

GDK: 522--017.1

## MOŽNOSTI RACIONALIZACIJE IN POVEČANJA KAKOVOSTI IZMERE VIŠINE DREVES Z UPORABO LASERSKEGA MERILCA DOLŽIN

Vladimir PUHEK\*

### Izvleček

Članek obravnava merjenje višine dreves in prve izkušnje izmere z laserskim merilcem dolžin v kombinaciji s padomerom. Uporabnost tega načina merjenja višine ocenjuje avtor ob primerjavi z višinomerom Suunto na osnovi rezultatov statistične analize meritev. Težišče je na analizi porabe časa za izmero višine enega drevesa pri enem in drugem načinu izmere. Na kratko so prikazane še prednosti in pomanjkljivosti laserskega merilca v primerjavi z dosedanjimi pripomočki za izmero linearnih dolžin, kamor spada tudi merjenje višine. Na koncu obravnava avtor možnosti uporabe laserja pri drugih meritvah v gozdu in opozarja na nekatere potrebne izpopolnitve merilca, ki bi njegovo uporabnost še izboljšale.

*Ključne besede: laserski merilec dolžin, višina drevesa, merjenje*

## POSSIBILITIES OF RATIONALISATION AND BETTER QUALITY OF TREE HEIGHT MENSURATION USING LASER FOR MEASURING LENGTH

### Abstract

The paper discusses mensuration of the heights of trees and experience gained so far in using laser for measuring length in combination with a clinometer. The applicability of this method is evaluated in comparison to a Suunto altimeter using results of a statistical analysis of measurements. The paper mainly deals with the analysis of time required for measuring the height of a tree using the two methods. Advantages and drawbacks of laser are also outlined in comparison to the application of devices so far used for measuring linear lengths, including the measurement of height. In conclusion, the author presents possibilities of the application of laser for other kinds of measurement in the forest and stresses the need for some improvements, which would even extend its applicability.

*Key words: laser for measuring lengths, tree, height mensuration*

## 1 UVOD

Eden od pomembnejših dendrometrijskih znakov je višina drevesa, zato je bila izmera višine že zelo zgodaj predmet obravnave v gozdarski znanosti in v praksi. Poznavanje višine, zlasti višine kot parametra sestoja, ni pomembno samo na področju dendrometrije, ampak tudi v različnih drugih gozdarskih disciplinah. Tudi večina doslej izdelanih najrazličnejših volumenskih in sestojnih tablic ima za osnovo prav ta parameter.

## 2 MERJENJE VIŠINE DREVES

Višina drevesa je linearna velikost in merjenje višine spada med linearne meritve (Husch, Miller, Beers 1972). Gre za izmero dolžine vertikalne daljice, vendar za poseben primer izmere, ko eno krajišče fizično ni dosegljivo. Zato je treba uporabljati metode posredne izmere in tem metodam ustrezne pripomočke. Prav dejstvo, da vrh drevesa neposredno ni dosegljiv, daje izmeri višine svojstven pečat.

Pri merjenju linearnih velikosti uporabljamo različne pripomočke in instrumente, kot so merilni trakovi in optične priprave. V novejšem času so se pojavili novi pripomočki, ki temeljijo ali na hitrosti zvoka ali na hitrosti svetlobe. Govorimo o ultrazvočnih in svetlobnih merilnih napravah.

### 2.1 Kratko o načelih merjenja višine

Razvoj na področju merjenja višine dreves je šel preko prvotnih naprav za merjenje na osnovi podobnosti trikotnikov in uporabe nekakšnega receptorja - letve dolžine 4 ali 5 m pa vse do današnjih višinomerov na trigonometrijski osnovi. Trigonometrijski način izmere in optično odmerjanje vnaprej določene razdalje od drevesa do merilca je v rabi že dalj časa in je skoraj edini način izmere. To bi lahko pomenilo, da je dober in da so se ga gozdarji navadili.

V literaturi s tega področja so se sicer občasno pojavljale nekatere modifikacije trigonometrijskega načina, vendar niso pomenile bistvenega izboljšanja, zato se v praksi niso uveljavile.

Tudi v našem gozdarstvu že vsaj pol stoletja "vlada" trigonometrijski način merjenja višin. Zaradi pomanjkanja dobrih višinomerov in pojava slabih

ponaredkov izvirnega Blume-Leissovega višinomera je bila v preteklosti kakovost izmere velikokrat slaba in dobljeni podatki nezanesljivi. Šele z višinomerom Suunto, ki ima natančno optiko za odmerjanje razdalje in drugačen način merjenja, smo dobili zares dober in zanesljiv instrument. Pri tem višinomeru odčitavamo višino kontinuirano (sledilno). Tu ni nikakršnega sprožanja in aretiranja kazalca (ker ga sploh nima), kar je bilo značilno za višinomere tipa Blume-Leiss, Haga in še nekatere druge.

Trigonometrijski način izmere temelji na izmeri vertikalnih kotov  $\alpha$  (kot med horizontalo in vznožjem drevesa) in  $\beta$  (kot med horizontalo in vrhom drevesa) pri vnaprej izbrani oddaljenosti  $L$ , to je horizontalni oddaljenosti merilca od drevesa. Višino drevesa dobimo potem po enačbi  $H=L*(\operatorname{tg}\alpha+\operatorname{tg}\beta)$ . Zanimivo pri tem je, da je višina drevesa definirana kot navpična razdalja od vznožja do vrha drevesa in ne kot dejanska dolžina drevesa. Ker pa je razlika med obema le pri poševno rastočih drevesih in ker je običajno majhna, se gozdarji raje odločamo za ugotavljanje višine. Morda je vzrok tudi v tem, da je ugotavljanje dolžine težje od ugotavljanja višine.

## 2.2 Težave pri merjenju višine

Zaradi nekaterih posebnosti v gozdu je uporaba višinomerov, ki zahtevajo odmerjanje vnaprej izbrane oddaljenosti merilca od drevesa, otežena ali celo nemogoča. Izjema pri tem ni niti višinomer Suunto, saj je tudi pri njem način odmerjanja enak kot pri drugih višinomerih. Največja in najpogostejša ovira pri odmerjanju razdalje je slaba vidnost merilne letvice zaradi podrasti. Poleg tega nam včasih povzroča težave tudi samo obešanje letvice na deblo. Tudi pogosto napačno odmerjena razdalja zaradi napake v optiki ter napaka zaradi skakanja kazalca pri sprožanju ali pri aretiranju so vzroki za pojav napak pri izmeri. Vse to nas sili k iskanju in preizkušanju novih pripomočkov in novih načinov izmere. Sem spada tudi obravnavani primer uporabe laserja v kombinaciji s padomerom. Z njim naj bi bili rešeni predvsem problemi v zvezi z ugotavljanjem razdalje med merilcem in drevesom.

### 3 UPORABA LASERJA PRI MERJENJU VIŠINE DREVES

Uporaba laserja pri izmeri višine dreves še ne pomeni izmere višine z laserjem, kajti laser je tu samo instrument za izmero razdalje med drevesom in merilcem. Za izmero višine je treba imeti še padomer, s katerim izmerimo vertikalna kota  $\alpha$  in  $\beta$ . Gre za trigonometrijsko načelo izmere in za višino velja splošno znana enačba  $H=L*(\text{tg}\alpha+\text{tg}\beta)$  oziroma  $H=L*(\alpha\%+\beta\%)/100$ , če smo vertikalna kota odčitani v %. Ker pa je razdalja  $L$  poljubna (izberemo jo tako, da sta dobro vidna vrh in vznožje drevesa), je treba višino v enem ali drugem primeru še izračunati.

Podoben način izmere, ki tudi zahteva izračun višine, je znan iz literature kot sistem JOHANN (Kramer, Akca, 1982). Tudi nekoliko drugačen sistem KRAMER (Kramer, Akca, 1982) oziroma CURTIS-BRUCE (Husch, Miller, Beers, 1972), zahteva izračun višine (na osnovi dolžine letve, prislone na deblo in izmerjenih vertikalnih kotov na vrh drevesa, vrh letve in vznožje drevesa ter hkrati vznožje letve).

Pri merjenju višine dreves s klasičnimi višinomeri je vnaprej izbrana in optično odmerjena razdalja, tudi v primeru da je optična naprava brez napake, prevelika za vrednost polmera drevesa. Zaradi tega je dobljena višina podcenjena, kar pa v praksi običajno zanemarjamo. Pri merjenju razdalje od merilca do drevesa z laserjem lahko to napako odpravimo. Razdalji  $L$  dodamo polmer debela ( $L_{\text{kor}}=L+d_{1,3}/200$ ), če je horizontalni snop laserskega žarka zadel deblo na tej višini. Če pa je laserski žarek zadel deblo višje, je treba odčitani razdalji dodati polmer debela, zmanjšan za vrednost padca premera do višine žarka ali  $L_{\text{kor}}=L+d_{1,3}/200-(L*\text{tg}\alpha-1.3)*0.01$ , če vzamemo padec premera 1 cm na 1 m. Običajno pa tako natančne razdalje ne potrebujemo. Zadostuje, da zmanjšanje polmera do višine laserskega žarka samo ocenimo.

#### 3.1 Praktični preizkus uporabnosti laserja pri izmeri višine dreves

Laserski merilec smo pri merjenju višine dreves prvič uporabili lani na Pokljuki. Izkazalo se je, da je ta način izmere hiter in enostaven. Ker pa pri tem nismo izvedli še primerjalne izmere na klasični način in nismo ugotavljali porabe časa (šlo je za povsem operativno izmero zaradi ugotavljanja lesne zaloge), nismo mogli izvesti statistične analize. Da bi lahko objektivno iz vrednotili praktično uporabnost laserja pri merjenju višine dreves, smo zato letos opravili v gozdu

Meja pri Kranju še primerjalno izmero in ugotavljali porabo časa za izmero višine posameznih dreves.

### 3.2 Metoda dela

V pretežno smrekovih sestojih na ravnini smo izbrali tri kvadratne ploskve velikosti 30 m. Na teh ploskvah smo izmerili višino vseh dreves (40, 48 in 68) z višinomerom Suunto ter s padomerom v kombinaciji z laserskim merilcem razdalje na drugi strani. Izmero sta opravila dva merilca.

Prvo ploskev smo imeli za poskusni poligon. Tu je šlo bolj za poskusno merjenje in ugotavljanje stopnje skladnosti med obema merilcema glede porabe časa za izmero pri enem in drugem načinu. Na preostalih dveh ploskvah pa je šlo zares in tu sta merilca opravila izmero vsak na svoji ploskvi. Glede na to, da sta bila merilca glede natančnosti merjenja višin z višinomerom Suunto in s padomerom dobro usklajena že iz podobne prejšnje izmere (Puhek, 1996), je bila tu glavna pozornost posvečena porabi časa za izmero.

V porabljeni čas za izmero višine enega drevesa so bila zajeta vsa potrebna opravila za izmero. Pri izmeri z višinomerom Suunto je bilo to: prihod k drevesu, obešanje merilne letvice, izmera premera, odmerjanje razdalje (20 m, le v posameznih primerih 30 m), viziranje in odčitavanje višine in zapisovanje v snemalni list. Pri izmeri s padomerom in laserjem pa je bilo v skupni porabljeni čas zajeto: ugotavljanje razdalje  $L$  z laserjem, izmera vertikalnih kotov  $\alpha$  in  $\beta$ , izmera premera drevesa in zapisovanje v snemalni list. Pri obeh načinih izmere smo čas od končanega zapisa naprej šteli k izmeri višine naslednjega drevesa.

### 3.3 Rezultati preizkusa

Preskušnjo značilnosti razlik med srednjima vrednostima - povprečnim trajanjem izmere višine enega drevesa, smo izvedli s  $t$ -preskušnjo po metodi parov in po metodi neodvisnih vzorcev. Za uporabo obeh metod smo se odločili iz dveh razlogov. Prvič, zanimalo nas je, če bosta oba preizkusa skladna glede značilnosti oziroma neznačilnosti razlike. Drugič, čeravno je bil obravnavani način izmere na prvi pogled tipičen primer za metodo parov (dva različna postopka na istem drevesu), že z malo premisleka lahko ugotovimo, da uporaba metode parov tu ni povsem na mestu. Namreč, že samo iskanje stojišča za

izmero je bilo pri eni metodi drugačno kot pri drugi; pri merjenju z višinomerom Suunto je bila oddaljenost merilca od drevesa konstantna, medtem ko se je pri merjenju z laserjem spreminjala od drevesa do drevesa. Metoda parov bi bila korektna le v primeru, če bi pri obeh metodah uporabili za izmero isto stojišče. V opisanem primeru pa tega nismo storili, ker smo izmerili vse višine najprej po eni in šele nato še po drugi metodi.

Preglednica 1 Preskušnja značilnosti razlik med povprečnim trajanjem izmere višine enega drevesa ( t-test po metodi parov)

Ploskev	Število dreves	Način izmere	Trajanje [min]	Stand. nap. SE	t-vred	Stopinje prost.	P-vrednost
A	48	LASER	1.7367	0.084			
		SUUNTO	2.0958	0.063			
Razlika sredin			-0.3592	0.097	-3.69	47	0.001
B	68	LASER	2.0674	0.091			
		SUUNTO	2.0515	0.037			
Razlika sredin			0.0159	0.095	0.17	67	0.867

Razlika v povprečnem trajanju izmere višine drevesa z laserjem in padomerom na eni ter višinomerom Suunto na drugi strani je na ploskvi A statistično značilna, medtem ko je na ploskvi B neznačilna. Vzrok za takšen izid je v različnem načinu merjenja razdalje L z laserjem.

Zaradi močne sončne svetlobe je bil laserski žarek na deblu slabo viden, kar je izmero močno oviralo. Merilec na ploskvi A je spremenil način merjenja tako, da je meril na drevo z laserjem, prislonjenim na oko, medtem ko je merilec na ploskvi B vztrajal pri običajnem načinu, to je pri merjenju z laserjem ob telesu.

Preglednica 2 Preskušnja značilnosti razlik med povprečnim trajanjem izmere višine drevesa z laserjem/padomerom in Suunto višinomerom (t-test po metodi neodvisnih vzorcev)

Ploskev	Število dreves	Način izmere	Trajanje [min]	Stand. nap. SE	t-vred	Stopinje prost.	P-vrednost
A	48	LASER	1.7367	0.084	-3.44	94	0.001
		SUUNTO	2.0958	0.063			
B	68	LASER	2.0674	0.091	0.16	134	0.872
		SUUNTO	2.0515	0.037			

Če primerjamo rezultate iz preglednice 2 z rezultati iz preglednice 1, lahko ugotovimo, da sta oba t-preizkusa med seboj skladna.

Še beseda o ugotovljeni razliki med obema načinoma izmere na ploskvi A. Na osnovi prvih izkušenj z laserjem smo pred pričetkom preizkušnje pričakovali, da bo razlika med laserjem in višinomerom Suunto glede povprečne porabe časa za izmero višine drevesa večja, kot smo jo kasneje ugotovili. Vzroka, da razlika ni bila bolj očitna, sta vsaj dva. Prvi je ta, da je bilo ugotavljanje razdalje z laserjem zaradi močne sončne svetlobe težavno in zamudno. Drugi pa je ta, da so bili pogoji za optično odmerjanje razdalje z višinomerom Suunto idealni, kajti na ploskvah ni bilo nikakršne podrasti, ki sicer ta način izmere lahko močno ovira.

Na osnovi rezultatov preizkusa na ploskvi A je mogoče pričakovati, da bi bila izmera višin s pomočjo laserja tudi v neugodnih pogojih za laser hitrejša od klasičnega načina izmere za najmanj 20 %, če ne upoštevamo porabe časa za izračun višine, ki jo lahko opravimo doma. In kaj pomeni teh 20 % prihranka časa v resnici? To praktično pomeni, da lahko v enakem času izmerimo 60 višin namesto 50, 120 namesto 100, itd. Povečano število meritev pa pomeni večjo zanesljivost in večjo kakovost ocenjevanja. Seveda pri pogoju, da pri izmeri ni prisotna sistematična napaka.

Oglejmo si še, kako zamudno je lahko merjenje razdalj z laserjem v razmerah slabe vidnosti laserskega žarka. Na ploskvi 1, ki je bila poizkusni poligon in je zato v preglednicah 1 in 2 ni, je eden od merilcev izmeril prvih 23 razdalj z laserjem na običajni način (iz rok ob telesu), ostalih 17 pa od očesa. V preglednici 3 so podani rezultati primerjave teh dveh načinov merjenja glede povprečnega trajanja izmere višine drevesa.

Preglednica 3 Preskušnja značilnosti razlik v povprečni porabi časa za izmero višine z laserjem na dva različna načina merjenja (t-preskušnja po metodi neodvisnih vzorcev)

Način merjenja	Število meritev	Trajanje [min]	Stand. napaka SE	t-vrednost	Stopinje prost.	P-vrednost
IZ ROK	23	3.1457	0.262	3.98	38	0.000
OD OČESA	17	1.9629	0.141			

zaradi česar je ni mogoče povsem nevtralizirati. Če k temu dodamo še občutljivost na zvok in zračni tlak ter na časovne spremembe velikosti napake (velikost napake se lahko spreminja med delom), lahko samo ugotovimo, da je uporabnost ultrazvočnih merilcev omejena.

Merilec razdalj na osnovi hitrosti svetlobe - LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je po prvih izkušnjah veliko boljši od ultrazvočnega. Poleg zelo velike natančnosti je tudi zanesljiv, saj ni občutljiv ne na vremenske razmere in ne na ropot. Edini pogoj za zanesljivo izmero je, da ima laserski žarek čim bolj prosto pot do tarče ali cilja. Sicer pa tudi morebitne manjše ovire (listje, vejice) izmere ne preprečijo.

Ob uporabi laserskega merilca dolžin skupaj z nekaterimi drugimi merilnimi pripomočki se nam pogosto poraja želja, da bi bili vsi ti pripomočki vgrajeni v laser. To sta na primer busola in padomer, zelo koristna pa bi bila tudi kotna prizma in še kaj. S tem bi dobili novo, zelo uporabno pripravo za najrazličnejše meritve. Če bi imeli poleg tega še manjši računalnik žepnega tipa, bi lahko upravičeno govorili o univerzalnem gozdarskem instrumentu.

## 5 SUMMARY

Tree height, one of the most important parameters of a stand, is a frequent subject of discussion in forestry theory and practice. Height determination often causes problems pertaining to the nature of the forest. It requires special measuring devices and tools for indirect measurement, since a tree is an object whose height cannot be physically measured.

When height is measured by triangulation, the difficulty lies mainly in the determination or measurement of the distance from the tree to the optical range finder. Optical measurement, which is an elegant solution, often causes problems because of poor visibility of the multi-range target. This problem could be solved by the use of laser for measuring lengths, which requires no multi-range target.

Results of a laser test and a comparison with a Suunto altimeter, the best altimeter at present, show that laser application in combination with a clinometer can efficiently replace the method for tree measurement used so far. Even in conditions unfavourable for laser application (strong light, which diminishes the visibility of a laser beam on a trunk) the time needed for measurement could be reduced by at least a fifth.



The experience with laser gained so far indicates that laser can also be successfully used for other measurements in the forest. Its application would contribute not only to the accuracy and reliability of measurements but would also effect a considerable saving in time. Because individual measurements would be carried out more rapidly, the number of measurements could be increased, which is essential for better quality. This is of considerable importance in the present conditions of the application of different representative methods for the determination of the state and development of stands within the framework of forest management and research.

## 6 VIRI

- HOČEVAR, M., 1995. Dendrometrija - Gozdna inventura. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana - 274 str.
- HUSCH, B., MILLER, C., BEERS, T. W., 1972. Forest Mensuration - John Willey & Sons, New York - 410 str.
- KRAMER, H., AKCA, A, 1982. Leitfaden fuer Dendrometrie und Bestandensinventur - J. D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt a. M. - 251 str.
- PUHEK, V., 1996. Izmera višine drevesa brez odmerjanja razdalje od merilca do drevesa. Zbornik gozdarstva in lesarstva 48, Ljubljana - 153-192.