

ISTRAŽIVANJE PRIMJENJIVOSTI ULTRAZVUČNOG VISINOMJERA/ DALJINOMJERA *Vertex III* U ODNOSU NA NAJČEŠĆE KORIŠTENE VISINOMJERE U ŠUMARSTVU HRVATSKE

INVESTIGATING THE *Vertex III* ULTRASONIC ALTIMETER/DISTANCE
MEASURER APPLICABILITY IN RELATION TO THE MOST COMMONLY
USED ALTIMETERS IN THE FORESTRY OF CROATIA

† Nikola LUKIĆ*, Mario BOŽIĆ*, Juro ČAVLOVIĆ*, Krunoslav TESLAK*, Domagoj NOVOSEL**

SAŽETAK: Autori su u radu prikazali prednosti i nedostatke ultrazvučnog visinomjera u odnosu na dosadašnje visinomjere. Izmjera horizontalnih udaljenosti ultrazvučnim visinomjerom *Vertex* je zbog malih odstupanja (78 % odstupanja u rasponu ± 5 cm) u odnosu na izmjerenu stvarnu udaljenost moguće koristiti kao daljinomjer pri radovima u šumarstvu. Visine pojedinih stabala bitno su se razlikovale korištenjem pojedinih instrumenata, pri čemu je razlika u visinama najvećim dijelom rezultat razlike u određivanju horizontalne udaljenosti pojedinim instrumentima. Najveće su razlike odnosno ukupne pogreške (SET) pri izmjeri visina u odnosu na *Vertex*, koji je radi svoje preciznosti pri određivanju horizontalne udaljenosti i visine korišten kao kontrolni instrument, dobiveno je kod Blume-Leissa 0,012 m, kod Biterlichovog zrcalnoga relaskopa s običnom skalom 0,161 m, kod Biterlichovog zrcalnoga relaskopa s CP skalom-horizontalna letva 0,271 m i kod Biterlichovog zrcalnoga relaskopa s CP skalom-vertikalna letva 0,301 m.

Glavne riječi: ultrazvučni visinomjer, određivanje horizontalne udaljenosti, određivanje visine stabla, preciznost.

UVOD – Introduction

Čovjek zaključke donosi na temelju dostupnih informacija. Uvid u stvarno, trenutno stanje, te zaključivanje na temelju toga, nezaobilazno je u procesu donošenja odluka, odnosno planiranja. Glede brojnih ljudskih djelatnosti, do potrebnih informacija (podataka) dolazimo na različite načine, na primjer; zapažanjem, mjerenjem, brojanjem i sl..

U šumarstvu kao biotehničkoj disciplini važan postupak prikupljanja informacija (podataka) je mjerenje veličina koje se očituje kroz veći dio radova taksacije, odnosno izmjere šuma (Šmeko 2001). Želeći pojednostaviti, ubrzati rad, ali i poboljšati točnost i upotrebnost

izmjerenih podataka, čovjek neprestano promišlja nove metode i osmišljava nove uređaje (Howard 1991). Sukladno tomu i u šumarstvu se pojavljuju novi, moderni instrumenti koji bi trebali povećati djelotvornost, a ujedno biti jednostavni u uporabi, zadovoljavajuće precizni u izmjeri te cijenom dostupni. Nove instrumente potrebno je iskušati u radu i usporediti s postojećim kako bi mogli ustanoviti njihovu upotrebljivost u praksi.

Visina stabla od temeljne je važnosti za kvantitativan opis stabla i sastojine. Osim totalne visine koja je neophodna u praktičnom šumarstvu, zanimaju nas i druge visine stabla, npr: smjerna visina, visina do prve žive grane, visina baze krošnje, visina najšireg dijela krošnje i sl., ponajprije za uporabu u znanstvene svrhe. Iz tih razloga šumari su tijekom godina izumili značajan broj instrumenata za mjerenje visina dubočih stabala (Pranjić i Lukić 1997.).

* † Izv. prof. dr. sc. Nikola Lukić, dr. sc. Mario Božić, doc. dr. sc. Juro Čavlović, Krunoslav Teslak, dipl. ing. šum., Zavod za uređivanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

** Domagoj Novosel, apsolvant šumarstva (Ivana Zajca 40, 32280 Jarmina)

“Novi sistem uređivanja prebornih šuma” (Klepac 1961) utemeljen je na Susmel-ovim korelacijama za jelu, Colette-ovim korelacijama za bukvu te Šurićevim bonitetnim razredima. U navedenim korelacijama koristi se srednja visina dominantnih stabala, bez obzira kako je definirali, jedini je mjerljivi parametar konkretne šume koji nam predstavlja vezu konkretne šume i njene normale (Božić i Čavlović 2001). Iz navedenog vidljiva je važnost točnosti u izmjeri visina dubočih stabala.

U hrvatskom šumarstvu se pri izmjeri visina uglavnom koriste analogni visinomjeri, koji visinu i udaljenost do objekta izmjere određuju na trigonometrijskom načelu postojećeg odnosa između stranica i trigono-

metrijskih funkcija kutova pravokutnog trokuta. Najčešće su u uporabi *Blume-Leiss*, *Bitterlichov zrcalni relaskop s običnom* ili s *CP skalom*, rjeđe visinomjeri *Haga* i *Suunto*.

U novije vrijeme pojavili su se digitalni visinomjeri koji također visinu određuju na trigonometrijskom načelu, ali udaljenost mjere na temelju vremena koje je potrebno ultrazvučnom valu ili zruci svjetlosti (laserskoj zruci) za prelazak određene udaljenosti u prostoru. Digitalni visinomjeri automatski reduciraju kose udaljenosti u horizontalne te su izrazito pogodni za rad na nagutom terenu. Osim za izmjeru visina mogu poslužiti kao daljinomjeri, padomjeri, optičke promjerke za izmjeru nedohvatnih promjera (Schmid *at all* 1971) i dr.

CILJ ISTRAŽIVANJA – Aim of research

Cilj je ovog istraživanja ispitati preciznost u izmjeri udaljenosti i visina sa instrumentom *Vertex III* i usporediti ga s najčešće korištenim visinomjerima u hrvatskom šumarstvu.

S obzirom na dobivene rezultate utvrditi primjenjivost tog relativno novog instrumenta u praktičnoj primjeni.

Na temelju izmjerenih visina sa pojedinim instrumentima, konstruirati visinske krivulje (funkcijom Mihajlova) te ustanoviti odstupanja njihovih parametara (b_0 , b_1).

MATERIJAL I METODE – Material and methods

U istraživanju su korištena četiri instrumenta:

- A) *Vertex III* (V),
- B) *Blume – Leiss* (B),
- C) *Biterlichov zrcalni relaskop sa standardnom skalom* (RO),
- D) *Biterlichov zrcalni relaskop s CP skalom*, kod kojeg je za određivanje horizontalne udaljenosti korištena *horizontalna* (RCPH) odnosno *vertikalna* (RCPV) postavljena letva.

Kako je *Vertex III* relativno nov instrument koji se koristi za mjerenje u šumarstvu navodimo neke osnovne značajke, te kraći opis načina izmjere visina tim instrumentom.

Vertex III je instrument za mjerenje visina, udaljenosti, vertikalnih kutova, nagiba i trenutačne temperature. Iako ga je pri izmjeri visina moguće koristiti i bez transpondera (alternativni način određivanja udaljenosti), instrument potpunu funkcionalnost postiže u kombinaciji s njim (slika 1. lijevo), pri čemu je transponder, odnosno njegov dio koji prima i odašilje ultrazvuk pod kutem od 60° (transponder 60°) okrenut prema instrumentu.

Vertex III ima mogućnost mjerenja 6 različitih visina po objektu izmjere bez ponavljanja procedure određivanja udaljenosti (slika 1. lijevo). Instrument je s obzirom na mogućnost određivanja horizontalne udaljenosti (kombinacijom očitavanja kuta i udaljenosti), uz koriš-

tenje monopodijalnog štapa, transpondera s adapterom (transponder $60^\circ + 360^\circ$ adapter = transponder 360°) pogodan za izmjeru (udaljenosti stabla od središta plohe) na krugovima zadanog radijusa, pri čemu se transponder nalazi u središtu kruga.

Za mjerenja udaljenosti instrument koristi ultrazvučne valove. Na temelju vremena potrebnog da ultrazvučni val prijeđe udaljenost od instrumenta do transpondera i natrag, uz poznatu brzinu kretanja ultrazvučnih valova, instrument određuje udaljenost. Softver instrumenta na osnovi kuteva vizure na transponder, vizure na vrh stabla i udaljenosti do transpondera izračunava visinu stabla.

Kako brzina kretanja ultrazvučnih valova kroz zrak ovisi o temperaturi zraka, zračnoj vlazi i tlaku zraka, vrlo je važno instrument podesiti (kalibrirati) prije same uporabe, odnosno što češće ako se temperatura (koju instrument cijelo vrijeme očitava i prikazuje na zaslonu), tj. tlak zraka tijekom izmjere mijenja. Neposredno prije podešavanja instrument je potrebno temperirati, tj. 15-ak minuta ga izložiti uvjetima okoline. Podešavanje se provodi postavljanjem instrumenta u mod za podešavanje, a transpondera na udaljenost 10 m od *Vertexa*. Instrument pri tom izmjerenu udaljenost sravnji na stvarnih 10 metara.

Tehničke karakteristike *Vertexa* i transpondera dane su u tablicama 1 i 2.



Slika 1. *Vertex III* – ultrazvučni visinomjer/daljinomjer, Kompelt za izmjeru visine i određivanje udaljenosti do stabla (lijeva slika), odnosno za izmjeru (udaljenosti) na krugovima zadanog radijusa (desna slika).
 Figure 1 *Vertex III* – ultrasonic hypsometer/distance measurer. A device for measuring heights and determining distances to a tree (left), and measuring (distances) in the circles of a set diameter (right)

Tablica 1. Tehničke karakteristike visinomjera/daljinomjera *Vertex III*
 Table 1 Technical specifications of the *Vertex III* hypsometer/distance measurer

Dimenzije – <i>Size</i>	80 x 50 x 30 mm
Težina – <i>Weight</i>	160 g. (zajedno s baterijom) (<i>battery included</i>)
Baterije – <i>Battery</i>	1 x 1,5 V alkalna - Alkaline
Jakost struje – <i>Current</i>	20mA
Temperatura – <i>Temperature</i>	-15° – 45° C
Frekvencija ultrazvuka – <i>Ultrasonic frequency</i>	25 kHz
Raspon mjerenih visina – <i>Range of heights</i>	0-999 m
Rezolucija pri izmjeri visina – <i>Resolution height</i>	0,1 m
Kutevi – <i>Angles</i>	-55 – 85 grada (<i>grads</i>) / - 60° - 94°
Rezolucija kuta – <i>Resolution angle</i>	0,1
Udaljenost od transpondera prilikom mjerenja <i>Distance with aimed transponder</i>	30 m ili više u optimalnim uvjetima (<i>or more at optimal conditions</i>)
Udaljenost s 360° adapterom – <i>Distance with 360° adapter</i>	20 m ili više u optimalnim uvjetima (<i>or more at optimal conditions</i>)
Rezolucija pri izmjeri udaljenosti – <i>Resolution distance</i>	0,01 m
Preciznost udaljenosti – <i>Distance accuracy</i>	1 % ili bolje ukoliko je podešen (<i>or better if callibrated</i>)

Tablica 2. Tehničke karakteristike Transpodera T3
 Table 2 Technical specifications of the Transponder T3

Dimenzije – <i>Size</i>	Radius (<i>Diameter</i>) 70 mm
Težina – <i>Weight</i>	85 g. (zajedno s baterijom) (<i>battery included</i>)
Baterija – <i>Battery</i>	1 x 1,5 V alkaline – Alkaline
Jakost struje – <i>Current</i>	1,0 mA

Sam način izmjere visina vrlo je jednostavan. Figurant postavlja transponder na stablo na visinu koju smo prethodno unijeli u visinomjer (u našem slučaju 1,30 m). Mjeritelj vizira u transponder i drži pritisnutu tipku dok ne dobije potvrdu očitavanja kuta i udaljenosti (2–3 sekunde) i nakon toga vizira na vrh stabla ili neku drugu visinu koja je predmet izmjere i drži pritisnutu tipku dok ne dobije potvrdu očitavanja kuta (1–2 sekun-

de). Nakon toga na zaslonu instrument ispisuje izmjerenu visinu.

Istraživanje je podjeljeno u tri faze:

1. Testiranje *Vertex*-a kao daljinomjera. Prema specifikaciji proizvođača preciznost izmjere horizontalne udaljenosti *Vertex*-om iznosi 1 % ili bolje ako je podešen. Na zasebnom uzorku od 120 izmjerenih uda-

Ijenosti istražili smo koliko je stvarno odstupanje izmjerenih udaljenosti uz odabrane referentne udaljenosti od 15, 20, 25, 30, 35 i 40 metara (izmjerenom mjernom vrpcom). Ova faza istraživanja provedena je u različitim sastojinskim uvjetima (nagib, gustoća podstojnog dijela sastojine).

2. Testiranje instrumenata kao visinomjera (izmjerkom poznatih visina sa poznatih udaljenosti). Provedeno je na sedam označenih i izmjerenih visina na zgradi Šumarskog fakulteta. Mjerene su se visine nalazile u rasponu 3,4–14,3 m, a izmjera je ovisno o instrumentu (postojećim skalama) provedena s 15, 20, 25, 30, 35 i 40 metara.
3. Izmjera visina u sastojinskim uvjetima, uz kontrolu udaljenosti s koje se izmjera provodila.

Izmjera je u sastojinskim uvjetima provedena u odjelu/odsjeku 3b gospodarske jedinice “Sljeme”, koja se nalazi u sastavu Nastavno-pokusnog šumskog objekta (NPŠO) Zagreb. Gospodarska jedinica “Sljeme” nalazi se na sjevernoj padini Medvednice odnosno sjeverno od glavne vododijelnice Puntjarka – Rauhova lugarnica – Stol u sklopu parka prirode “Medvednica”. Odjel/odsjek 3b proteže se na nadmorskoj visini 750–870 m, nalazi se na sjevernoj ekspoziciji, teren je manje-više strm, izbrazdan jarcima. Istraživanja su provedena na običnoj jeli kao vrsti kod koje je izražen vrh stabla.

Na unaprijed određenim pravcima kretanja (projek-tiranim na karti), vodeći računa o obuhvatu različitih stanišnih prilika (nagib terena, kretanje u slojnici, niz i

uz padinu, gustoću sastojine, pojavnost grmlja) uzet je nasumični uzorak stabala jele vodeći računa o ravno-mjernoj zastupljenosti stabala u pojedinim debljinskim stupnjevima. Uzorak se sastojao od 80 stabala. Izmjera je provedena tako da je najprije izmjerena visina stabala s jednim, nakon toga drugim instrumentom, itd. Izmjeru su provodila dva radnika (mjeritelj i figurant). Izmjera je koncipirana tako da figurant postavlja i drži letvu ili transponder (ovisno o tome s kojim se instrumentom mjeri) i podatke izmjere upisuje u terenski manual. Mjeritelj je mjerio visine stabala s navedenim visinomjerima.

Izmjeru su radi izbjegavanja pristranosti mjeritelja uslijed većeg iskustva pojedinim instrumentom, provedli mjeritelji (apsolventi Šumarskog fakulteta) koji su sa svakim instrumenatom imali podjednako iskustva u izmjeri. Prije same izmjere mjeritelji su na nezavisnom uzorku dodatno uvježbali rad sa svakim instrumentom.

Na temelju iskustva najveći problem prilikom izmjere visina pojedinim instrumentima (*Relaskop obični* i s *CP skalom*) predstavlja precizno određivanje udaljenosti na kojoj se mjeritelj nalazi, posebno kada se radi bez stativa (Bitterlich 1984). Kontrola horizontalne udaljenosti određene pojedinim instrumentom na temelju rezultata predhodno provedene 1. faze istraživanja, a radi uštede vremena provedena je *Vertex*-om.

Izmjerene podatke unijeli smo u računalo u kreiranu bazu podataka programskog alata “*Microsoft Excel 2000*”, a kasnije obradili programskim alatom “*Statistica 6.0*”.

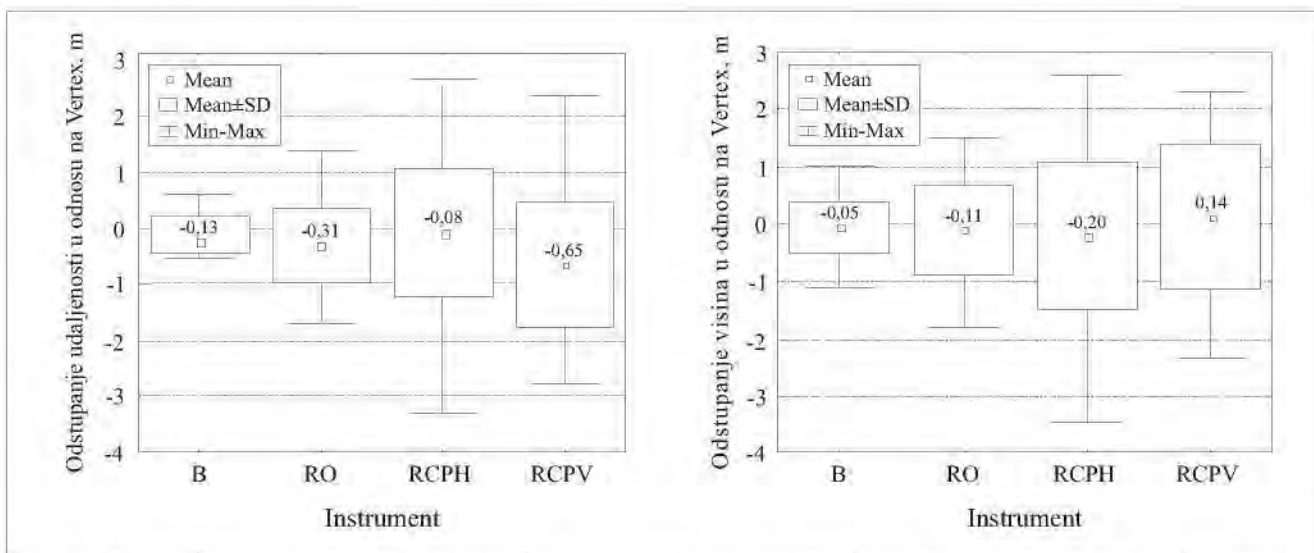
REZULTATI S RASPRAVOM – Results and discusion

Testitanjem *Vertex*-a kao daljinomjera dobivene su razlike udaljenosti u odnosu na mjernu vrpce u rasponu od -0,08 do 0,11 m, odnosno -0,33 do 0,73 %, sa srednjom vrijednošću Mean = 0,0033 m, standardnom devijacijom SD = 0,0428 m, te standardnom pogreškom aritmetičke sredine SE = 0,0039 m, dobivene vrijednosti nisu statistički značajne. Ovi rezultati potvrđuju deklaraciju proizvođača, koji preciznost izmjere udaljenosti definira s 1 % i manje, ako je instrument podešen. Ako uzmemo u obzir da je oko 78 % rezultata unutar raspona $\pm 0,05$ m, te teškoće kod izmjere udaljenosti mjernom vrpcom (nagnut teren, prolaz kroz grmlje, napetost vrpce i sl.), *Vertex* možemo smatrati pogodnim za određivanje horizontalne udaljenosti pri terenskim izmjerama u šumarstvu, a što se posebno odnosi na izmjeru visina. Prednost izmjera udaljenosti *Vertex*-om njegova je brzina, a probleme su ponekad pričinjavale izmjere horizontalnih udaljenosti dužih od 30 metara, posebno uz veći nagib, pri čemu je postupak izmjere trebalo nekoliko puta ponoviti da bi dobili očitavanje na zaslonu. Na udaljenostima iznad 35 m, na

nagnutom terenu *Vertex*-om nismo uspjeli izmjeriti pojedine udaljenosti.

Testiranje instrumenata izmjerom poznatih visina s točno izmjerenih udaljenosti pokazalo je da se visine izmjerene pomoću bilo kojeg instrumenta ne razlikuju statistički značajno od stvarne visine. Dobivene se razlike nalaze u rasponu ± 10 cm za *Vertex*, -10 do 50 cm za *Blume – Leiss*, ± 40 cm za *Bitterlichov zrcalni relaskop*, što je u biti u vezi s mogućnošću točnog očitavanja (procjene) visine na skalama instrumenta.

Mjerenje visina stabala. S obzirom da smo potvrdili da *Vertex* vrlo precizno mjeri horizontalnu udaljenost do stabla, kontrolu udaljenosti izmjerene ostalim korištenim instrumentima prilikom izmjere visina stabala u sastojini provodili smo sa *Vertex*-om. Time smo značajno olakšali i ubrzali rad na terenu jer *Vertex*-om jednostavnije i brže možemo izmjeriti horizontalnu udaljenost, u odnosu na razvlačenje mjerne vrpce, osobito na nagnutom terenu. Na slici 2. prikazano je odstupanje udaljenosti i visina određenih pojedinim instrumentima prema kontrolnoj izmjeri *Vertex*-om.



Slika 2. Prikaz odstupanja izmjerenih udaljenosti do stabla (lijevo) odnosno visina izmjerenih pojedinim instrumenatima (desno) u odnosu na *Vertex* (B – *Blume-Leiss*; RO – *Bitterlichov zrcalni relaskop sa standardnim skalom*; *Bitterlichov zrcalni relaskop s CP skalom*, kod kojeg je za određivanje horizontalne udaljenosti korištena *horizontalna* (RCPH) odnosno *vertikalno* (RCPV) postavljena letva.

Figure 2 Divergence of measured distances to trees (left) and heights measured with different instruments (right) in relation to the *Vertex* (B – *Blume-Leiss*; RO – *Bitterlich's Spiegelrelaskop with standard scale*; *Bitterlich's Spiegelrelaskop with CP scale*, where the horizontally (RCPH) or vertically (RCPV) positioned scale was used to measure horizontal distance.

Tablica 3. Opisna statistika odstupanja izmjerenih horizontalnih udaljenosti do stabla i visina stabala, za pojedine instrumente, od referentnih vrijednosti izmjerenih *Vertex*-om

Table 3 Descriptive divergence statistics of measured horizontal distances to trees and tree height, for each instrument, in comparison with the referent values measured with the *Vertex*

Instrument	Blume – Leiss	Bitterlichov relaskop – standardni <i>Bitterlich's relaskop – standard</i>	Bitterlichov relaskop – CP horizontalna letva <i>Bitterlich' relaskop – CP horizontal scale</i>	Bitterlichov relaskop – CP vertikalna letva <i>Bitterlich's relaskop – CP vertical scale</i>
Odstupanja izmjerenih horizontalnih udaljenosti – <i>Divergence of measured horizontal distances (m) n = 80</i>				
<i>Mean</i>	-0,13	-0,31	-0,08	-0,65
<i>SD</i>	0,318	0,646	1,137	1,130
<i>SE_T</i>	0,055	0,102	0,180	0,174
<i>Range</i>	-0,55 – 0,61	-1,70 – 1,38	-3,29 – 2,52	-2,77 – 2,32
Odstupanja izmjerenih visina stabala – <i>Divergence of measured height trees (m) n = 80</i>				
<i>Mean</i>	-0,05	-0,11	-0,20	0,14
<i>SD</i>	0,447	0,791	1,275	1,271
<i>SE₂</i>	0,050	0,125	0,202	0,245
<i>Range</i>	-1,10 – 1,00	-1,80 – 1,50	-3,47 – 2,60	-2,34 – 2,30
$SE_T = \sqrt{SE_1^2 + SE_2^2}$				
<i>SE_T</i>	0,012	0,161	0,271	0,301

Legenda: Mean – aritmetička sredina – *arithmetic mean*, SD – standardna devijacija – *standard deviation*, SE – standardna pogreška aritmetičke sredine – *standard error of arithmetic mean*, Range – opseg izmjerenih odstupanja – *range volume of measured divergences*, SE_T – ukupna pogreška – *total error*

Iz slike 2. (lijevi graf) vidljivo je da je najmanja varijabilnost odstupanja udaljenosti prema udaljenostima izmjerenim *Vertex*-om, kod visinomjera *Blume – Leiss*, koji za određivanje udaljenosti koristi islandski dvolo-

mac. Raspon odstupanja kod *relaskopa* znatno je veći od odstupanja *Blume – Leissa*, što je posebno izraženo kod *relaskopa s CP skalom* (oba položaja letve). Razloge tomu treba tražiti u samom načinu izmjere. Naj-

važniji uvjet ispravnog određivanja udaljenosti je mirnoća mjeritelja pri izmjeri kao i točnost očitavanja unutar skale podjele. Npr. kada letva stoji vertikalno da bi odredili horizontalnu udaljenost, potrebno je dva puta smirivati valjak i vizirati na letvu te očitati postotke (točnost očitavanja unutar skale podjele od 1 %). I mala odstupanja ovdje uzrokuju značajnu pogrešku u određivanju udaljenosti. Povećanje postotka udaljenosti s 7 na 7,5 %, znači za samo 0,5 % (vizurom na letvu 2 m dužine), dobivamo razliku horizontalne udaljenosti od 1,9 metara. Uporabom stativa ovi rasponi bi se zasigurno smanjili, ali bi za posljedicu imali duže vrijeme potrebno za izmjeru pojedinih stabala.

Uspoređujući lijevi i desni graf slike 2 možemo primijetiti da raspon razlike izmjerenih visina ima za po-

jedine instrumente sličan tijek kao i kod izmjere udaljenosti. Ako uzmemo u obzir da smo izmjerom poznatih visina kod svih instrumenata dobili podjednake rezultate ovo je sasvim logično, jer je time dokazano da je razlika pri izmjeri visina gotovo isključivo posljedica kvalitete određivanja udaljenosti.

Do ovakvih zaključaka također dolazimo kada uspoređujemo procijenjene vrijednosti preciznosti odstupanja izmjerenih horizontalnih udaljenosti, odstupanja izmjerenih visina te preciznosti ukupne pogreške (SE_T) prikazanih, u tablici 3. Manja standardna pogreška (SE) nam govori o većoj preciznosti.

Izjednačenjem izmjerenih visina (funkcijom Mihajlova) dobivene su sastojinske visinske krivulje, čiji se parametri te koeficijent determinacije nalaze u tablici 4.

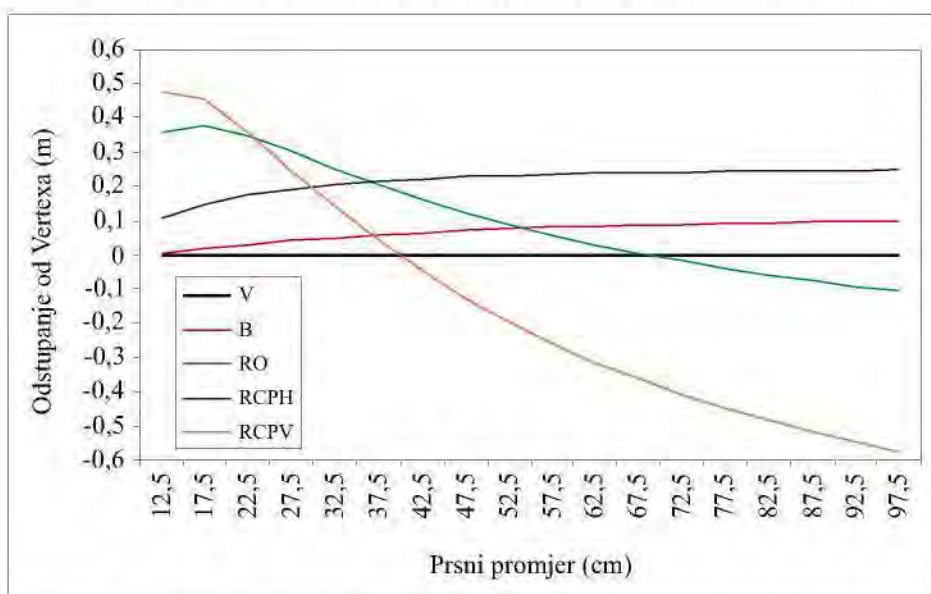
Tablica 4. Parametri izjednačenja te koeficijenti determinacije za visinske krivulje izjednačene funkcijom Mihajlova za istraživane instrumente.

Table 4 Equalization parameters and coefficients of height curve determination equalized with Mihajlo's function for the investigated instruments

Instrument	$H = b_0 * EXP(-b_1/d) + 1,30$		
	b_0	b_1	R^2 (%)
Vertex (V)	44,51	21,74	83,61
Blume – Leiss (B)	44,65	21,77	83,11
Relaskop s običnom skalom – Relascope with standard scale (RO)	44,07	21,06	79,86
Relaskop s CP skalom – horizontalna letva – Relascope with CP scale – horizontal scale (RCPH)	44,78	21,64	75,56
Relaskop s CP skalom – vertikalna letva – Relascope with CP scale – vertical scale (RCPV)	43,31	20,65	78,59

S obzirom da se visinske krivulje gotovo preklapaju, što je vidljivo po vrijednostima regresijskih parametara, osobito ako uspoređujemo regresijske koefici-

jente, na slici 3. prikazana su odstupanja visina pojedinih visinskih krivulja u odnosu na referentnu visinsku krivulju (Vertex).



Slika 3. Odstupanja visinskih krivulja istraživanih instrumenata u odnosu na referentnu visinsku krivulju (Vertex).

Figure 3 Divergence of height curves in the investigated instruments in relation to the referent height curve (Vertex).

Ovakav je prikaz načinjen da bi odstupanja koja se na klasično prikazanim visinskim krivuljama niti ne vide, bila vidljiva. Odstupanja krivulje kod koje su stabla mjerena *Blume – Leiss*-om u odnosu na krivulju kod koje su stabla mjerena *Vertex*-om gotovo i nema, što je s obzirom na mala odstupanja između visina pojedinačnih stabala izmjerenih pomoću ova dva instrumenta (vidi sliku 3) očekivano. Ono što ovdje svakako valja zamijetiti da se odstupanja drugih visinskih krivulja u odnosu na *Vertex*, koja ovisno o debljinskom stupnju iznose maksimalno $\pm 0,5$ m, što je puno manji raspon od raspona dobivenog izmjerom pojedinačnih stabala (vidi sliku 3). S obzirom da se radi o istom uzorku izmjerenih stabala, kao mjera kakvoće izmjere pojedinim instrumentom može nam poslužiti i koeficijent determinacije (R^2 – vidi tablicu 4). Ti su podaci u potpunosti usporedivi sa podacima na slici 3. Veće odstupanje izmjerene visine od stvarne (*Vertex*) ima za posljednicu manji koeficijent determinacije, i obratno.

Poznato je da se prilikom izmjere visina do sada korištenim instrumentima gledalo da se mjeritelj nalazi “u

slojnicu” sa stablom koje mjeri, ili je u protivnom naknadno vršio redukciju izmjerenih vrijednosti. Prednost *Vertex*-a ogleda se u činjenici da *Vertex* tu korekciju radi sam, pa je na nagnutom terenu čak poželjno stati uz nagib, radi lakšeg uočavanja vrha stabla, što se posebno odnosi na vrste drveća koje nemaju jasno izražen vrh stabla. Prednost *Vertex*-a posebice dolazi do izražaja pri znanstveno-istraživačkom radu kada rasponi odstupanja visina u odnosu na stvarnu visinu, kao što su dobiveni ponajprije *zrcalnim relaskopima* nisu prihvatljivi.

Pri izmjeri visina *Vertex*-om potrebno je vidjeti samo vrh stabla, jer kao što je ranije dokazano ispravno određuje udaljenosti i kroz sloj grmlja. To olakšava samu izmjeru, a zasigurno i skraćuje postupak izmjere visina.

Vertex je po cijeni u rangu *zrcalnih relaskopa*, a 2–3 puta je skuplji u odnosu na *Blume – Leiss* (ovisno koji kompleti se razmatraju). S obzirom da je *Vertex* i daljinomjer kojim se možemo koristiti pri kontroli udaljenosti graničnih stabala, nije teško zaključiti koji je instrument povoljniji.

ZAKLJUČCI – Conclusions

Vertex je radi malih odstupanja (78 % odstupanja u rasponu ± 5 cm) u odnosu na izmjerenu stvarnu udaljenost moguće koristiti kao daljinomjer pri radovima u šumarstvu.

Nakon provedenog testiranja možemo potvrditi da nam sva četiri instrumenta zadovoljavajuće mjere visinu u idealnim uvjetima, odnosno sa poznate, izmjerene horizontalne udaljenosti.

Visine pojedinih stabala bitno su se razlikovale korištenjem pojedinih instrumenata, pri čemu je razlika u visinama najvećim dijelom rezultat razlike u određivanju horizontalne udaljenosti pojedinim instrumentima. Najveće su razlike pri izmjeri visina u odnosu na *Vertex* koji je radi svoje preciznosti pri određivanju horizontalne udaljenosti korišten kao kontrolni instrument, dobivene kod *zrcalnog relaskopa s CP skalom*.

Konstruirane visinske krivulje za svaki pojedini instrument ukazuju na poništavanje pozitivnih i negativnih pogrešaka dobivenih izmjerama visina pojedinačnih stabala jer se visinske krivulje gotovo preklapaju.

Vertex je jednostavan za rukovanje, ima dobar vizir (svjetleći križ), a pri određivanju udaljenosti ne smeta mu ni razvijen sloj grmlja. Činjenicu da kod izmjere u kojoj se mjeritelj ne nalazi u slojnicu sam radi korekciju udaljenosti, moguće je iskoristiti tako da se mjeritelj pri izmjeri postavi uz nagib (bez naknadnih korekcija izmjere), i tako bolje vidi vrh stabla. Na temelju dobivenih rezultata možemo potvrditi da je visinomjer *Vertex III* vrlo kvalitetan i precizan instrument, te ga preporučiti za uporabu u šumarskoj praksi, a posebno pri izmjerama pri znanstveno-istraživačkom radu, kada njegove navedene prednosti posebice dolaze do izražaja.

LITERATURA – References

- Bitterlich, W., 1984: *The Relascope Idea, Relative Measurements in Forestry*. CAB Oxford, 242 s.
- Božić, M. & J. Čavlović, 2001: Odnos dominantne visine, dimenzije sječive zrelosti i normalne drvne zalihe u prebornim sastojinama. Šum. list br. 1–2: 9–18, Zagreb.
- Howard, J.A., 1991: *Remote Sensing of Forest Resources: Theory and Application*. Chapman & Hall, London.
- Klepac, D., 1961: Novi sistem uređivanja prebornih šuma. Poljoprivredno šumarska komora SR Hrvatske, 46 str., Zagreb.
- Pranjić, A., 1986: Šumarska biometrika, 203 str. Zagreb.
- Pranjić, A. & N. Lukić, 1997: *Izmjera šuma*, 405 str., Zagreb.
- Schmid, P., P. Roiko-Jokela, P. Mingard, M. Zobeiry, 1971: The optimal determination of the volume of standing trees. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Österreichs, No.91:33–45.
- Šmelko, Š., 2001: Problém reprezentativnosti trvalých a jeho monitorovacích plôch v monitorovacom systéme SR 16*16 km praktické dôsledky. Lesnícky časopis, 47 (1): 129–145.

SUMMARY: The article discusses advantages and disadvantages of ultrasonic hypsometers compared to the hypsometers used so far. Due to minimal divergence (78 % divergence of ± 5 cm) in measuring horizontal distances in relation to the measured real distance, the Vertex hypsometer can be used as a distance measurer in forestry operations. The heights of some trees differed considerably when measured with different instruments. Differences in height were predominantly the result of differences in determining horizontal distances with a given instrument. The largest differences or total errors (SEr) in height measurements in relation to the Vertex, which was used as a control instrument due to its accuracy in determining horizontal distances and heights, were found in Blume-Leiss - 0.012 m, Bitterlich's spiegel relascope with standard scale - 0.161, Bitterlich's spiegel relascope with CP scale - horizontal scale - 0.271 and Bitterlich's spiegel relascope with CP scale - vertical scale - 0.301 m.

Key words: ultrasonic hypsometer, determining horizontal distances, determining tree height, accuracy