter distributions

Na slici 2 prikazane su distribucije broja stabala po debljinskim stupnjevima za odabrane metode izmjere.

Iz slike 2 vidljiv je nešto veći broj stabala u nižim debljinskim stupnjevima kod metoda R4 i R2 u odnosu na ostale. Rezultati testiranja razlike distribucija broja stabla pojedine metode u odnosu na referentnu metodu K20 prikazani su u tablici 2, a razlika izvedenih distribucija u odnosu na originalne u tablici 3.

Kao što se iz tablice 2 vidi distribucije metoda R2 i R4 statistički se značajno razlikuju od distribucije dobivene metodom K20, kao posljedica odstupanja broja tankih stabala (slika 2).

Iz tablice 3 vidljivo je da razlika izvedene distribucije broja stabala po debljinskim stupnjevima u odnosu na originalnu distribuciju nije statistički značajna niti za jednu od četiri uspoređene metode.



Slika 2. Distribucija broja stabala po debljinskim stupnjevima po hektaru za odabrane metode izmjere

Figure 2. Diameter distribution per hectare by measurement methods

Tablica 2. Vrijednosti hi-kvadrat testa distribucija broja stabala za PPS metode izmjere u odnosu na metodu K20

Table 2. Chi-square values for test of diameter distributions – PPS methods in relation to referent method K20

k	c^2	Metoda izmjere – Measurement method			
		Š1	R1	R2	R4
11	19,68	9,11	16,9	48,66*	81,85*

k – broj stupnjeva slobode; c^2 – granična vrijednost hi-kvadrata za razinu značajnosti 0,05; * statistički značajne vrijednosti

k – degrees of freedom; c^2 – marginal chi-square value for significance level 0,05; * statistically significant

Tablica 3. Vrijednosti hi-kvadrat testa razlika distribucija broja stabala izvedenih distribucija u odnosu na originalne distribucije

Table 3. Chi-square values for test of derived distributions in relation to original distribution for methods

k	c^2	Metoda izmjere – Measurement method			
		Š1½–Š1	R1½–R1	R2½–R2	R4½–R4
11	19,68	0,92	1,07	1,04	4,85

k – broj stupnjeva slobode; c^2 – granična vrijednost za razinu značajnosti od 0,05

k – degrees of freedom; c^2 – marginal value for significance level 0,05

3.2. Elementi strukture sastojine – Stand structure elements

Obračunom sa svih stajališta dobivene su vrijednosti broja stabala, temeljnice i volumena cijele sastojine za svaku metodu. Njihovi iznosi po hektaru prikazani su u tablici 4.

Najveće vrijednosti broja stabala i temeljnice dobivene su primjenom faktora temeljnice 4, a najmanje procjene broja stabala, temeljnice i volumena po hektaru metodom Š1½. Varijabilnost, a time i standardna pogreška procjene (s_x) strukturnih elemenata, uglavnom se povećava povećanjem faktora temeljnice (osobito za broj stabala), što je djelomično posljedica smanjenja broja stabala u uzorku. Anali-

Tablica 4. Broj stabala (*N/ha*), temeljnica (*G/ha*) i volumen (*V/ha*) sastojine po metodama; \bar{x} – aritmetička sredina; s_x – standardna pogreška

Metoda Method	N/ha		G/ha		V/ha	
	\bar{x}	$s_x, \%$	\bar{x}, m^2	$s_x, \%$	\bar{x}, m^3	$s_x, \%$
Š 1	316,7	9,8	27,8	4,5	334,5	5,4
Š 1½	305,9	9,6	26,6	4,3	318,9	5,3
R 1	321,2	9,9	27,8	4,5	334,0	5,4
R 1½	323,7	9,8	28,0	4,5	335,2	5,4
R 2	336,2	13,8	27,7	4,7	330,1	5,3
R 2½	330,6	13,0	27,7	4,4	331,0	5,1
R 4	358,3	16,6	28,0	6,6	332,4	7,5
R 4½	369,6	16,7	28,3	6,3	335,4	7,1
K 20	306,2	6,6	28,4	4,1	343,2	5,3

zom varijance ponovljenih mjerenja testirana je statistička značajnost razlika procjene između navedenih metoda za sve četiri varijable. Rezultati testiranja su prikazani u zbirnom obliku u tablici 5.

Razlike broja stabala, temeljnice i volumena po hektaru između metoda nisu se pokazale statistički značajnima, s time da je podudaranje rezultata između metoda najizraženije kod temeljnice i volumena (tablica 4).

3.3. Vrijeme izmjere – Measurement time

Budući da smo željeli provjeriti mogućnost uporabe Vertexa i kao uređaja za odabir stabala, na slici 3 prikazana je usporedba metoda V1 (odabir stabala Vertexom) i R1 (odabir stabala zrcalnim relaskopom uz provjeru udaljenosti rubnih stabala Vertexom) na plohi 17.

Utrošeno vrijeme izmjere na plohi 17 kod metode V1 iznosilo je 10,3 minuta, što je gotovo trostruko više od vremena izmjere metodom R1 (3,5 minuta) u kojoj se koristio Bitter-

Tablica 5. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja između metoda za broj stabala (*N/ha*), temeljnicu (*G/ha*) i volumen (*V/ha*); *d.f.* – stupnjevi slobode, *F* – omjer varijanci, *p* – vjerojatnost

Table 5. Results of Repeated measures ANOVA between methods for Number of stems (*N/ha*), Basal area (*G/ha*) and Volume (*V/ha*); *d.f.* – degrees of freedom, *F* – variance ratio, *p* – probability

Varijabla Variable	d.f.	F	p
<i>N/ha</i>	8	1,045	0,404
<i>G/ha</i> (m ²)	8	0,341	0,949
<i>V/ha</i> (m ³)	8	0,377	0,932

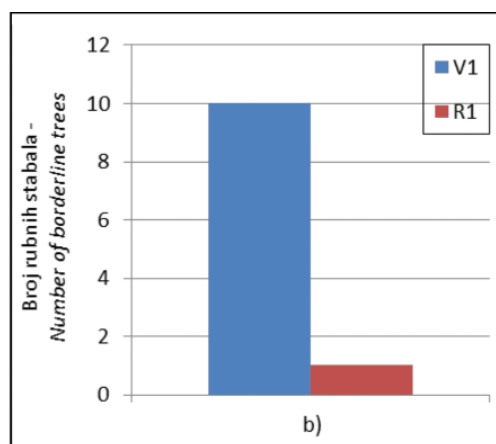
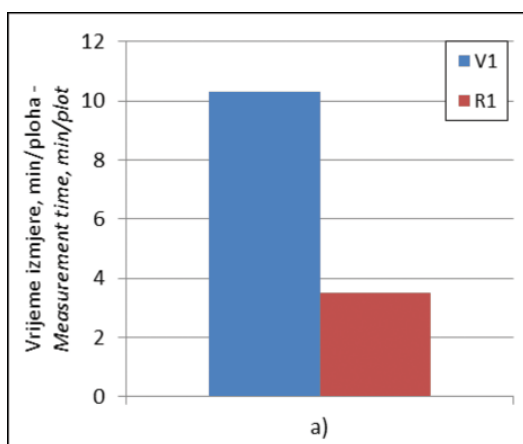
lichov zrcalni relaskop (slika 3a). To je ponajprije posljedica deseterostruko većeg broja stabala koja su tom metodom provjeravana kao rubna (slika 3b). Upravo zbog potvrde ovog očekivanoga odnosa izmjera metodom V1 provedena je samo na jednoj plohi.

Na slici 4 prikazana su vremena izmjere na plohi, po ekipi i ukupna vremena po metodama.

Prema slici 4 vrijeme izmjere na plohi je za 20 % manje primjenom Bitterlichovog zrcalnog relaskopa u odnosu na izmjeru Bitterlichovim štapićem za faktor temeljnice 1. Kod ukupnog vremena (*T_{uke}*) ta razlika iznosi 16 %, jer uključeno vrijeme hoda nešto smanjuje razliku.

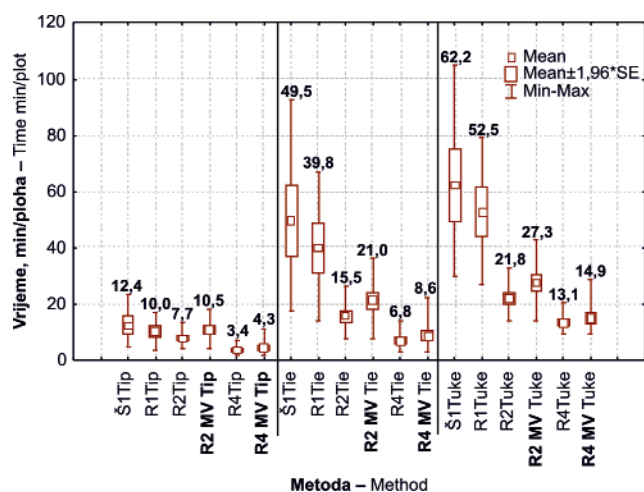
Ušteda vremena izmjere na plohi vidljiva je kod metoda istih faktora temeljnice u kojima se udaljenost rubnih stabala provjeravala Vertexom u odnosu na provjeru mjernom vrpcom. Tako je kod metode R2 vrijeme izmjere na plohi 26 % kraće, a kod metode R4 21 % kraće, ako provjeru pripadnosti rubnih stabala provodimo Vertexom umjesto mjernom vrpcom. Kod ukupnog vremena (*T_{uke}*) to skraćuje vrijeme izmjere iznosi 20 % kod metode R2 odnosno 12 % kod metode R4.

Vrijeme izmjere bitno ovisi o broju stabala koja sigurno pripadaju uzorku i broju rubnih stabala kojima se provjerava pripadnost uzorku, stoga su navedene vrijednosti po metodama prikazane na slici 5.



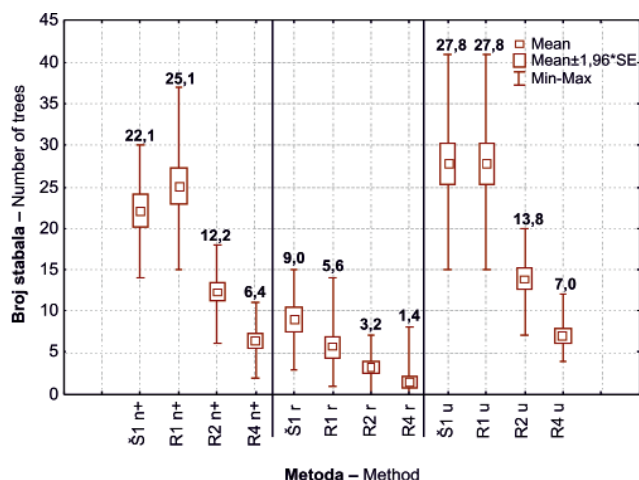
Slika 3. Usporedba metoda V1 i R1: a) po vremenu izmjere na plohi b) po broju rubnih stabala na plohi 17

Figure 3. Comparison of measurement methods V1 and R1: a) measurement time per plot; b) number of borderline trees



Slika 4. Vrijeme izmjere na plohi (T_{ip}), Vrijeme izmjere ekipe na plohi (T_{ie}) i Ukupno vrijeme po plohi (T_{uke}) po metodama

Figure 4. Measurement time on plot (T_{ip}), Crew measurement time on plot (T_{ie}) and Total time per plot (T_{uke}) by methods



Slika 5. Broj stabala koja sigurno pripadaju plohi ($n+$), broj rubnih stabala po plohi (r) i broj mjerenih stabala na plohi (u) po metodama

Figure 5. Number of trees certainly inside plot ($n+$), number of borderline trees (r) and number of measured trees per plot (u) by methods

Tablica 6. Procjena troška izmjere na 25 ha i na 1000 ha po metodama

Table 6. Estimated cost of inventory on 25 ha and 1000 ha per methods

Metoda Method	Broj radnika Crew members	Trošak (kn/dan) Cost (kn/day)		Dana Days	25 ha		1000 ha			
		*	**		Dana Days	Ukupni trošak (kn) Total cost (kn)		Dana Days	Ukupni trošak (kn) Total cost (kn)	
						*	**		*	**
Š1	1+3	1620	–	1,08	1749,94	–	43,21	69 998	–	
R1	1+3	1620	–	0,91	1477,58	–	36,48	59 103	–	
R2	1+1	1024	938	0,76	776,68	711,45	30,34	31 067	28 458	
R2MV	1+1	1024	938	0,95	971,36	889,78	37,94	38 855	35 591	
R4	1+1	1024	938	0,46	466,60	427,41	18,23	18 664	17 096	
R4MV	1+1	1024	938	0,52	531,11	486,51	20,75	21 245	19 460	

* Trošak ako se u jednom vozilu vozi jedna ekipa – Cost when single crew uses one vehicle

** Trošak ako se u jednom vozilu voze dvije ekipe – Cost when two crews use one vehicle

Iz slike 5 uočljivo je smanjenje broja mjerenih stabala, kao i broja rubnih stabala povećanjem faktora temeljnice, što je razlog brže izmjere većim faktorima. Iako metode Š1 i R1 imaju jednak prosječan broj stabala u uzorku (27,8), kod metode R1 bilo je manje rubnih (5,6) zbog samog načina odabira stabala – Bitterlichov zrcalni relaskop radi korekcije udaljenosti na nagibu čime su stabla za provjeru promjera stabla i horizontalne udaljenosti "stvarno" rubna. Najveći broj rubnih stabala je očekivano kod metode Š1 (9,0). Uzrok tomu jest, osim maloga faktora temeljnice, također i to što je na nagibu teško ocijeniti udaljenost, a Bitterlichov štapić nema korekciju za nagib. Kod odabira stabala Bitterlichovim štapićem koji ne radi korekciju udaljenosti na nagibu, rubna stabla na nagibu provjerom promjera i horizontalne udaljenosti redovito ulaze u uzorak ("nisu rubna"). Iz istog razloga kod većih nagiba znalo se dogoditi da u uzorak ulaze udaljenija i deblja stabla koja imaju prsni promjer čak malo uži od pločice Bitterlichovog štapića. Najmanji broj rubnih stabala po plohi ima metoda R4 (1,4), što je očekivano jer ista ima i najmanji broj stabala u uzorku (7,0).

3.4. Procjena troška izmjere – Estimated mensuration cost

Na temelju podataka prikupljenih ovim istraživanjem na 25 ploha napravljena je procjena troška izmjere na 25 ha (jedna ploha predstavlja 1 ha) te na 1000 ha koliko se prosječno mjeri po gospodarskoj jedinici (prema podacima Odjela za uređivanje šuma UŠP Karlovac), uz kombinacije da se u vozilu vozi jedna, odnosno dvije ekipe (kod metoda kod kojih su izmjeru provodile ekipe s dva člana). Rezultati procjene troška izmjere za odabrane metode prikazani su u tablici 6.

Prema tablici 6 trošak kada bi se jednim vozilom vozila jedna ekipa primjenom metode R4 je 68 % manji u odnosu na metodu R1, 40 % prema metodi R2, odnosno 12 % manji od metode R4MV, bez obzira na površinu inventure. Kada bi se jednim vozilom vozile dvije ekipe metoda R4 je čak 71 % jeftinija od metode R1 (jedna ekipa u autu), što u

apsolutnom iznosu na 1000 ha znači razliku 42 tisuće kn. Metoda R1 je 16 % jeftinija od metode Š1, što bi na 1000 ha značilo uštedu preko 10 000 kn.

Izmjera metodama istih faktora temeljnice u kojima se koristio Vertex u odnosu na mjernu vrpču je jeftinija za 20 % kod metode R2, odnosno 12 % kod metode R4.

4. Rasprava

Discussion

Bitterlichove metode nisu do sada značajnije korištene pri uređivačkim izmjerama u RH iz uvjerenja da bi provjeravanje udaljenih rubnih stabala korištenjem mjerne vrpce otežavalo i poskupljivalo samu izmjeru. Pojavom uređaja koji rade na principu ultrazvučnih valova (Vertex), udaljenosti rubnih stabala mogu se provjeriti na jednostavniji i brži način što svakako može doprinijeti učinkovitosti ovih metoda. Pri postavljanju kruga na horizontalu Vertex može registrirati i nagib, te automatski iz izmjerene udaljenosti po nagibu i nagiba računa horizontalnu udaljenost do stabla. Istraživanja Lukića i dr. (2005) pokazuju da Vertexom (u odnosu na mjernu vrpču) možemo precizno mjeriti udaljenost, a Božića i dr. (2005) da je radi jednostavnosti i brzine određivanja udaljenosti pri izmjeri visine stabala pri istom radu djelotvorniji od do tada korištenih visinomjera. Slijedom navedenog poduzeća koja se bave uređivanjem šuma danas ga intenzivno koriste u svom radu. Primjena samo Vertexa kao uređaja za odabir stabla u uzorak (metoda V1) pokazala se u ovom istraživanju praktično neprihvatljivom zbog višestruko većeg broja provjera rubnih stabala (slika 3). U slučaju drugih faktora temeljnice metoda bi bila dodatno usporena zbog sporijeg obračuna odnosa granične udaljenosti i promjera stabla. Također je bitno primijetiti kako u slučaju malih faktora temeljnice (1) i stabala većih promjera u uzorak potencijalno ulaze i vrlo udaljena stabla. U tom slučaju osim mogućih grubih pogrešaka izostavljanja takvih stabala zbog "nevidljivosti" (Iles 2003), dodatnu teškoću predstavlja i domet Vertexa koji prema proizvođačkim specifikacijama iznosi "30 m i više u optimalnim uvjetima", ali u težim sastojinskim uvjetima ne prelazi 30 m (Lukić i dr. 2005).

4.1. Struktura sastojine – Stand structure

Razlika u distribuciji broja stabala kod metoda R4 i R2, statistički je značajna u odnosu na metodu K20 (vidi tablicu 2), pri čemu su kao i kod Vedriša (2010) tanka stabla glavni uzrok toj razlici. Slična odstupanja između distribucija za faktore temeljnice 2 i 4 baš kod tankih stabala dobio je Lukić (1984) u starim jednodobnim lužnjakovim sastojinama. Izrazito veći broj tankih stabala po hektaru kod metoda R2 i R4 (slika 2) na prvi pogled je neočekivan ako uzmemo u obzir relativno manji broj tankih stabala u uzorku (samo

ona blizu središta plohe). Ipak je to razumljivo ako znamo da je kod Bitterlichove metode faktor stabla (koliko stabala po hektaru predstavlja jedno mjereno stablo) proporcionalan faktoru temeljnice (raste većim faktorom) i obratno proporcionalan promjeru (temeljnici) mjenog stabla. Zato je kod većih faktora temeljnice (veći faktor stabla) broj izmjerenih tankih stabala u uzorku višestruko uvećan po hektaru, što je dovelo do ovakvih odstupanja (slika 2 i tablica 2). Razlog tomu nije struktura sastojine niti raspored ploha, nego sama metoda uzorkovanja. Iako je kod Bitterlichove metode teoretski isključena pristranost u statističkom smislu (Vedriš 2010) i središta ploha postavljena su sistematskim uzorkom, zbog navedenog se razloga primjenom većih faktora temeljnice uvijek može očekivati znatno odstupanje, odnosno nepreciznost u procjeni broja tanjih stabala. Pri tome nije moguće unaprijed predvidjeti hoće li odstupanja biti pozitivna ili negativna. Te se razlike svakako smanjuju kod većeg broja ploha na što upućuje i Vedriš (2010, str. 161).

Usporedba distribucija broja stabala po debljinskim stupnjevima hi-kvadrat testom, pri čemu su uspoređivane distribucije pojedine PPS metode (očekivane distribucije) s distribucijama za iste metode kada rubna stabla ne bi bila provjeravana, nego bi svako drugo uzeto u obračun (izvedene distribucije) pokazivalo da nema statistički značajne razlike među njima (tablica 3).

Dobivene razlike srednjih vrijednosti broja stabala, temeljnice i volumena između metoda, nisu statistički značajne (tablice 4 i 5) što je u skladu s teorijom uzoraka, a potvrđeno je primjerice i istraživanjem Vedriša (2010 na str. 145). Pri tome valja napomenuti da je metodom Š1½ očito podcijenjena temeljnica i drvena zaliha (tablica 4) kao posljedica sistematskog izbacivanja previše rubnih stabala, a istu pogrešku moglo bi se očekivati i u drugim sastojinama. Standardna pogreška kao mjera pouzdanosti procjene je kod PPS metoda samo za broj stabala znatno veća u odnosu na inicijalni krug (K20). Iz navedenog slijedi da je izmjera PPS metodama prihvatljiva za ovakve sastojine, uz preporuku manjeg faktora temeljnice ako se želi dobiti bolja preciznost broja stabala. Sveukupno gledajući rezultate procjene strukture faktor temeljnice 2 bio bi prihvatljiv za ovakve sastojine. Kako kod distribucije broja stabala (tablica 4) ni kod srednjih vrijednosti strukturnih elemenata (tablica 5) nije utvrđena statistički značajna razlika između metoda s provjerom svih rubnih stabala (Š1, R1, R2 i R4) u odnosu na mjerenje svakog drugog rubnog stabla (metode Š1½, R1½, R2½ i R4½), slijedi da bi se izmjera u ovakvim uvjetima radi praktičnosti mogla provoditi bez provjere udaljenosti rubnih stabala, tako da u obračun strukture uzimamo svako drugo rubno stablo. Tim više što je razlika pogreške procjene između tih metoda gotovo zanemariva (tablica 5). Ipak, izmjera "svakog drugog rubnog stabla" u proturječju je s teoretski obveznom provjerom (Bitterlich 1984), a

glavni je razlog potrebne provjere to što ta odstupanja uvelike ovise o savjesnosti i procjeni (iskustvu) mjeritelja te se ne mogu predvidjeti pa predstavljaju nepoznatu pogrešku. Zato bi prije primjene tog načina u drukčijim sastojinama za svakog mjeritelja trebalo napraviti istovjetnu provjeru (Iles 2003).

Rezultati potvrđuju da je odabir stabala pri izmjeri bolje provesti uređajima kojima je moguće provesti korekciju nagiba terena (provjera pripadnosti uzorku pomoću otkočenog Relaskopa), jer je primjenom Bitterlichovog štapića na nagnutom terenu dobiveno više rubnih stabala (slika 5). Tada su u slučaju provjere udaljenosti neka stabla nepotrebno provjeravana, što je povećalo utrošak vremena (slika 4), a u slučaju izbora "svakog drugog rubnog" sistematski je iz uzorka pogrešno isključeno previše stabala, što je uzrokovalo podcjenjivanje strukturnih elemenata (tablica 4).

Vrijednost volumena najveća je u metodi K20 (tablica 4), dok je po ostalima metodama za 2–7 % manji. Razlika se ipak nije pokazala statistički značajnom, što znači da ne možemo tvrditi da bi razlika kod drugog uzorka bila tolika i istog predznaka. Ipak, valja imati na umu da stručnjak, svjestan pogreške uzorka, mora odlučiti je li dobivena razlika praktično bitna ili nije. To je još važnije u slučaju kad se razlika pokaže statistički značajnom.

4.2. Potrebno vrijeme i troškovi izmjere – Measurement time and costs

Kao što se iz slike 4 vidi ukupno vrijeme izmjere ekipe u PPS metodama se smanjuje povećanjem faktora temeljnice, što je posljedica manjeg broja stabala koja su "sigurno u uzorku": 25,1 (R1), 12,2 (R2) odnosno 6,4 (R4) kao i manje rubnih stabala 5,6 (R1), 3,2 (R2) odnosno 1,4 (R4) (slika 5). Ako promatramo odnos broja rubnih stabala prema broju mjerenih stabala kod Bitterlichove metode, on je podjednak kod sve tri metode, pa smatramo da bi mogao poslužiti kao procjena i za druge faktore. Smanjenje ukupnog vremena izmjere ekipe povećanjem faktora temeljnice je potpuno očekivano, no upravo takav rezultat uz poznatu pouzdanost procjene (tablica 4) daje mogućnost izbora najpovoljnije metode prema omjeru pouzdanosti procjene i troškova.

Vremena potrebna za izmjeru metodama kod kojih se provjera rubnih stabala provodila Vertexom, očekivano su manja od vremena kada se provjera rubnih stabala provodila mjernom vrpcom (slika 4), s time da je ušteda u relativnom iznosu nešto veća kod manjeg faktora temeljnice (26 % kod R2 i 21 % kod R4). Budući da je izmjera na plohi (T_{ip}) kod R2 dulja u apsolutnom iznosu nego kod R4, ako promatramo ukupno vrijeme (T_{uke}) ta je razlika nešto izraženija (ušteda zbog Vertexa kod metode R2 je 20 %, a kod R4 12 %). Ovi su rezultati očekivani, a razlika bi se, s obzirom da se provjera udaljenosti mjernom vrpcom provodila meto-

dom ravnjače-podravnjače, zasigurno povećavala smanjenjem faktora temeljnice (provjera udaljenosti udaljenijih stabala) i povećanjem nagiba terena (izmjera udaljenosti u više segmenata).

Prema tablici 6 najmanje novčanih sredstava za izmjeru potrebno je kod metode R4 te R4MV bilo da se u jednom automobilu vozila jedna ili dvije terenske ekipe. Budući da je cijena izmjere dobivena množenjem vremena sa cijenom rada, relativan odnos ušteda jednak je kao kod vremena (slika 4 i tablica 6). Trošak izmjere metodom R4 manji je za 12 % u odnosu na metodu R4MV, a metodom R2 manji je za 20 % u odnosu na metodu R2MV, neovisno o ukupnom broju dana i načinu prijevoza. Ako promotrimo apsolutne iznose, to bi na 1000 ha značilo uštedu od 2364 kn (kod R4 i dvije ekipe u vozilu) do 7788 kn (kod R2 i jedna ekipa u vozilu).

Organizacijom izmjere na način da se kod metoda kod kojih se izmjera provodi pomoću dva čovjeka jednim vozilom prevoze dvije ekipe, dovodi do smanjenja novčanih sredstava u iznosu od 8,4 % kod obiju metoda, oba uređaja za mjerenje udaljenosti i neovisno o ukupnom broju dana. Ove se moguće uštede ne treba zanemariti, posebice ako se radi inventura na većoj površini.

Malu poteškoću kod usporedbe metoda predstavlja različit broj članova ekipe za izmjeru kod metoda Š1 i R1 u odnosu na ostale. Trošak izmjere ovim metodama s dva člana ekipe (1+1) po danu bio bi sigurno manji. Ipak, u tom slučaju, zbog očekivano većeg utroška vremena za izmjeru po plohi, smatramo da bi u konačnici trošak bio podjednak (više dana), a sigurno ne bi bio manji nego kod metoda većih faktora temeljnice. Osim toga faktor 1 jest odabran ponajprije za usporedbu rezultata izmjere, a u ovakvim sastojinama ni sa stajališta učinkovitosti ni točnosti pri izmjeri nije opravdan jer ima (pre)velik broj stabala po stajalištu (slika 5), veći broj rubnih, a također uključuje udaljena i zaklonjena (potencijalno "nevidljiva") stabla.

5. Zaključci Conclusions

1. U izmjeri PPS metodama za odabir stabala pri izmjeri na nagnutom terenu preporuča se korištenje Bitterlichovog zrcalnog relaskopa, jer zbog korekcije udaljenosti ima manje rubnih stabala za provjeru nego korištenjem Bitterlichovog štapića, čime se izmjera ubrzava.
2. Budući da pri procjeni strukturnih elemenata nije utvrđena statistički značajna razlika, u ovakvim je sastojinama praktično prihvatljiv način izmjere da se rubna stabla ne provjeravaju nego da se mjeri svako drugo rubno stablo. Ipak u tom slučaju na nagnutom terenu može doći do podcjenjivanja temeljnice i volumena ako se koristi Bitterlichov štapić.

3. Korištenje Vertexa kao uređaja za odabir stabala PPS metodom nije preporučljivo jer podrazumijeva provjeru velikog broja rubnih stabala što iziskuje previše vremena.

4. Provjera udaljenosti rubnih stabala Vertexom poboljšava učinkovitost terenske izmjere kod PPS metoda (manji utrošak vremena) u odnosu na provjeru udaljenosti rubnih stabala mjernom vrpcom, osobito na nagnutom terenu.

5. Poboljšanje učinkovitosti izmjere uporabom Vertexa u odnosu na mjernu vrpcu, kod PPS metoda više dolazi do izražaja pri korištenju manjih faktora temeljnica (provjera većeg broja rubnih stabala).

6. Zahvala

Acknowledgement

Zahvaljujemo poduzeću "Hrvatske šume" d.o.o. koje je omogućilo terenski dio ovoga istraživanja, kao i djelatnicima Uprave šuma podružnica Karlovac i Šumarije Slunj koji su sudjelovali u izmjeri. Također zahvaljujemo recenzentima na korisnim i dobronamjernim primjedbama za poboljšanje rada.

7. Literatura

References

- Banković, S., D. Pantić, 2006: Dendrometrija, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu. 342–359.
- Bitterlich, W., 1947: Die Winkelzählmessung. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung 58 (11–12): 94–96.
- Bitterlich, W., 1948: Die Winkelzählprobe. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung 59 (1–2): 4–5.
- Bitterlich, W., 1984: The Relascope idea – relative measurements in forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux, Norfolk, England, 242 str.
- Božić, M., J. Čavlović, N. Lukić, K. Teslak, N. Kos, 2005: Djelotvornost ultrazvučnog visinomjera/daljinomjera *Vertex III* u odnosu na najčešće korištene visinomjere u šumarstvu Hrvatske. Croatian Journal of Forest Engineering 26 (2): 91–99.
- Brooks, J.R., D. McGill, 2004: Evaluation of Multiple Fixed-Area Plot Sizes and BAFs in Even-Aged Hardwood Stands. U: Yaussy, D.A., D.M. Hix, R.P. Long, P.C. Goebel, (ur.). Proceedings of the 14th Central Hardwood Forest Conference, General Technical Report GTR-NE-316, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. Newtown Square. 94–100.
- Gambill, C.W., H.V. Wiant, Jr., D.O. Yandle, 1985: Optimum plot size and BAF. Forest Science 31 (3): 587–594.
- Grosenbaugh, L.R., 1952: Plotless timber estimates — new, fast, easy. Journal of Forestry 50: 32–37.
- Iles, K., 2003: A Sampler of Inventory Topics. A textbook on forest inventory. Second edition. Kim Iles and Associates, Nanaimo, B.C. Canada, 869 str.
- Indir, K., 2005: Izbor metoda izmjere taksacijskih elemenata u inventuri šuma hrasta lužnjaka. Radovi šum. Instituta Jastrebarsko 40 (1): 73–78.
- Kangas, A., M. Maltamo, 2006: Forest inventory: Methodology and applications. Springer, Dordrecht, NL, 362 str.
- Kulow, D.L., 1966: Comparison of forest sampling designs. Journal of Forestry 64 (7): 469–474.
- Lindemuth, R.M., 2007: A field trial comparison of sampling methods for estimating basal area and volume in partially harvested stands in Maine. Magistarski rad. University of Maine, 100 str.
- Lukić, N., 1984: Izmjera jednodobnih sastojina primjenom uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije. Glasnik za šumske pokuse 22: 333–377.
- Lukić, N., M. Božić, J. Čavlović, K. Teslak, D. Novosel, 2005: Istraživanje primjenjivosti ultrazvučnog visinomjera/daljinomjera *Vertex III* u odnosu na najčešće korištene visinomjere u šumarstvu Hrvatske. Šumarski list 129 (9–10): 481–488.
- Marshall, D.D., K. Iles, J.F. Bell, 2004: Using a large-angle gauge to select trees for measurement in variable plot sampling. Canadian Journal of Forest Research 34: 840–845.
- Matern, B., 1972: The precision of basal area estimates. Forest Science 18: 123–125.
- Oderwald, R.G., 1981: Comparison of point and plot sampling basal area estimators. Forest science 27 (1): 42–48.
- Pranjić, A., 1993: Kontrola podataka inventure šuma. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje 4: 121–132.
- Schreuder, H.T., T.G. Gregoire, G.B. Wood, 1993: Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. John Wiley & Sons, New York, 446 str.
- StatSoft, Inc., 2006: STATISTICA (data analysis software system), version 7.1., Tulsa, OK, USA. www.statsoft.com.
- Špiranec, M., 1975: Drvnogromadne tablice za hrast, bukvu, obični grab i pitomi kesten. Radovi Šumarskoga instituta, Jastrebarsko 22: 1–262.
- Todorović, D., 1984: Tačnost i ekonomičnost snimanja inventara raznodobnih sastojina na osnovi uzoraka relaskopskih koncentričnih krugova. Doktorski rad. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 262 str.
- van Laar, A., A. Akça, 2007: Forest mensuration. Springer, Dordrecht, 383 str.
- Vedriš, M., 2010: Utjecaj različitih metoda uzorkovanja na izmjeru i procjenu strukturnih elemenata bukovo-jelovih sastojina. Doktorski rad. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 191 str.

Summary

Applicability of ultrasonic telemeter Vertex in inventory of montane beech stand was estimated. Evaluation was based on estimates of structure elements from Bitterlich variable plot sampling, time consumption and costs.

Research was carried out in pure beech stand located near Slunj, in management unit "Mašvina", Forest administration Karlovac, Croatia. Systematic sample of 25 plots was laid on a grid 100 x 100 m. Breast height diameters (DBH) and heights of trees over 10 cm DBH were measured using Variable plot sampling with different metric basal area factors (BAF). Sample trees were selected by Bitterlich stick (BAF 1) and Spiegelre-laskop (BAFs 1, 2 and 4). Distance of borderline trees was checked by Vertex telemeter and measurement tape (BAF 2 and 4). In total, seven combinations of Bitterlich plots (methods) were carried out (Table 1), and circular 20 m radius plots on the same standpoints were set as a reference method.

Diameter distributions estimated from BAFs 1, 2, and 4 were compared to distribution from 20 m radius plots by chi-square test, difference of 0.05 being considered statistically significant. Distributions from BAF 2 and 4 were found to be statistically different (Table 2), with difference mostly coming from number of trees DBHs 10 to 20 cm (Fig. 2).

Number of stems, basal area and volume were calculated for each method per each plot and whole stand (Table 4). All estimates were compared by repeated measures ANOVA with significance level 0,05. No statistically significant differences were found between estimates of N, G and V coming from different methods (Table 5).

Time study and estimation of costs were carried out for measurement methods. Bigger BAFs were found to considerably decrease time (Figure 4) and costs (Table 6), even up to 71 % (BAF 4 vs. BAF 1). Using Vertex instead of measurement tape for checking borderline trees reduced time and costs by 12 % (BAF 4) and 20 % (BAF 2). By economically organizing transport of field crews (two crews using the same vehicle) time and costs were reduced by 8 %.

This research confirmed that cost of forest stand inventory using variable plot sampling can be reduced by use of Vertex telemeter, as well as by choice of appropriate BAFs and economical transport of the field crews.

KEY WORDS: Vertex telemeter, Bitterlich sampling, sample plots, costs, forest inventory