Zbornik gozdarstva in lesarstva, 48, 1996, s. 153 - 192

GDK 522

IZMERA VIŠINE DREVESA BREZ ODMERJANJA RAZDALJE OD MERILCA DO DREVESA

Vladimir PUHEK*

Izvleček

Članek obravnava metode in načine merjenja višine dreves, ki ne zahtevajo odmerjanja razdalje od merilca do drevesa. V uvodu so na kratko podani prejšnji in sedanji načini izmere in priprave za izmero, v nadaljevanju pa je težišče na prikazu treh novih variantnih metod izmere. Za eno od njih je opravljen tudi praktični preizkus natančnosti in zanesljivosti, s posebnim ozirom na morebitno obremenjenost s sistematično napako ali biasom. Za primerjalno – referenčno višino je uporabljena višina, izmerjena s teodolitom. Zaradi realnejše ocene natančnosti nove metode je v preizkus in analizo vključena še izmera višin z višinomerom Suunto.

Ključne besede: merjenje višine drevesa, višinomer, padomer, načini izmere, natančnost, točnost, sistematična napaka

TREE HIGHT MEASUREMENT WITHOUT DISTANCE MEASURING FROM THE OBSERVER TO THE SUBJECT TREE

Abstract

The article treats the methods and ways of tree height measurement which do not demand the measuring off from the measurer to the tree. In the introduction the previous and present ways of measurement and preparative for the measurement are given shortly, in the continuing there is a gravity centre on the presentation of three new different methods of measurement.For one of them the practical proof of precision and accuracy is also done with the special respect to the eventual charging by bias. The height measured by teodolyte is used for the comparative-reference height. The height measurements by hypsometer Suunto is still included into the testing and analysis because of more real precision estimation.

Key words: measuring, tree height, hypsometer, clinometer, ways of measurement precision, accuracy, bias

---

* mag., strokovni svetnik, Biotehniška fakulteta oddelek za gozdarstvo, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SLO

VSEBINA

1 UVOD

Višina drevesa je eden od važnejših dendrometrijskih znakov, zato je bila izmera višine že zelo zgodaj obravnavana v gozdarski znanosti in praksi (Parde' 1961). V 19. stoletju so se pojavili različni pripomočki za izmero dreves. Med prvimi je bil Sanlavillejev dendrometer (1842), Christenov hipsometer (1891), kasneje pa še številni drugi, kot na primer Hunejev, Klaussnerjev, Winklerjev, Faustmannov, Weisejev, Matthesov in Lautenbachov hipsometer (Levaković, 1922). Večina višinomerov, ki jih uporabljamo danes, se je pojavila po letu 1950, vsi prejšnji, z izjemo Christenovega, pa so šli v pozabo.

Višina drevesa je linearna količina in za njeno izmero veljajo enaka načela kot za izmero drugih linearnih mer objektov, ki fizično niso dosegljive. Zaradi nekaterih posebnosti meritev v gozdu pa je kljub temu potreben nekoliko drugačen pristop k izmeri in so potrebni drugačni, tem posebnostim prilagojeni pripomočki in instrumenti za izmero. Le-ti morajo biti lahki in prirejeni za nošenje, upoštevana mora biti slabša vidnost v gozdu. Glede natančnosti izmere pa velja, da mora biti v mejah zahtevane natančnosti in ekonomičnosti.

Kljub izpopolnjenim pripomočkom za izmero je merjenje višine drevesa še vedno težavno in zamudno, podvrženo je subjektivnim in drugim napakam, tako da problemi izmere zaslužijo nadaljnjo teoretično in praktično obravnavo.

V okvir iskanja racionalnih načinov izmere spada tudi obravnavana raziskava, v kateri smo preizkusili in ovrednotili nekoliko nenavadne in v gozdarski literaturi in praksi še neobdelane načine izmere. Gre za posredne načine izmere, ko na terenu merimo samo vertikalne kote s padomerom, višino pa kasneje izračunamo z računalnikom. Iz naslova tega prispevka je razvidno, da ti načini izmere ne zahtevajo odmerjanja razdalje od merilca do drevesa.

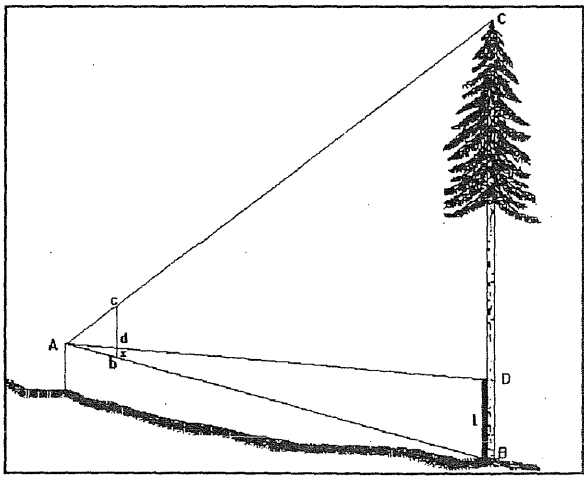
2 TEORETIČNE OSNOVE IZMERE VIŠINE

V strokovni literaturi s področja dendrometrije so priprave za izmero višine razdeljene v dve skupini, in sicer:

A) priprave za izmero višine po podobnostnem načelu

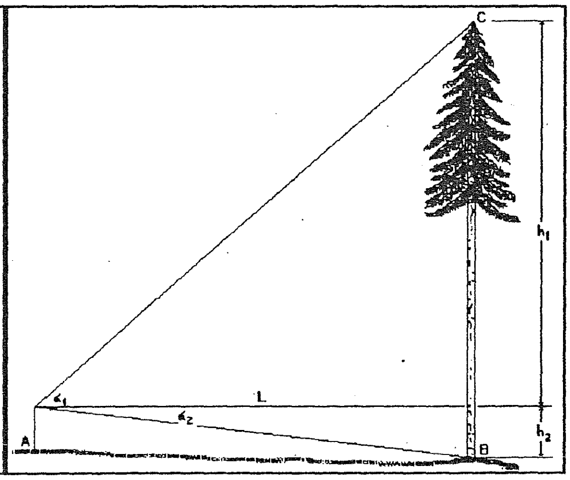
B) priprave in instrumenti za izmero višine po trigonometrijskem načelu.

Slika 1: Podobnostno načelo izmere



$BC{:}bc=BD{:}bd \quad BC=bc*BD/bd$

Slika 2: Trigonometrijsko načelo izmere



$H=h_1+h_2=L*(\mathrm{tg}\,\alpha_1+\mathrm{tg}\,\alpha_2)$[1]

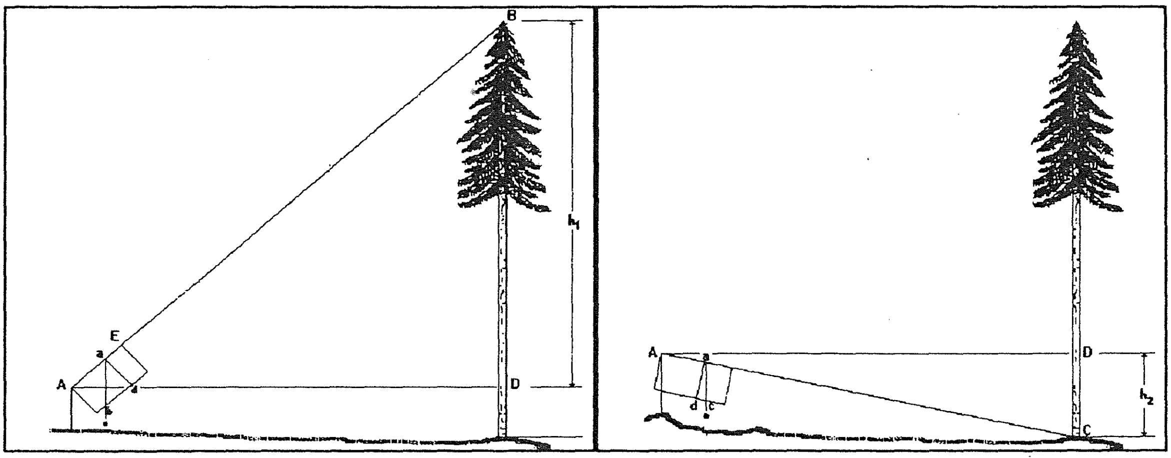
A) Podobnostno načelo izmere

Podobnostno načelo izmere temelji na podobnosti trikotnikov, ki imajo bodisi skupno osnovnico (slika 1) ali pa so v takšni medsebojni legi, da je hipotenuza enega pravokotna na kateto drugega, kateta drugega pa je pravokotna na hipotenuzo prvega (slika 3). V praksi sta bili na tej osnovi znani dve izvedbi višinomerov. Pri eni (Christen) je bilo treba ujeti v urez na merilni letvici (velikosti 30 cm) drevo in z viziranjem v vrh 4 m dolge letve, prislonjene ob deblo, odčitati višino. Namreč, iz razmerja $0.3/h=x/4$ dobimo $h=1.2/x$ in $x=1.2/h$. Pri drugi izvedbi pa je bilo treba ujeti v urez letev in z viziranjem v vrh drevesa odčitati višino.

---

[1] V enačbah je za vse vertikalne kote upoštevan znak +

Slika 3: Podobnostno načelo izmere višine na osnovi pravokotnosti hipotenuze na kateto



$h_1 = BD = AD/ad*bd$ $h_2 = CD = AD/ad*cd$

$H = h_1+h_2 = BD+CD = AD/ad*(bd+cd)$

Ta enačba velja samo v primeru, če je točka D nekje vmes med vznožjem in vrhom drevesa. V primeru, da je D nižje od vznožja drevesa, velja enačba $H=h_1-h_2$=$BD-CD=AD/ad*(bd-cd)$. Kadar pa je točka D nad vrhom drevesa, je $H=h_2-h_1=CD-BD=AD/ad*(cd-bd)$. Pri odštevanju ene ali druge višine je treba paziti samo na to, da vedno odštejemo manjšo višino.

B) Trigonometrijsko načelo izmere višine

Izmera višine na trigonometrijski način temelji na razmerjih med stranicami in koti pri pravokotnem trikotniku. Višino drevesa ugotovimo z izmero razdalje od merilca do drevesa in z izmero vertikalnih kotov med vznožjem in vrhom drevesa (slika 2).

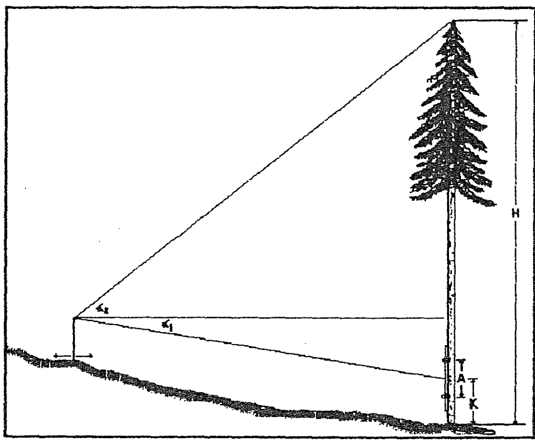
Enačba $H=h_1+h_2$ velja samo v primeru, kadar je horizontalna vizura - oko merilca - nekje med vznožjem in vrhom drevesa. Če je vizura pod vznožjem drevesa, velja enačba $H=h_1-h_2$ (h_1 = višina od horizontalne vizure do vrha drevesa, h_2 = višina od horizontale do vznožja drevesa), če pa je merilec nad vrhom drevesa (primeri te vrste so v praksi redki), pa velja enačba $H=h_2-h_1$ (h_2 = višina od horizontale merilca do vznožja drevesa, h_1 = višina od horizontale merilca do vrha drevesa).

Pri praktični uporabi višinomerov te vrste moramo pri odčitavanju višin upoštevati tole: kadar je eden od odčitkov višine na eni, drug pa na drugi strani ničle na merilni skali, je višina drevesa vsota obeh odčitkov, če pa sta oba na isti strani, je višina drevesa razlika med večjim in manjšim odčitkom. Prirejeni so za merjenje iz roke, le nekateri, kot na primer Barr-Stroudov dendrometer, pa za merjenje s stojala. Sicer pa je ta instrument namenjen v prvi vrsti za izmero nedostopnih premerov in za ocenjevanje volumna stoječih dreves.

Višinomeri na trigonometrijski osnovi so se pojavili že zelo zgodaj. Med prvimi sta bila Matthesov hipsometer in Lautenbachov polimeter. Od preostalih višinomerov te vrste so znani še Forest Service Hypsometer, Abney level, Blume-Leiss, Bitterlich in Haga (Husch, 1963). V novejšem času se je najbolj uveljavil višinomer Suunto.

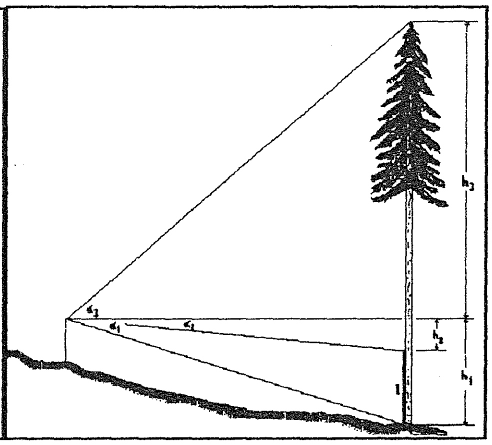
Za merjenje višine z navedenimi višinomeri je treba poznati razdaljo od merilca do drevesa. V ta namen imajo običajno vgrajen optični merilec razdalje. Za večino današnjih višinomerov ta razdalja ni poljubna, temveč fiksna in vezana na merilne skale, ki jih ima višinomer. So pa tudi takšni, kot na primer sistem JOHANN, pri katerem je razdalja poljubna, vendar višine drevesa tu ne moremo odčitati, ampak jo je treba izračunati na osnovi izbrane razdalje (slika 4). Poljubna izbira razdalje je mogoča zaradi nastavljivega razmika oznak na merilni letvici, ki jo obesimo na deblo. Sicer pa ta sistem ne pomeni bistvenega izboljšanja ali olajšanja izmere. Njegova glavna prednost je v prosti izbiri stojišča. Izberemo ga tako, da sta vrh in vznožje drevesa dobro vidna.

Slika 4: Sistem JOHANN



$H = A * C * \cos\alpha_1 * (\mathrm{tg}\,\alpha_1 + \mathrm{tg}\,\alpha_2) + K$

Slika 5: Sistem KRAMER



$H = l * (\mathrm{tg}\,\alpha_1 + \mathrm{tg}\,\alpha_3) / (\mathrm{tg}\,\alpha_1 - \mathrm{tg}\,\alpha_2)$

A je velikost razmika na merilni letvici (m), C pa konstanta za posamezni višinomer oziroma recipročna vrednost lomnega kota. Pri višinomeru Suunto je ta vrednost 1:0.03=33.333...

Način izmere, prikazan na sliki 5 (KRAMER, AKCA, 1982), je nekoliko spremenjen podobnostni način izmere s pomočjo letve, to je Christenov način. Spremenjen je toliko, da višine drevesa ne odčitamo, temveč jo je treba izračunati na osnovi velikosti vertikalnih kotov, ki jih izmerimo s padomerom. Katere kote je treba izmeriti, kaže slika 5. Enako kot pri Christenu in sistemu JOHANN, je razdalja od merilca do drevesa poljubna.

Za izmero višine po sistemu KRAMER je treba imeti letev dolžine 5 m ali več, ki jo postavimo ob deblo. Po izmeri vertikalnih kotov med vznožjem in vrhom drevesa ter med vznožjem in vrhom letve dobimo višino drevesa z izračunom po navedeni enačbi. Kramer opisuje ta način izmere kot nov, še neznan način. Vendar je povsem identičen načinu, ki sta ga opisala že Curtis in Bruce leta 1968 (HUSCH, MILLER, BEERS, 1976). Razlika je samo ta, da so v njuni enačbi za višino $H=l*(\alpha_1+\alpha_3)/(\alpha_1-\alpha_2)$ vertikalni koti podani v %,. S tem pa je izračun višine še bolj poenostavljen.

Na prvi pogled je ugotavljanje višine po pravkar opisanem načinu enostavnejše od običajnega trigonometrijskega načina. Vendar je v praksi drugače, kajti ta način izmere zahteva letev, ki naj bi bila po predlogu Curtisa in Brucea dolga od 1/5 do 1/4 višine drevesa. Glede na običajne višine naših drevesnih vrst bi morala biti dolžina letve vsaj 5 m. Vsakomur, ki je že imel opravka z izmero višin, bo takoj jasno, da bi bilo nošenje tako dolge letve po gozdu sila neprikladno. Poleg tega pa razmere v gozdu velikokrat onemogočajo vidnost vrha letve. Skratka, danes, ko imamo za izmero že boljše pripomočke, je ta način izmere zanimiv le še teoretično.

Iz kratkega prikaza načel in pripomočkov za izmero je mogoče ugotoviti, da še vedno nimamo načina in pripomočka, ki bi to delo bistveno olajšal. Glede na posebnosti gozda, ki se jim moramo prilagajati, je to do neke mere tudi razumljivo. Problem ni toliko v težavnosti izmere vertikalnih kotov, ampak v težavnosti odmerjanja razdalje od merilca do drevesa, zlasti ob slabši vidnosti vznožja drevesa. V tem primeru si ne moremo pomagati niti z laserskim merilcem razdalj, čeprav je sicer zelo uporaben in bo v prihodnje brez dvoma precej pripomogel k lažji izmeri višine.

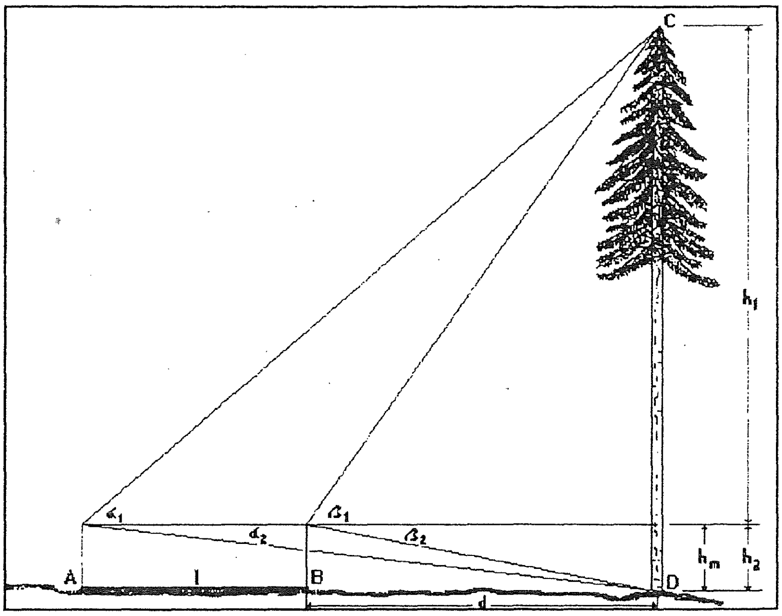
3 MERJENJE VIŠINE PO AB METODI

Ideja o izmeri oziroma izračunu višine po AB metodi je stara že skoraj eno desetletje. Že v letu 1988 smo jo preizkusili na manjšem številu dreves. Potem, ko se je izkazalo, da bi metoda le bila vredna preizkusa, smo v letu 1993 opravili večje število meritev. Glede na to, da je med znanimi načini izmere nismo našli, smo poleg praktične preizkušnje opravili še statistično preskušnjo natančnosti in točnosti. Za to preskušnjo smo uporabili enak način kot (Brickel 1976) pri preskušnji Barr–Stroudovega dendrometra.

AB metoda izmere je nekoliko podobna prej opisani Kramerjevi oziroma Curtis-Brucejevi metodi izmere s pomočjo letve, le da uporabljamo tu namesto letve merilni trak ali pa kar navadno vrvico izbrane dolžine. Trak raztegnemo po tleh v smeri proti vznožju drevesa v poljubni, vendar smiselni oddaljenosti od drevesa (slika 6).

Višino drevesa dobimo z izračunom na osnovi dolžine traku - daljice AB in velikosti vertikalnih kotov med vznožjem in vrhom drevesa, ki jih izmerimo s padomerom v stopinjah ali v odstotkih z obeh krajišč daljice. Če izmerimo kote v odstotkih, se izračun višine poenostavi, ker se izognemo uporabi kotnih funkcij. Vendar je v praksi uporaba skale nagiba v odstotkih omejena, ker za nagibe nad 56 stopinj (nad 150 %) običajno ni podana. Sicer pa je bolj kot to pomembna natančnost padomera in skrbna izmera kotov.

Slika 6: Izmera višine po AB metodi



$$H=l*\text{tg}\alpha_1*(\text{tg}ß_1+\text{tg}ß_2)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1)$$

ali

$$H=l*\text{tg}ß_1*(\text{tg}\alpha_1+\text{tg}\alpha_2)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1)$$

3.1 Teoretične osnove AB metode

Zaradi lažje obravnave označimo razdaljo AB na sliki 6 z l, razdaljo BD pa z d. Horizontalna razdalja AD je potem $d+l$, tako da lahko zapišemo:

$$\text{tg}\alpha_1=h_1/(d+l);\quad h_1/\text{tg}\alpha_1=d+l \qquad (*)$$

$$\text{tg}ß_1=h_1/d;\quad h_1/\text{tg}ß_1=d \qquad (**)$$

Od enačbe $(*)$ odštejemo enačbo $(**)$:

$$h_1/\text{tg}\alpha_1-h_1/\text{tg}ß_1=l;\quad h_1*(1/\text{tg}\alpha_1-1/\text{tg}ß_1)=l \qquad (***)$$

Enačbo $(***)$ preuredimo in dobimo::

$$h_1=l*\text{tg}\alpha_1*\text{tg}ß_1/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1) \qquad (3.1.1)$$

Na enak način pridemo še do enačbe za h_2:

$\mathrm{tg}\alpha_2=h_2/(d+l)$; $h_2/\mathrm{tg}\alpha_2=d+l$ (*)
$\mathrm{tg}\beta_2=h_2/d$; $h_2/\mathrm{tg}\beta_2=d$ (**)

Od enačbe (*) odštejemo enačbo (**), nakar dobimo izraz za h_2:

$$h_2=l*\mathrm{tg}\alpha_2*\mathrm{tg}\beta_2/(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha_2) \quad (3.1.2)$$

Izračun višine h_2 po enačbi (3.1.2) ni zanesljiv, ker je razlika med β_2 in α_2 običajno majhna ali pa je sploh ni. Zato izračunamo h_2 po drugi poti. Namreč, iz slike 6 je razvidno, da je

$$h_2=h_1*\mathrm{tg}\beta_2/\mathrm{tg}\beta_1 \quad (3.1.3)$$

Če za h_1 vstavimo vrednosti iz enačbe (3.1.1), dobimo enačbo za h_2 v obliki:

$$h_2=l*\mathrm{tg}\alpha_1*\mathrm{tg}\beta_2/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1) \quad (3.1.4)$$

Višino drevesa dobimo kot vsoto višin h_1+h_2:

$$H=h_1+h_2=l*\mathrm{tg}\alpha_1*(\mathrm{tg}\beta_1+\mathrm{tg}\beta_2)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1) \quad (3.1.5)$$

Na podoben način pridemo še do druge enačbe za višino H,
če upoštevamo, da je $h_2=h_1*\mathrm{tg}\alpha_2/\mathrm{tg}\alpha_1$:

$$H=l*\mathrm{tg}\beta_1*(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1) \quad (3.1.6)$$

Iz enačb (3.1.5) in (3.1.6) je razvidno, da zadostuje za izračun višine drevesa izmera treh od skupno štirih vertikalnih kotov. Če pa izmerimo vse štiri kote (α_1, α_2, β_1, β_2), lahko izračunamo višino po obeh enačbah in vzamemo povprečje obeh izračunov. Že opravljene meritve kažejo, da je razlika majhna.

Pri merjenju višine dreves na ravnini zadostuje izmera samo dveh vertikalnih kotov (α_1, β_1), kajti višino drevesa dobimo lahko tudi tako, da izračunani višini h_1 po enačbi (3.1.1) prištejemo še očesno višino merilca (h_m). Torej,

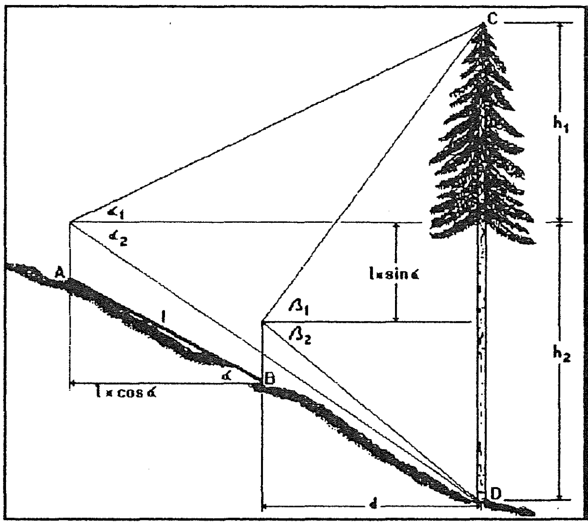
$$H=h_1+h_m=l*\mathrm{tg}\alpha_1*\mathrm{tg}\beta_1/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)+h_m \quad (3.1.7)$$

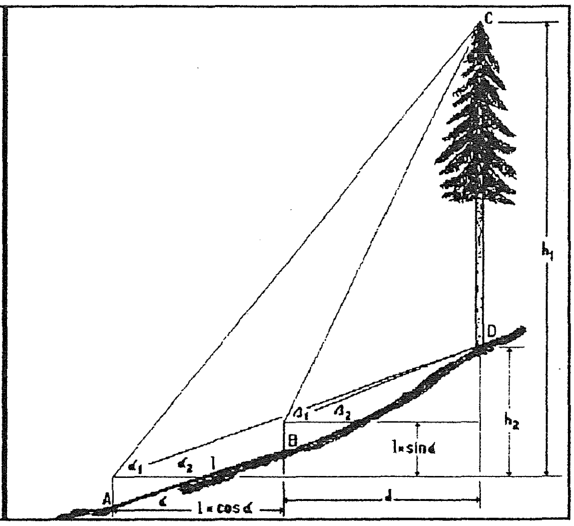
Obravnavani način izmere je dokaj enostaven, zlasti pri izmeri višine dreves na ravnini. Nekoliko več dela imamo z izmero na pobočjih in pri poševno rastočih drevesih.

Pri merjenju višine dreves na pobočjih je treba izmeriti poleg vertikalnih kotov še naklonski kot daljice *l* in v enačbi upoštevati njeno horizontalno in vertikalno projekcijo. Na slikah 7 in 8 sta prikazana dva najbolj pogosta položaja merilca pri izmeri.

Slika 7: Izmera pri daljici AB nad vznožjem drevesa

Slika 8: Izmera pri daljici AB pod vznožjem drevesa





Slika 7: $H = l * \cos\alpha * (\mathrm{tg}\alpha_1 + \mathrm{tg}\alpha_2) * (\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\alpha) / (\mathrm{tg}\beta_1 - \mathrm{tg}\alpha_1)$

Slika 8: $H = l * \cos\alpha * (\mathrm{tg}\alpha_1 - \mathrm{tg}\alpha_2) * (\mathrm{tg}\beta_1 - \mathrm{tg}\alpha) / (\mathrm{tg}\beta_1 - \mathrm{tg}\alpha_1)$

Do enačbe za sliko 7 pridemo lahko takole:

$$\mathrm{tg}\alpha_1 = h_1/(d + l*\cos\alpha); \quad h_1/\mathrm{tg}\alpha_1 = d + l*\cos\alpha \qquad (*)$$

$$\mathrm{tg}\beta_1 = (h_1 + l*\sin\alpha)/d; \quad h_1/\mathrm{tg}\beta_1 = d - l*\sin\alpha \qquad (**)$$

Če od enačbe (*) odštejemo enačbo (**), dobimo:

$$h_1 * (1/\mathrm{tg}\alpha_1 - 1/\mathrm{tg}\beta_1) = l * (\cos\alpha + \sin\alpha * \mathrm{tg}\beta_1)$$

Iz te enačbe dobimo končno enačbo za h_1 v obliki:

$$h_1=l*\text{tg}\alpha_1*(\cos\alpha*\text{tg}ß_1+\sin\alpha)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1)$$
$$=l*\cos\alpha*\text{tg}\alpha_1*(\text{tg}ß_1+\text{tg}\alpha)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1) \quad (3.1.8)$$

Na podoben način pridemo tudi do enačbe za h_2, ki ima končno obliko:

$$h_2=l*\text{tg}\alpha_2*(\cos\alpha*\text{tg}ß_2+\sin\alpha)/(\text{tg}ß_2-\text{tg}\alpha_2)$$
$$=l*\cos\alpha*\text{tg}\alpha_2*(\text{tg}ß_2+\text{tg}\alpha)/(\text{tg}ß_2-\text{tg}\alpha_2) \quad (3.1.9)$$

Iz razmerja kotov in stranic na sliki 7 je razvidno, da je $\text{tg}\alpha_1=h_1/(d+l*\cos\alpha)$ in $\text{tg}\alpha_2=h_2/(d+l*\cos\alpha)$, tako da je $h_2=h_1*\text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1$. Od tod dobimo končno enačbo za h_2 tudi v tejle obliki:

$$h_2=l*\text{tg}\alpha_2*(\cos\alpha*\text{tg}ß_1+\sin\alpha)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1)$$
$$=l*\cos\alpha*\text{tg}\alpha_2*(\text{tg}ß_1+\text{tg}\alpha)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1) \quad (3.1.10)$$

Višina drevesa je vsota višin h_1+h_2, tako da dobimo končno enačbo, podano pod sliko 7.

Izmera kota α, to je naklonskega kota daljice l, bi morala biti enostavna in hitra. Za natančnejšo izmero tega kota bi si moral merilec pomagati s palico višine h_m, za kar bi lahko uporabil npr. zložljivo trasirko.

Merjenje višine drevesa na pobočju s spodnje strani (slika 8) je po načinu izvedbe enako kot v prejšnjem primeru. Tudi sam izračun višine je podoben prejšnjemu, le da je tu končna višina drevesa razlika višin h_1 in h_2. Končne enačbe za h_1 in h_2 so:

$$h_1=l*\text{tg}\alpha_1*(\cos\alpha*\text{tg}ß_1-\sin\alpha)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1)$$
$$=l*\cos\alpha*\text{tg}\alpha_1*(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha)/(\text{tg}ß_1-\text{tg}\alpha_1) \quad (3.1.11)$$

$$h_2=l*\text{tg}\alpha_2*(\cos\alpha*\text{tg}ß_2-\sin\alpha)/(\text{tg}ß_2-\text{tg}\alpha_2)$$
$$=l*\cos\alpha*\text{tg}\alpha_2*(\text{tg}ß_2-\text{tg}\alpha)/(\text{tg}ß_2-\text{tg}\alpha_2) \quad (3.1.12)$$

Tudi tu velja enačba $h_2=h_1*\text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1$, tako da je:

$$h_2 = l*\mathrm{tg}\alpha_1*(\cos\alpha*\mathrm{tg}\beta_1-\sin\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)$$
$$= l*\cos\alpha*\mathrm{tg}\alpha_1*(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1) \quad (3.1.13)$$

Iz slike 8 je razvidno, da je $H=h_1-h_2$, torej:

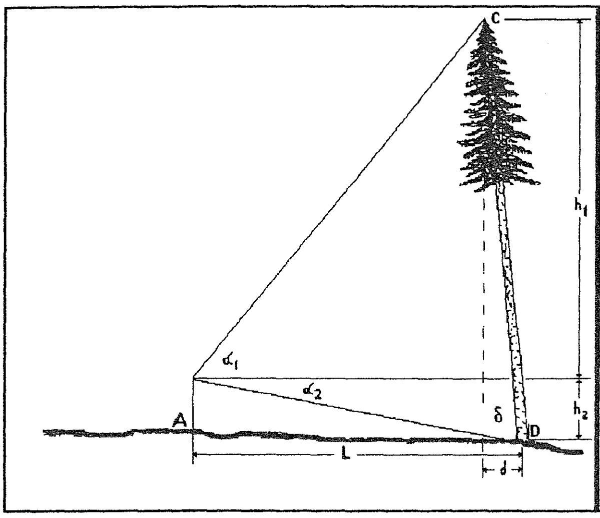
$$H = l*(\mathrm{tg}\alpha_1-\mathrm{tg}\alpha_2)*(\cos\alpha*\mathrm{tg}\beta_1-\sin\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)$$
$$= l*\cos\alpha*(\mathrm{tg}\alpha_1-\mathrm{tg}\alpha_2)*(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1) \quad (3.1.14)$$

3.2 Merjenje višine nagnjenih dreves

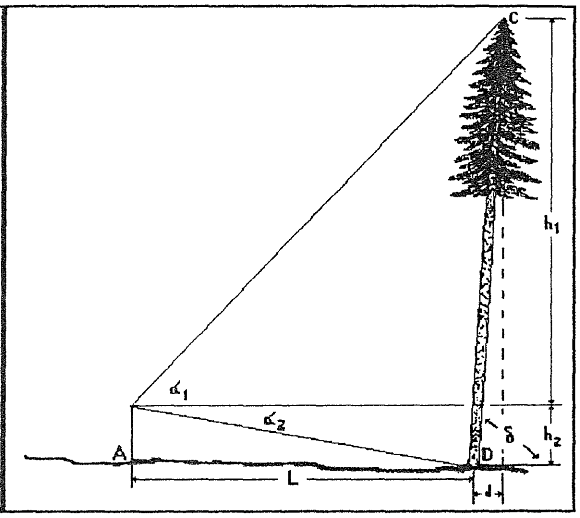
Pri izmeri višine nagnjenih dreves po običajni trigonometrijski metodi z višinomerom dobimo bodisi preveliko ali pa premajhno višino. Napaka je tem večja, čim bolj je drevo nagnjeno in čim krajša je razdalja med merilcem in drevesom. Pri drevesih, ki so nagnjena proti merilcu, je napaka pozitivna, v nasprotnem primeru pa negativna. Pravo višino naprej ali nazaj nagnjenih dreves je mogoče ugotoviti zizmero kotov z dveh nasprotnih strani, ali pa tako, da izmerimo še kot nagiba drevesa.. To pomeni dodatno delo, zato je veliko bolje, da merilec meri višino teh dreves iz smeri, ki je pravokotna na smer nagiba drevesa. Višina, ki jo dobimo, je vertikalna projekcija "dolžine" drevesa.

Izmera višine nagnjenih dreves po običajni trigonometrijski metodi je v literaturi slabo obdelana. Največkrat se vse konča s sliko nagnjenega drevesa glede na smer merjenja. Za prakso je to premalo, zato ne bo odveč, če si ogledamo, kako priti do prave višine tudi v takšnih primerih. Pri tem je treba opozoriti na dvoje dejstev. Prvič, za prikaz merjenja nagnjenih dreves na osnovi znane razdalje od merilca do drevesa smo se odločili šele kasneje, ker ta snov ni v skladu z naslovom članka. Drugič, v nadaljevanju prikazani način izmere bi prišel v poštev v primeru, da bi namesto višinomera uporabljali padomer ali pa oba hkrati.

Slika 9: *Drevo na ravnem, nagnjeno proti merilcu*



Slika 10: *Drevo na ravnem, nagnjeno naprej*



Slika 9: $H=h_1+h_2=L*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\delta)$

Slika 10: $H=h_1+h_2=L*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\delta-\mathrm{tg}\alpha_1)$

Enačbo pod sliko 9 dobimo lahko takole:

$\mathrm{ctg}\alpha_1=(L-d)/h_1$;	$h_1*\mathrm{ctg}\alpha_1=L-d$	(*)
$\mathrm{ctg}\alpha_2=L/h_2$;	$h_2*\mathrm{ctg}\alpha_2=L$	(**)
$\mathrm{ctg}\delta=d/(h_1+h_2)$;	$(h_1+h_2)*\mathrm{ctg}\delta=d$	(***)

Seštejemo enačbo (*) in enačbo (***):

$h_1*\mathrm{ctg}\alpha_1+(h_1+h_2)*\mathrm{ctg}\delta=L$, nakar dobimo iz enačbe (**) še izraz za h_2:

$$h_2=L/\mathrm{ctg}\alpha_2 \qquad (3.2.1)$$

Z enačbo (3.2.1) za h_2 dobimo: $h_1*\mathrm{ctg}\alpha_1+h_1*\mathrm{ctg}\delta+L/\mathrm{ctg}\alpha_2=L$,
s preureditvijo pa enačbo za h_1 v obliki:

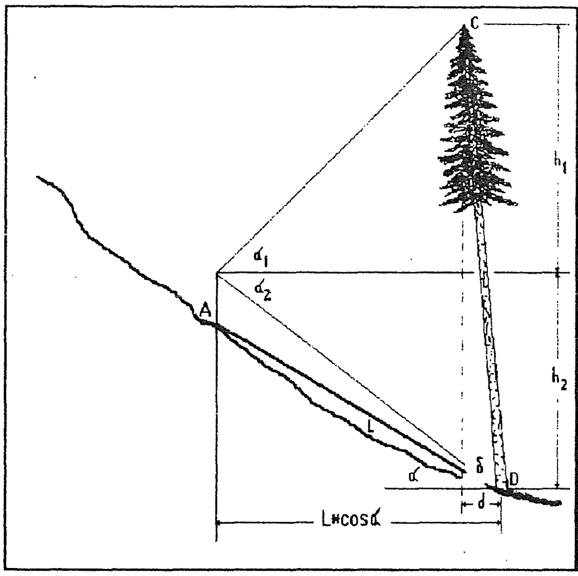
$$h_1=L*(1-1/\mathrm{ctg}\alpha_2)/(\mathrm{ctg}\alpha_1+\mathrm{ctg}\delta) \qquad (3.2.2)$$

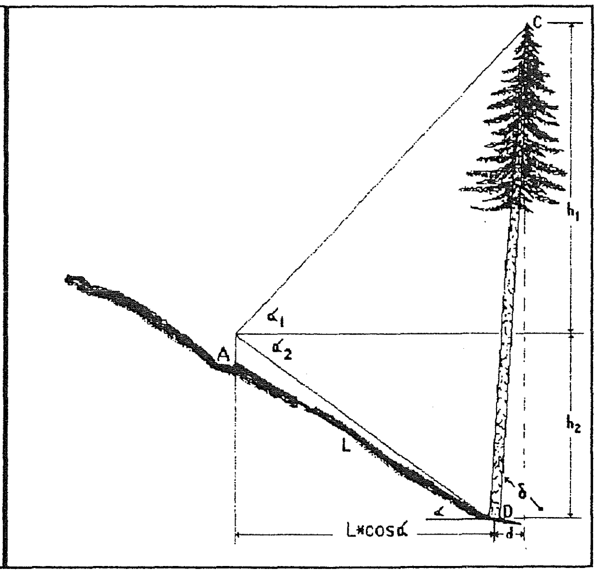
$$H=h_1+h_2=L*(1-1/\mathrm{ctg}\alpha_2)/(\mathrm{ctg}\alpha_1+\mathrm{ctg}\delta)+L/\mathrm{ctg}\alpha_2$$

Po zamenjavi ctg s tg dobimo končno enačbo, podano pod sliko 9. Za "dolžino" drevesa velja enačba $CD=H/\sin\delta$. Na enak način dobimo tudi enačbo za sliko 10.

Slika 11: *Drevo na pobočju, nagnjeno navzgor*

Slika 12: *Drevo na pobočju, nagnjeno navzdol*



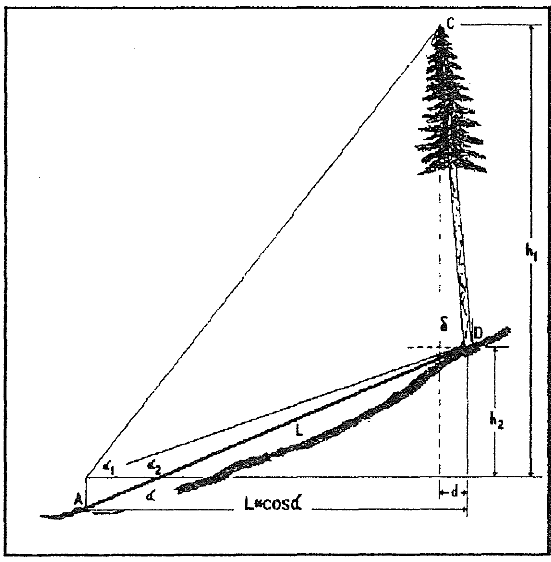


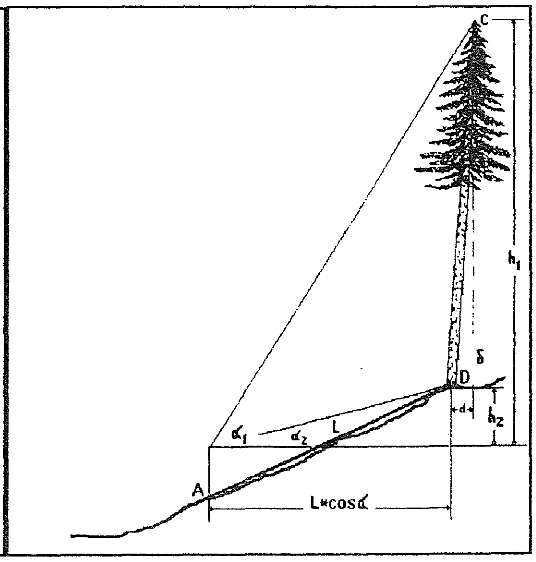
Slika 11: $H=h_1+h_2=L*\cos\alpha*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\delta)$

Slika 12: $H=h_1+h_2=L*\cos\alpha*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\delta-\mathrm{tg}\alpha_1)$

Slika 13: *Drevo nagnjeno navzdol*

Slika 14: *Drevo nagnjeno proti merilcu navzgor*





Slika 13: $H=h_1-h_2=L*\cos\alpha*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\alpha_1-\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\delta+\mathrm{tg}\alpha_1)$

Slika 14: $H=h_1-h_2=L*\cos\alpha*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\alpha_1-\mathrm{tg}\alpha_2)/(\mathrm{tg}\delta-\mathrm{tg}\alpha_1)$

Enačbe za slike 11, 12, 13 in 14 so si med seboj podobne. Dobimo jih dokaj enostavno, zato smo podrobnejši prikaz poti do njih izpustili.

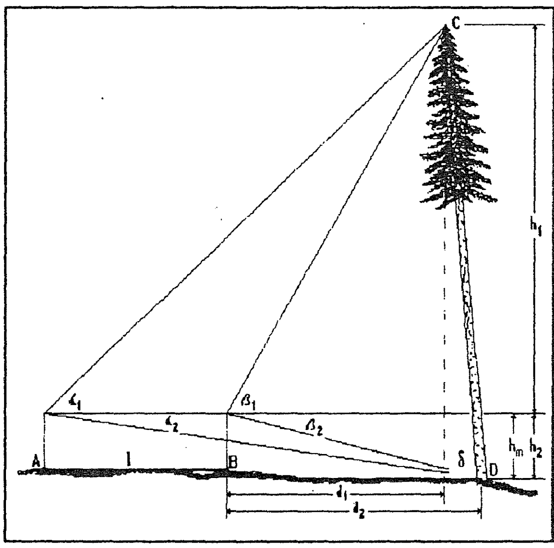
Glede na to, da je kot δ običajno blizu 90°, je treba imeti padomer, s katerim je mogoče meriti tako velike kote. Padomer Suunto temu pogoju povsem zadošča. Izmera naklonskega kota mora biti kolikor je mogoče natančna!

3.3 Izmera višine nagnjenih dreves po AB metodi

AB metoda nam omogoča izmero višine nagnjenih dreves s poljubno izbrane smeri, kajti v nasprotju z običajno trigonometrijsko metodo dobimo tu v vsakem primeru vertikalno projekcijo "dolžine" drevesa, ne da bi zato morali izmeriti naklonski kot drevesa. Glede na to, da je izmera naklonskega kota drevesa enostavna, ga vseeno izmerimo. S tem je omogočen izračun "dolžine" drevesa, poleg tega pa tudi zanesljivejši izračun h_2.

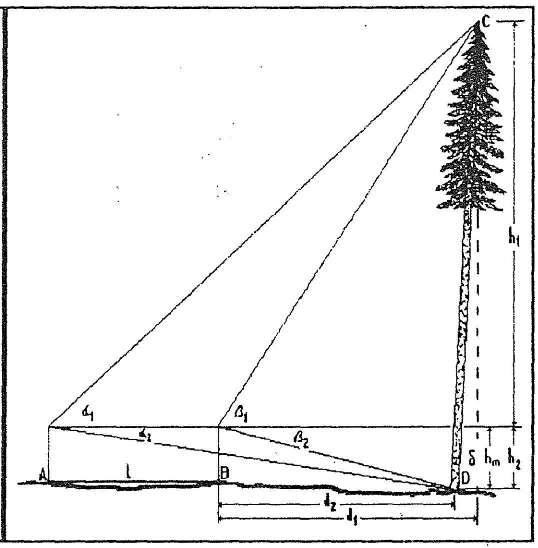
V nadaljevanju bomo prikazali izmero višine nagnjenih dreves po AB metodi na ravnini in na pobočju, pri različni smeri nagiba glede na položaj merilca in pri različnem položaju merilca glede na vznožje drevesa.

Slika 15: Drevo na ravnem, nagnjeno proti merilcu



$h_1 = l * \mathrm{tg}\alpha_1 * \mathrm{tg}\beta_1 / (\mathrm{tg}\beta_1 - \mathrm{tg}\alpha_1)$
$h_2 = l * \mathrm{tg}\alpha_2 * \mathrm{tg}\beta_2 / (\mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\alpha_2)$

Slika 16: Drevo na ravnem, nagnjeno naprej



$h_1 = l * \mathrm{tg}\alpha_1 * \mathrm{tg}\beta_1 / (\mathrm{tg}\beta_1 - \mathrm{tg}\alpha_1)$
$h_2 = l * \mathrm{tg}\alpha_2 * \mathrm{tg}\beta_2 / (\mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\alpha_2)$

$H = h_1 + h_2$ ali $H = h_1 + h_m$ in $CD = H / \sin\delta$

Izračun h_2 je zaradi majhne razlike med $ß_2$ in α_2 nezanesljiv, zato je namesto višine h_2 bolje vzeti očesno višino merilca h_m. Če pa izmerimo še naklonski kot drevesa višine δ, lahko izračunamo višino h_2 namesto po zgornji enačbi po tehle enačbah:

Slika 15: $h_2=h_1*tg\beta_2*(tg\beta_1+tg\delta)/(tg\beta_1*(tg\delta-tg\beta_2))$
Slika 16: $h_2=h_1*tg\beta_2*(tg\delta-tg\beta_1)/(tg\beta_1*(tg\beta_2+tg\delta))$

Do enačb pod sliko 15 pridemo takole:

$$tg\alpha_1=h_1/(d_1+l);\quad h_1/tg\alpha_1=d_1+l \qquad (*)$$

$$tgß_1=h_1/d_1;\quad h_1/tgß_1=d_1 \qquad (**)$$

Če od enačbe (*) odštejemo enačbo (**), dobimo:

$$h_1*(1/tg\alpha_1-1/tgß_1)=l;\quad h_1=l/(1/tg\alpha_1-1/tgß_1)$$
$$=l*tg\alpha_1*tgß_1/(tgß_1-tg\alpha_1) \qquad (3.3.1)$$

Na kratko še pot do enačbe za h_2:

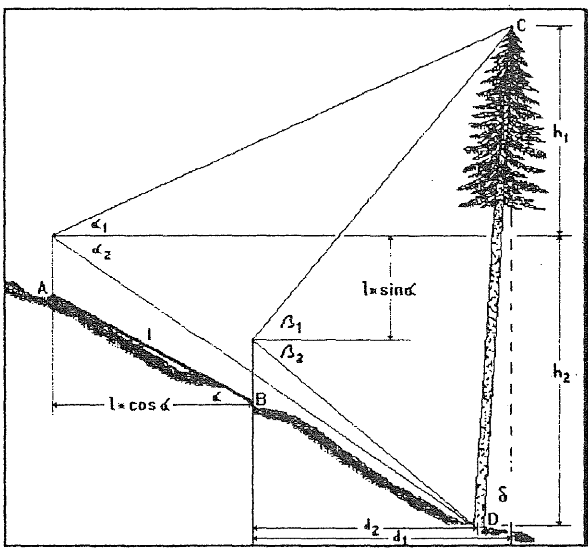
$$tg\alpha_2=h_2/(d_2+l);\quad h_2/tg\alpha_2=d_2+l \qquad (*)$$
$$tgß_2=h_2/d_2;\quad h_2/tgß_2=d_2 \qquad (**)$$

$$h_2*(1/tg\alpha_2-1/tgß_2)=l;\quad h_2=l*tg\alpha_2*tgß_2/(tgß_2-tg\alpha_2) \qquad (3.3.2)$$

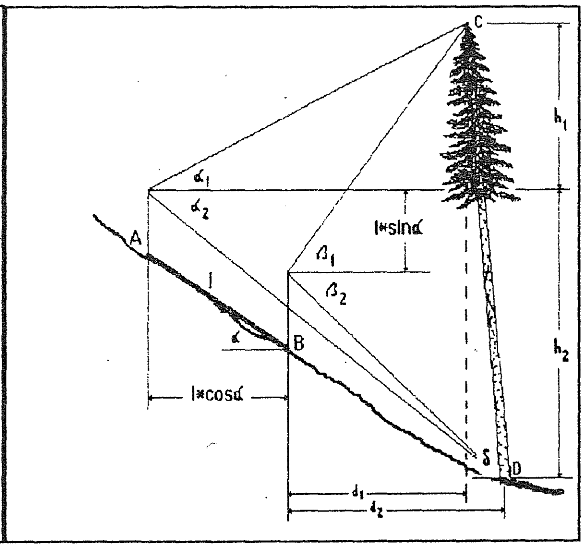
Enačba $h_2=h_1*tg\alpha_2/tg\alpha_1$ za poševno rastoča drevesa ne velja! Vertikalno projekcijo od vrha do tal, kar je po definiciji višina drevesa H, dobimo kot vsoto višin h_1+h_2. Dolžino drevesa CD pa dobimo z enačbo $CD=(h_1+h_2)/\sin\delta$. S primerjavo končnih enačb pod sliko 15 in 16 lahko ugotovimo, da so enake, le pri izračunu h_2 s pomočjo naklonskega kota δ sta enačbi različni. Kadar pa je položaj merilca glede na nagib takšen, da je drevo nagnjeno bodisi na levo ali na desno stran, velja za izračun višine osnovna enačba za izmero pokončnih dreves na ravnini. Pri takšnem položaju merilca lahko tudi izračunamo višino po obeh enačbah in upoštevamo povprečje obeh ocen. Namreč, enačba $h_2=h_1*tg\alpha_2/tg\alpha_1$ v tem primeru velja.

Oglejmo si še izmero višine nagnjenih dreves na pobočju. Glede na to, da je merilec lahko nad vznožjem ali pa pod vznožjem drevesa in drevo nagnjeno po pobočju navzdol ali navzgor, gre tu za več različnih primerov izmere. V nadaljevanju bomo prikazali vsakega posebej.

Slika 17: *Drevo nagnjeno navzdol, merilec zgoraj*



Slika 18: *Drevo nagnjeno navzgor, merilec zgoraj*



$$h_1=l*\mathrm{tg}\alpha_1*(\cos\alpha*\mathrm{tg}\beta_1+\sin\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)$$
$$=l*\cos\alpha*\mathrm{tg}\alpha_1*(\mathrm{tg}\beta_1+\mathrm{tg}\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)$$

$$h_2=l*\mathrm{tg}\alpha_2*(\cos\alpha*\mathrm{tg}\beta_2-\sin\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha_2)$$
$$=l*\cos\alpha*\mathrm{tg}\alpha_2*(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha_2)$$

$$H=h_1+h_2\ ; \quad CD=H/\sin\delta$$

Iz razmerja kotov in stranic na sliki 17 dobimo:

$$\mathrm{tg}\alpha_1=h_1/(d_1+l*\cos\alpha);\quad h_1/\mathrm{tg}\alpha_1=d_1+l*\cos\alpha \qquad (*)$$

$$\mathrm{tg}\beta_1=(h_1+l*\sin\alpha)/d_1;\quad (h_1+l*\sin\alpha)/\mathrm{tg}\beta_1=d_1+l*\sin\alpha/\mathrm{tg}\beta_1 \qquad (**)$$

Od enačbe $(*)$ odštejemo enačbo $(**)$:

$$h_1*(1/\mathrm{tg}\alpha_1-1/\mathrm{tg}\beta_1) = l*(\cos\alpha+\sin\alpha/\mathrm{tg}\beta_1).$$

Od tod dobimo enačbo za h_1:

$$h_1 = l * \mathrm{tg}\alpha_1 * (\cos\alpha * \mathrm{tg}\beta_1 + \sin\alpha) / (\mathrm{tg}\beta_1 - \mathrm{tg}\alpha_1) \quad (3.3.3)$$

In sedaj še za h_2:

$$\mathrm{tg}\alpha_2 = h_2 / (d_2 + l * \cos\alpha);\quad h_2 / \mathrm{tg}\alpha_2 = d_2 + l * \cos\alpha \quad (*)$$

$$\mathrm{tg}\beta_2 = (h_2 - l * \sin\alpha) / d_2;\quad h_2 / \mathrm{tg}\beta_2 = d_2 + l * \sin\alpha / \mathrm{tg}\beta_2 \quad (**)$$

Tudi tu odštejemo enačbo *(**)* od enačbe *(*)* in dobimo:

$$h_2 * (1/\mathrm{tg}\alpha_2 - 1/\mathrm{tg}\beta_2) = l * \cos\alpha - l * \sin\alpha / \mathrm{tg}\beta_2.$$

Končna oblika enačbe za h_2 je:

$$h_2 = l * \mathrm{tg}\alpha_2 * (\cos\alpha * \mathrm{tg}\beta_2 - \sin\alpha) / (\mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\alpha_2) \quad (3.3.4)$$

Enačbe pod slikama 17 in 18 veljajo za obe smeri nagiba drevesa, vendar s pogojem, da sta horizontalni vizuri s točke A in B nekje med vznožjem in vrhom drevesa. Višina drevesa je vsota obeh višin $H = h_1 + h_2$. Za "dolžino" drevesa velja enačba $CD = H / \sin\delta$.

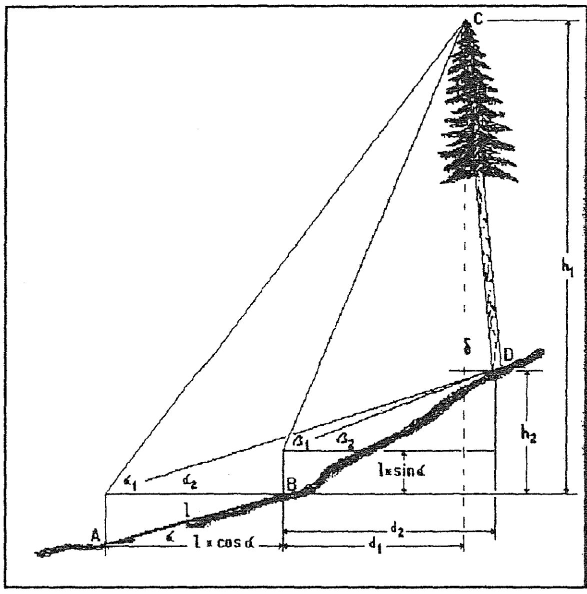
V primeru, da smo izmerili še naklonski kot drevesa δ, lahko izračunamo višino h_2 za sliko 17 in sliko 18 po tehle enačbah:

Slika 17: $h_2 = (h_1 * \mathrm{tg}\beta_2 * (\mathrm{tg}\delta - \mathrm{tg}\beta_1) + l * \sin\alpha * \mathrm{tg}\delta * (\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\beta_2)) / (\mathrm{tg}\beta_1 * (\mathrm{tg}\beta_2 + \mathrm{tg}\delta))$

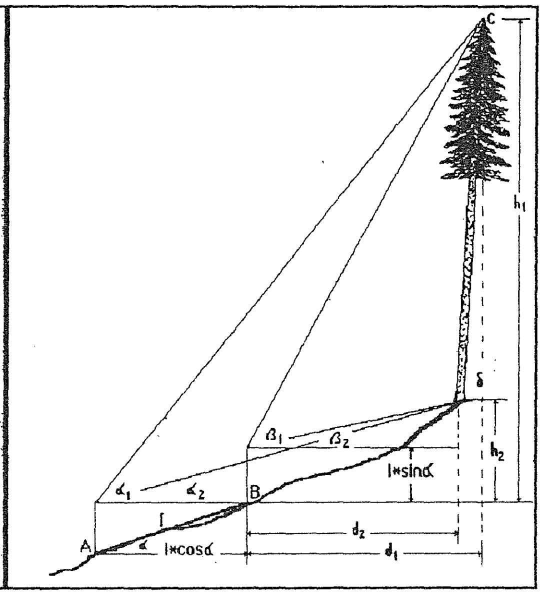
Slika 18: $h_2 = (h_1 * \mathrm{tg}\beta_2 * (\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\delta) + l * \sin\alpha * \mathrm{tg}\delta * (\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\beta_2)) / (\mathrm{tg}\beta_1 * (\mathrm{tg}\delta - \mathrm{tg}\beta_2))$

Ostane nam še izmera nagnjenih dreves na pobočju s spodnje strani. Zaradi zaokrožitve prikaza bomo obdelali tudi to možnost, čeprav so primeri merjenja višine dreves s spodnje strani redki.

Slika 19: Drevo nagnjeno navzdol, merilec spodaj



Slika 20: Drevo nagnjeno navzgor, merilec spodaj



$$h_1 = l*\mathrm{tg}\alpha_1*(\cos\alpha*\mathrm{tg}\beta_1-\sin\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)$$
$$= l*\cos\alpha*\mathrm{tg}\alpha_1*(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\alpha_1)$$

$$h_2 = l*\mathrm{tg}\alpha_2*(\cos\alpha*\mathrm{tg}\beta_2-\sin\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha_2)$$
$$= l*\cos\alpha*\mathrm{tg}\alpha_2*(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha)/(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\alpha_2)$$

$$H = h_1 - h_2\,; \quad CD = H/\sin\delta$$

Višino h_2 na osnovi naklonskega kota δ izračunamo po tehle enačbah:

Slika 19: $h_2=(h_1*\mathrm{tg}\beta_2*(\mathrm{tg}\beta_1+\mathrm{tg}\delta)+l*\sin\alpha*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\beta_1-\mathrm{tg}\beta_2))/(\mathrm{tg}\beta_1*(\mathrm{tg}\beta_2+\mathrm{tg}\delta))$

Slika 20: $h_2=(h_1*\mathrm{tg}\beta_2*(\mathrm{tg}\delta-\mathrm{tg}\beta_1)-l*\sin\alpha*\mathrm{tg}\delta*(\mathrm{tg}\beta_2-\mathrm{tg}\beta_1))/(\mathrm{tg}\beta_1*(\mathrm{tg}\delta-\mathrm{tg}\beta_2))$

Podrobnejši prikaz, kako pridemo do enačb pod sliko 19 in 20, zaradi podobnosti s prejšnjimi primeri tudi tokrat izpuščamo. Iz slik je razvidno, da je višina drevesa $H=h_1-h_2$. Enačba za izračun h_2 je enaka kot pri merjenju z zgornje strani. S primerjavo enačb za posamezne primere lahko ugotovimo, da so enačbe za izračun višine nagnjenih dreves na pobočju glede na smer nagiba enake. Razlikujejo se samo glede na položaj merilca (merjenje z zgornje ali spodnje strani).

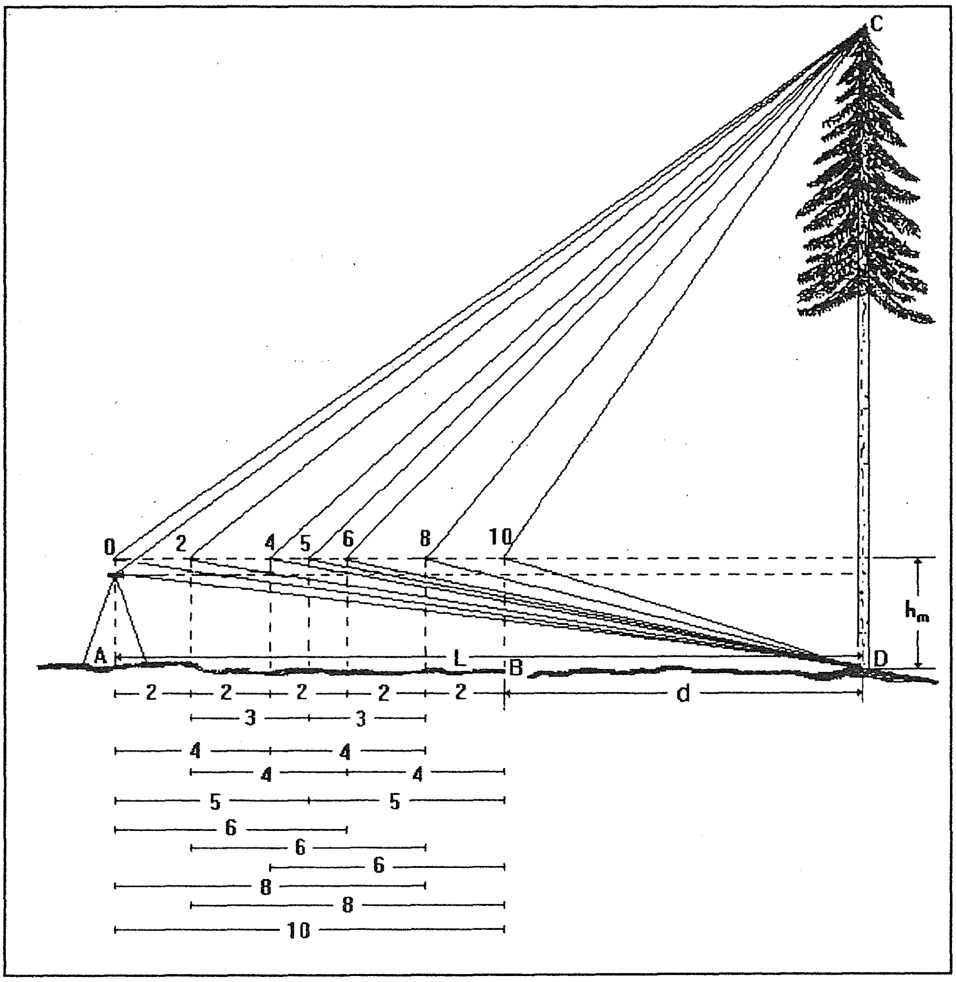
4 PRAKTIČNI PREIZKUS AB METODE IZMERE

Opisano metodo izmere smo praktično preizkusili na smreki v učnem gozdu Meja pri Kranju. Gozd je na ravnini, zato smo lahko preizkusili samo varianto izmere na ravnem.

4.1 Metoda dela

Pri preizkusu načina izmere ali pripomočka za izmero višine je potrebno poznati dejansko višino objekta oziroma drevesa. V literaturi s tega področja najdemo primere, kjer so to višino ugotavljali ali s teodolitom ali pa s posekom. V našem primeru smo uporabili teodolit in in za referenčno višino upoštevali povprečno višino dveh meritev. Višino s teodolitom (H_T) sta namreč merila dva merilca.

Slika 21: Shema merjenja višine



Od teodolita do drevesa potegnjen merilni trak smo uporabili za ugotavljanje razdalje L za izmero višine s teodolitom - $H=L*(\mathrm{tg}\alpha_1+\mathrm{tg}\alpha_2)$ – ter hkrati tudi za dolžine l pri izmeri po AB metodi.

Iz slike 21 je razvidno, da smo merili vertikalne kote od teodolita proti drevesu na razdalji 2, 4, 5, 6, 8 in 10 m. Za tak način smo se odločili zato, da bi dobili čimveč različnih dolžin daljice l. Iz izbranih razmikov smo dobili 5 dolžin po 2 m, 2 dolžini po 3 m, 4 dolžine po 4 m, 2 dolžini po 5 m, 3 dolžine po 6 m, 2 dolžini po 8 m in eno dolžino 10 m. Dveh dolžin po 1 m, to je od 4 do 5 in od 5 do 6 m, zaradi očitne neuporabnosti nismo vključili v preizkus.

Z izmero vertikalnih kotov na navedenih razdaljah smo dobili skupno 19 ocen višine drevesa. Višino drevesa po AB metodi so merili trije merilci. Skupno je bilo izmerjenih 115 dreves, s tem da tretji merilec prvih 15 dreves ni meril. Za merjenje vertikalnih kotov smo uporabljali padomer Suunto. Da bi lahko primerjali AB način izmere z običajnim trigonometrijskim načinom, je vsak merilec izmeril višino drevesa še z višinomerom Suunto. Razdaljo od merilca do drevesa za izmero z višinomerom smo ugotavljali na običajni način, to je optično.

4.2 Preizkus natančnosti AB metode izmere

Preizkus natančnosti metode in morebitne prisotnosti sistematične napake (biasa) smo opravili pri vsakem merilcu posebej. To je bilo potrebno vsaj iz dveh razlogov. Prvič, ocenjevanje metode na osnovi nekih povprečij bi bilo špekulativno. In drugič, tako kot pri merilni pripravi ali metodi se lahko pojavi sistematična napaka tudi pri merilcu.

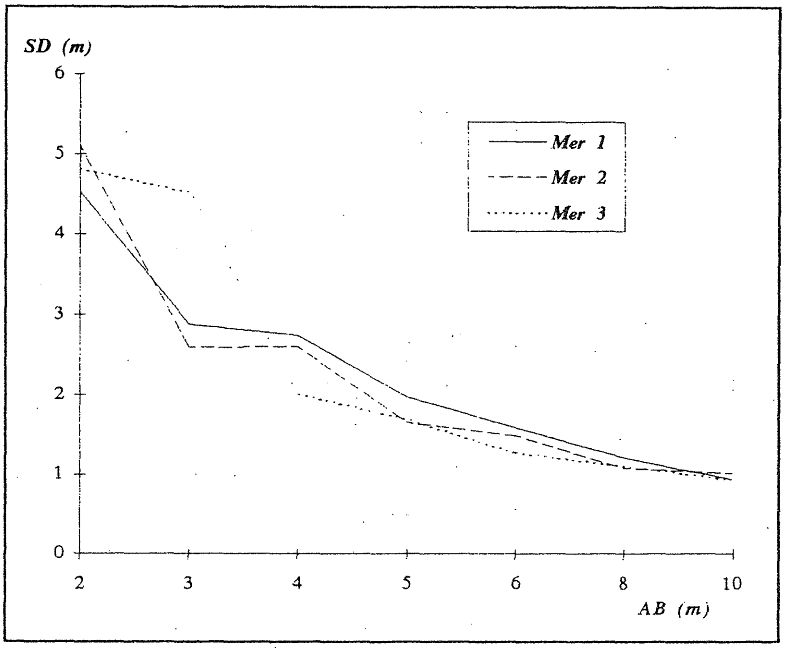
Preglednica 1: Povprečne razlike in standardni odkloni razlik (H_{AB}–H_T) glede na dolžino AB

Dolžina	Dif=H_{AB}–H_T			Standardni odklon SD		
AB (l) m	Mer 1 m	Mer 2 m	Mer 3 m	Mer 1 m	Mer 2 m	Mer 3 m
2_1	1.97	0.77	-0.30	4.53	5.11	4.82
2_2	1.38	0.67	0.82	4.53	4.64	4.73
2_3	0.23	0.40	-0.20	3.83	3.84	2.79
2_4	0.06	0.26	1.06	3.05	3.88	3.93
2_5	-0.06	0.28	0.41	2.84	4.11	4.89
3_1	0.53	0.28	0.96	2.87	2.59	4.54
3_2	0.11	-0.04	-0.06	2.43	2.40	2.45
4_1	1.31	0.21	-0.33	2.74	2.60	2.01
4_2	0.42	0.14	0.00	2.21	2.13	2.26
4_3	-0.14	-0.04	0.17	1.66	1.87	1.93
4_4	-0.20	-0.02	0.29	1.70	2.33	1.96
5_1	0.83	0.10	-0.09	1.96	1.65	1.70
5_2	-0.11	-0.13	-0.18	1.51	1.55	1.72
6_1	0.73	0.05	-0.42	1.59	1.48	1.27
6_2	0.15	-0.03	0.18	1.32	1.22	1.76
6_3	-0.23	-0.09	0.00	1.12	1.39	1.30
8_1	0.47	-0.04	-0.17	1.21	1.07	1.10
8_2	0.02	-0.06	0.04	0.96	1.07	1.16
10	0.30	-0.06	-0.19	0.93	1.01	0.93
SUUNTO	-0.21	-0.09	-0.24	0.31	0.39	0.38

Natančnost izmere je mogoče ovrednotiti s primerjavo standardnih odklonov, bodisi da gre pri tem za primerjavo znotraj neke metode (konkretno po velikosti daljic AB), ali pa med metodami ali med različnimi pripomočki za izmero.

V preglednici 1 prikazani rezultati meritev kažejo, da je variabilnost ocen pri AB metodi izmere velika, zlasti pri kratkih daljicah *l*. Še pri daljici *l*=10 m je le-ta trikrat večja od variabilnosti ocen, dobljenih z višinomerom Suunto. Dalje, povprečja razlik H_{AB}–H_T pri *l*<6 m močno variirajo, naprej pa se nekako stabilizirajo in so povsem primerljiva s povprečjem, dobljenim z višinomerom. Tudi standardni odklon se od *l*>6 m precej zmanjša, kar je še lepše vidno iz grafikona 1.

Grafikon 1: Standardni odklon razlike višin (H_{AB}–H_T)



Pri AB metodi izmere so veliki tudi ekstremi, zlasti pri krajših daljicah l. V preglednici 2 so poleg že znanih količin prikazani še najmanjši in največji odkloni. Podatki za AB metodo so dobljeni pri dolžini daljice *l*=10 m.

Preglednica 2: Primerjava natančnosti izmere višin z AB metodo (pri l=10 m) in z višinomerom Suunto

Merilec	Metoda	Povprečje H–H_T	SD	Min [m]	Maks [m]
1	AB	0.30	0.93	–1.66	4.17
	SUUNTO	–0.21	0.31	–1.01	0.99
2	AB	–0.06	1.01	–3.28	3.10
	SUUNTO	–0.09	0.39	–0.92	1.29
3	AB	–0.19	0.93	–2.54	2.72
	SUUNTO	–0.24	0.38	–1.51	0.73

Absolutne razlike so pri AB metodi lahko veliko večje kot pri izmeri z višinomerom. Vendar je na srečo velikih razlik relativno malo, kar je pokazala analiza razlik pri posameznih drevesih. Rezultati so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: *Število in delež večjih absolutnih razlik med H_{AB} in H_T (l=10 m)*

Merilec	abs(H_{AB}-H_T)>3m		abs(H_{AB}-H_T)>2m		abs(H_{AB}-H_T)>1m	
	n	%	n	%	n	%
1	3	2.61	6	5.22	28	24.35
2	2	1.74	8	6.96	29	25.22
3	0	0.00	6	6.00	23	23.00

Pri AB metodi je verjetnost pojava večjih razlik - slabih ocen višine - veliko večja kot pri običajnem – trigonometrijskem načinu izmere. Vzrok za to je v naravi metode. Če namreč upoštevamo, da velikost absolutne napake pri odčitavanju vertikalnih kotov ni odvisna od velikosti kota, ampak od natančnosti merilnega pripomočka, potem je jasno, da bo imela enako velika absolutna napaka pri majhni razliki med kotoma β_1 in α_1 (to je v primeru majhnih vrednosti daljice *l* ali pa pri večji oddaljenosti merilca od drevesa) za posledico veliko napako v oceni višine.

Dokaz, da za velike razlike ni kriv padomer, je mogoče razbrati iz preglednice 4. V tej preglednici so rezultati izmere višin s padomerom na trigonometrijski način po enačbi $H=L*(\text{tg}\alpha_1+\text{tg}\alpha_2)$, kjer je *L* razdalja med drevesom in teodolitom, α_1 in α_2 pa sta vertikalna kota, izmerjena s padomerom s pozicije teodolita. Za primerjavo so v preglednici 4 podani že prej navedeni podatki o izmeri z višinomerom.

Preglednica 4: *Primerjava natančnosti izmere višine dreves s padomerom in višinomerom $H=L*(tg\alpha_1+tg\alpha_2)$*

Merilec	Merilna priprava	Razlika H-H_T	SD_{H-HT}	Min [m]	Maks [m]
1	Padomer	-0.05	0.31	-0.85	1.07
	Višinomer	-0.21	0.31	-1.01	0.99
2	Padomer	0.03	0.28	-1.03	0.98
	Višnomer	-0.09	0.39	-0.92	1.29
3	Padomer	-0.13	0.24	-0.68	0.49
	Višinomer	-0.24	0.38	-1.51	0.73

S primerjavo vrednosti parametrov, dobljenih s padomerom in z višinomerom, lahko ugotovimo, da je izmera višine s padomerom vsaj tako natančna kot z višinomerom. Nekoliko manjše povprečne razlike pri padomeru so verjetno zaradi natančne razdalje L, ki je bila odmerjana z merilnim trakom, medtem ko smo pri merjenju z višinomerom odmerjali razdaljo od merilca do drevesa optično.

Negativna vrednost razlike v povprečju pri višinomeru gre verjetno na račun sistematične napake pri optičnem odmerjanju razdalje. Optično izmerjena razdalja od merilca do drevesa je sistematično prevelika za vrednost polmera drevesa. Približno tolikšna je potem napaka v povprečju dobljenih višin, če med razdaljo *L* in višino drevesa ni večje razlike. V našem primeru je ta domneva v grobem potrjena.

4.3 Preizkus metode AB na morebitno sistematično napako (bias)

V prejšnjem poglavju smo obravnavali natančnost meritev oziroma natančnost metode izmere. Natančnost je mogoče oceniti na osnovi disperzije ocen okrog lastnega povprečja. Za oceno uporabnosti neke metode ali neke merilne priprave pa sam preizkus natančnosti še ni dovolj, kajti kljub morebitni zadovoljivi ali celo veliki natančnosti je metoda ali priprava neuporabna, če vsebuje sistematično napako. Za dokončno oceno uporabnosti je treba opraviti še preizkus točnosti.

V statistični terminologiji je točnost opredeljena kot lastnost metode ali naprave, da nima sistematične napake (biasa). Točnost ali tudi zanesljivost se odraža v stopnji skladnosti med ocenjenimi in dejanskimi vrednostmi.

Za preskušnjo hipoteze, da metoda AB nima sistematične napake, smo uporabili t-test po metodi parov. Zaradi velikega števila ocen višin pri enem drevesu (19) smo se pri tem omejili na preizkus ocen, ki so bile dobljene pri l=5 do 10 m. Preizkus smo opravili za vsakega merilca posebej.

Preglednica 5: Rezultati preskušnje značilnosti razlik med povprečji (H_{AB}–H_T) po metodi parov

AB=l	Mer	H_{AB} [m]	SD_{HAB} [m]	H_{AB}–H_T [m]	SE_{Dif} [m]	t	P	r
5_1	1	24.40	7.739	0.835	0.182	4.58	0.000	0.968
	2	23.67	7.415	0.099	0.154	0.65	0.519	0.975
	3	23.51	7.952	–0.085	0.170	–0.50	0.616	0.977
5_2	1	23.45	7.473	–0.114	0.140	–0.81	0.420	0.980
	2	23.44	7.286	–0.127	0.144	–0.88	0.379	0.977
	3	23.41	7.659	–0.177	0.172	–1.03	0.304	0.975
6_1	1	24.30	7.689	0.733	0.148	4.95	0.000	0.979
	2	23.61	7.281	0.047	0.138	0.34	0.737	0.979
	3	23.18	7.575	–0.416	0.127	–3.29	0.001	0.986
6_2	1	23.72	7.536	0.151	0.123	1.23	0.222	0.985
	2	23.54	7.232	–0.030	0.114	–0.27	0.790	0.986
	3	23.77	8.074	0.182	0.176	1.03	0.303	0.977
6_3	1	23.34	7.157	–0.227	0.104	–2.18	0.031	0.988
	2	23.48	7.271	–0.092	0.129	–0.71	0.478	0.982
	3	23.59	7.703	–0.003	0.130	–0.02	0.982	0.986
8_1	1	24.04	7.568	0.470	0.113	4.17	0.000	0.988
	2	23.53	7.185	–0.041	0.100	–0.41	0.682	0.989
	3	23.42	7.723	–0.169	0.110	–1.54	0.126	0.990
8_2	1	23.58	7.368	0.016	0.089	0.18	0.861	0.992
	2	23.51	7.254	–0.061	0.100	–0.61	0.542	0.989
	3	23.63	7.805	0.039	0.116	0.34	0.738	0.989
10	1	23.87	7.425	0.304	0.087	3.49	0.001	0.992
	2	23.51	7.214	–0.058	0.095	–0.62	0.539	0.990
	3	23.40	7.625	–0.191	0.093	–2.06	0.042	0.993
H_{SUUN}	1	23.35	7.164	–0.214	0.029	–7.32	0.000	0.999
	2	23.48	7.182	–0.092	0.036	–2.55	0.012	0.999
	3	23.35	7.465	–0.244	0.038	–6.45	0.000	0.999
H_{PAD}	1	23.51	7.213	–0.053	0.029	–1.85	0.067	0.999
	2	23.60	7.268	0.031	0.027	1.18	0.242	0.999
	3	23.46	7.561	–0.129	0.024	–5.38	0.000	0.999

Rezultati preskušnje so v preglednici 5. Tudi v tej preglednici so poleg rezultatov za AB metodo prikazani še rezultati preskušnje za višinomer in za padomer Suunto.

S teodolitom dobljeno povprečje je 23.57 in *SD* 7.278 pri *N*=115 za merilca 1 in 2 ter 23.59 in *SD* 7.541 pri *N*=100 za merilca 3.

Glede na manjše število značilnih razlik pri AB metodi bi lahko napačno sklepali, da je ta metoda izmere zanesljivejša od trigonometrijske. Seveda to ne drži, kajti tudi velike absolutne razlike med povprečji zaradi precej večjih standardnih napak tu niso značilne, medtem ko so pri trigonometrijski metodi že majhne in za prakso nepomembne razlike statistično značilne.

V preglednici 5 podane t-vrednosti za preskušnjo značilnosti razlik med povprečji višin po metodi parov so izračunane po enačbi:

$$t = (\bar{H}_{AB} - \bar{H}_T)/SE_{Dif}$$

$\bar{H}_{AB} = \sum H_{AB}/N$ ... povprečje višin, izmerjenih po AB metodi

$\bar{H}_T = \sum H_T/N$ ... povprečje višin, izmerjenih s teodolitom

SE_{Dif} ... standardna napaka razlike povprečij, ki je zračunana kot:

$$SE_{Dif} = SD_{HAB-HT}/\sqrt{N}$$

SD_{HAB-HT} ... standardni odklon razlik višin, ali:

$$SD_{HAB-HT} = \sqrt{(SD^2_{HAB} + SD^2_{HT} - 2 * r * SD_{HAB} * SD_{HT})}$$

r ... koeficient korelacije med H_{AB} in H_T)

Za preizkus metode na prisotnost sistematične napake sama preskušnja značilnosti razlik med povprečji ni dovolj, kajti morebitne korelacije med razliko in višino, ki je znak biasa, s tem še ne odkrijemo. Potrebna je še preskušnja regresijskega koeficienta b v regresijski enačbi $H_{AB} = a + b * H_T$. Gre za preskušnjo ničelne hipoteze, po kateri je b=1 oziroma H_0: (1-b)=0.

T–vrednosti so izračunane po enačbi:

$t = (1-b)/S_b \quad S_b = \sqrt{((\sum D^2/(N-2))/(N * SD^2_{HT}))}$

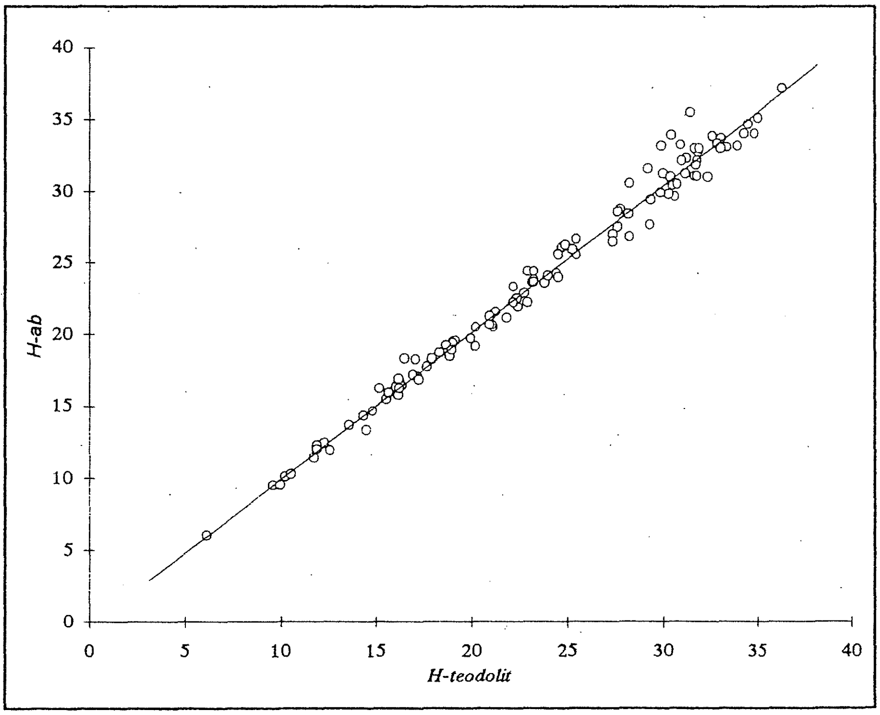
$\sum D^2 = \sum H^2_{AB} - 2a * \sum H_{AB} + 2ab * \sum H_T - 2b * \sum H_T * H_{AB} + na^2 + b^{2*} \sum H^2_T$

Če je b=1 pomeni, da ni nikakršne korelacije med razliko višin in višino oziroma varianca odklonov od regresijske premice ni odvisna od višine. V enačbi (H_{AB}–H_T) = a+b*H_T je v tem primeru vrednost b=0 in zato tudi r=0.

Podobno kot pri preskušnji značilnosti razlik med povprečji po metodi parov, je tudi tu nekaj primerov značilnih, pri čemer ni izjema niti višinomer. Gre pa predvsem za razlike med merilci in zato zaradi teh nekaj značilnih razlik metodi še ne moremo pripisati sistematične napake.

Pri ocenjevanju skladnosti AB metode s trigonometrijsko je treba opozoriti še na en mogoč vzrok neskladja. Namreč, iz grafikona porazdelitve – disperzije točk okrog regresijske premice (grafikon 2) je razvidno, da je pri AB metodi nekaj velikih odklonov pri večjih višinah dreves. Krivdo za nje lahko pripišemo izmeri s teodolitom, če so bila drevesa nagnjena, kajti v tem primeru dobimo po AB metodi pravo, po trigonometrijski metodi pa napačno višino drevesa. Metodo AB izmere bi lahko izvrednotili korektno samo tako, da bi resnično višino drevesa ugotovili s posekom.

Grafikon 2: Korelacijski grafikon višin (Merilec 1)



Preglednica 6: Preskušnja metode AB na sistematično napako (bias) z ničelno hipotezo H_0: (1-b)=0

AB [m]	Mer	$H_{AB}=a+b*H_T$ a	b	(1-b)	S_b	t	P
5_1	1	−0.150	1.04178	−0.04178	0.0253	−1.653	0.101
	2	−0.019	1.00501	−0.00501	0.0215	−0.233	0.816
	3	−0.807	1.03060	−0.03060	0.0230	−1.360	0.177
5_2	1	−0.531	1.01771	−0.01771	0.0196	−0.903	0.369
	2	0.111	0.98989	0.01011	0.0202	0.501	0.618
	3	0.065	0.98974	0.01026	0.0230	0.446	0.656
6_1	1	−0.373	1.04691	−0.04691	0.0203	−2.312	0.023
	2	0.257	0.99109	0.00891	0.0194	0.460	0.646
	3	−0.188	0.99033	0.00967	0.0169	0.571	0.569
6_2	1	−0.603	1.03198	−0.03198	0.0170	−1.885	0.062
	2	0.183	0.99096	0.00904	0.0159	0.568	0.571
	3	−0.899	1.04585	−0.04585	0.0231	−1.981	0.051
6_3	1	0.177	0.98286	0.01714	0.0145	1.181	0.240
	2	0.090	0.99225	0.00775	0.0181	0.427	0.670
	3	−0.162	1.00673	−0.00673	0.0174	−0.378	0.700
8_1	1	−0.457	1.03934	−0.03934	0.0153	−2.563	0.012
	2	0.248	0.98774	0.01226	0.0140	0.877	0.382
	3	−0.494	1.01377	0.01377	0.0146	−0.942	0.348
8_2	1	−0.356	1.01575	−0.01575	0.0124	−1.269	0.207
	2	0.003	0.99725	0.00275	0.0140	0.195	0.845
	3	−0.520	1.02370	−0.02370	0.0154	−1.543	0.126
10	1	−0.267	1.02425	−0.02425	0.0120	−2.021	0.046
	2	0.107	0.99298	0.00702	0.0132	0.530	0.597
	3	−0.276	1.00358	−0.00358	0.0124	−0.289	0.773
SUUN	1	−0.093	0.99502	0.00498	0.0041	1.225	0.223
	2	−0.021	0.99699	0.00301	0.0050	0.598	0.551
	3	0.024	0.98864	0.01136	0.0049	2.300	0.024

Po prvih izkušnjah in opravljeni statistični analizi je mogoče sklepati, da AB metoda nima sistematične napake. Ob pazljivi izmeri in dovolj dolgi daljici *l* dobimo dobro in zanesljivo oceno višine. V primerjavi s trigonometrijsko metodo je manj natančna, kar se vidi iz velikosti standardnega odklona, po zanesljivosti pa je s trigonometrijsko povsem primerljiva. Pri izmeri višine nagnjenih dreves bi imela lahko prednost pred drugimi metodami izmere.

Za končno oceno uporabnosti AB metode izmere bo treba opraviti še nove preizkuse. To velja še zlasti za merjenja višine dreves na pobočjih, ki jih mi nismo opravili v tolikšnem številu, da bi jih lahko statistično izvrednotili.

5 DRUGE METODE IZMERE BREZ ODMERJANJA RAZDALJE L

V nadaljevanju bomo prikazali še dve metodi izmere višine, ki bi ju lahko uporabljali samo na pobočjih, pa še to s pogojem, da bi dobro prestali preizkus natančnosti in zanesljivosti. Tega preizkusa nismo opravili, tako da bomo podali samo teoretični prikaz.

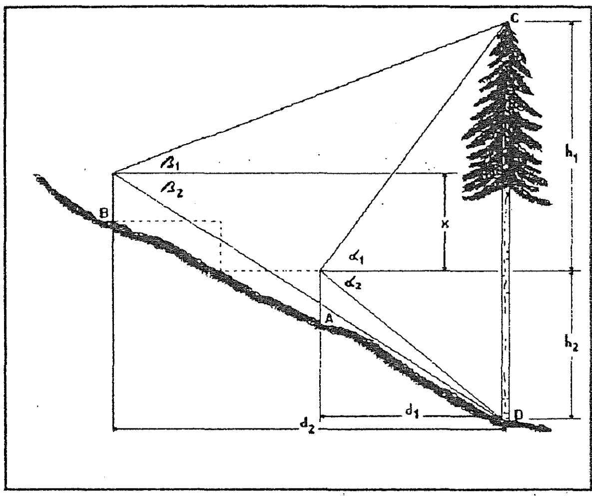
5.1 Metoda X – metoda dveh stojišč

Metodo dveh stojišč bi bilo mogoče uporabljati samo na pobočjih, ker temelji na višinski razliki med stojiščema A in B, ki bi morala biti za uspešno rabo čim večja. Sicer pa je ta metoda podobna AB metodi, le da je smer AB tu poljubna. Višinska razlika $x=B-A$, je n-kratna očesna višina merilca. Je neke vrste nadomestilo za letev.

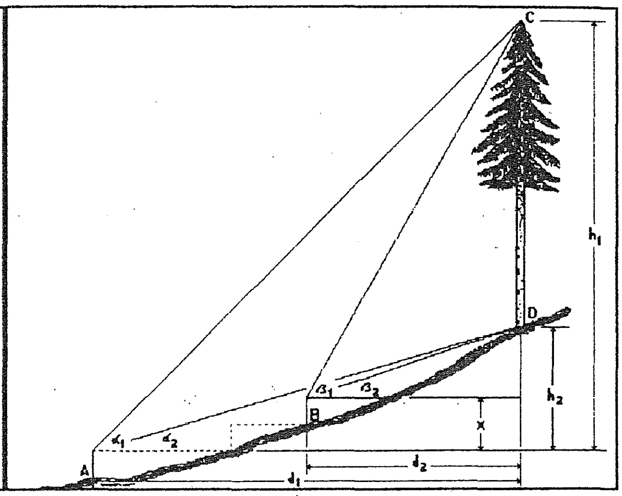
Višinsko razliko med stojiščema A in B lahko določimo na geodetski - postopični način, za kar moramo imeti pripravo za horizontalno viziranje. Tej zahtevi zadosti že običajni padomer, zato določanje te razlike ne bi smelo biti poseben problem.

Kot smo že omenili, je položaj stojišč glede na smer poljuben. Obe stojišči sta lahko v enaki ali pa v različni oddaljenosti od drevesa. Edini pogoj je, da je višinska razlika med stojiščema znana in po možnosti čim večja ($2*h_m$ ali več).

Slika 22: Izmera višine drevesa z zgornje strani



Slika 23: Izmera višine drevesa s spodnje strani



Slika 22: $H = x * (\mathrm{tg}\alpha_1 + \mathrm{tg}\alpha_2) * (\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\beta_2) / (\mathrm{tg}\alpha_1 * \mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\beta_1 * \mathrm{tg}\alpha_2)$

Sliia 23: $H = x * (\mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\beta_1) * (\mathrm{tg}\alpha_1 - \mathrm{tg}\alpha_2) / (\mathrm{tg}\alpha_1 * \mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\beta_1 * \mathrm{tg}\alpha_2)$

Potek izračuna h_1 in h_2 za prvo enačbo (slika 22) je takle:

$\mathrm{tg}\alpha_1 = h_1 / d_1$; $h_1 / \mathrm{tg}\alpha_1 = d_1$

$$h_1 = h_2 * \mathrm{tg}\alpha_1 / \mathrm{tg}\alpha_2 \qquad (*)$$

$\mathrm{tg}\alpha_2 = h_2 / d_1$; $h_2 / \mathrm{tg}\alpha_2 = d_1$

$\mathrm{tg}\beta_1 = (h_1 - x) / d_2$; $(h_1 - x) / \mathrm{tg}\beta_1 = d_2$

$$h_1 = (h_2 + x) * \mathrm{tg}\beta_1 / \mathrm{tg}\beta_2 + x \qquad (**)$$

$\mathrm{tg}\beta_2 = (h_2 + x) / d_2$; $(h_2 + x) / \mathrm{tg}\beta_2 = d_2$

Iz enačb (∗) in (∗∗) dobimo enačbo za h_2 v obliki:

$$h_2 = x * \mathrm{tg}\alpha_2 * (\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\beta_2) / (\mathrm{tg}\alpha_1 * \mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\beta_1 * \mathrm{tg}\alpha_2) \qquad (5.1.1)$$

Če upoštevamo, da je $h_1 = h_2 * \mathrm{tg}\alpha_1 / \mathrm{tg}\alpha_2$, dobimo:

$$h_1 = x * \mathrm{tg}\alpha_1 * (\mathrm{tg}\alpha_1 + \mathrm{tg}\beta_2) / (\mathrm{tg}\alpha_1 * \mathrm{tg}\beta_2 - \mathrm{tg}\beta_1 * \mathrm{tg}\alpha_2) \qquad (5.1.2)$$

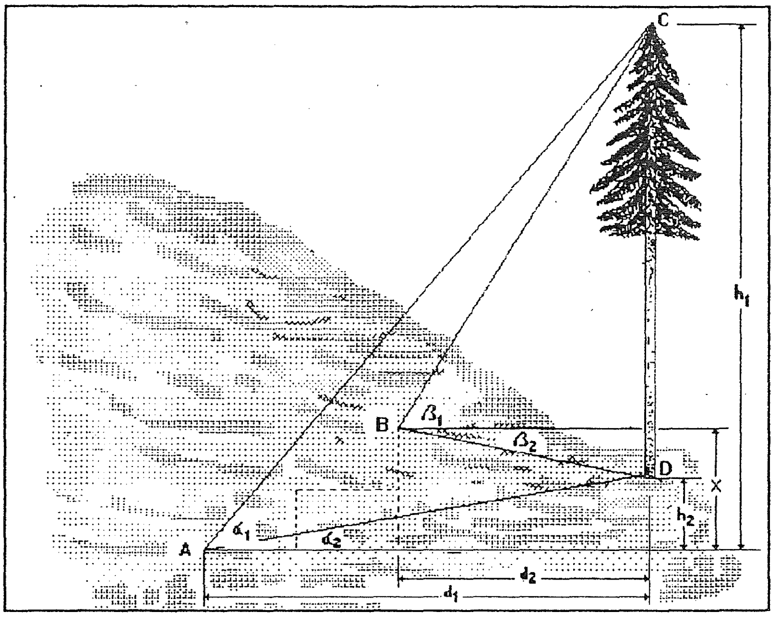
Iz slike 22 je razvidno, da je višina drevesa vsota obeh višin, torej

$$H=h_1+h_2=x*(\text{tg}\alpha_1+\text{tg}\alpha_2)*(\text{tg}\beta_1+\text{tg}\beta_2)/(\text{tg}\alpha_1*\text{tg}\beta_2-\text{tg}\beta_1*\text{tg}\alpha_2)$$

Potek izračuna h_1 in h_2 za izmero s spodnje strani (slika 23) je enak, zato ga ne bomo prikazali. Tu je višina drevesa razlika višin ($H=h_1-h_2$).

Na koncu si oglejmo še primer, ko je ena od horizontalnih vizur pod, druga pa nad vznožjem drevesa.

Slika 24: Izmera višine pri vmesnem položaju stojišč

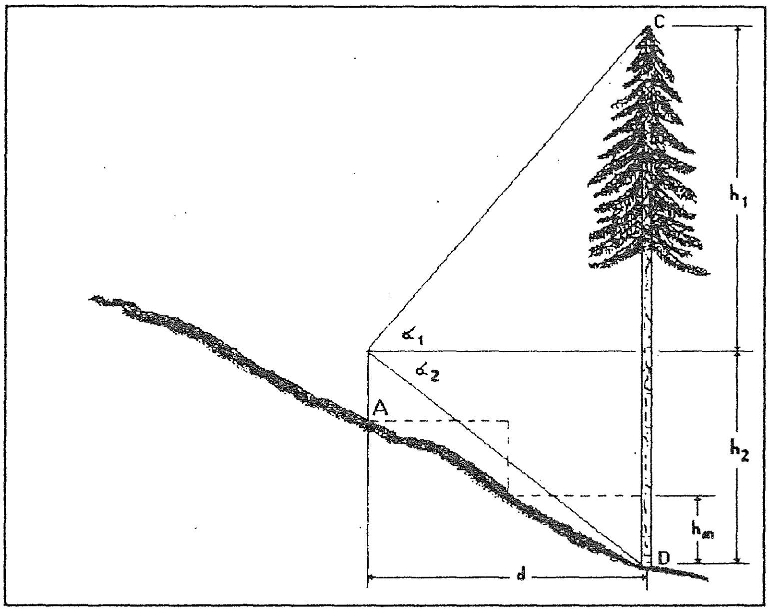


$$H=x*(\text{tg}\beta_1+\text{tg}\beta_2)*(\text{tg}\alpha_1-\text{tg}\alpha_2)/(\text{tg}\alpha_1*\text{tg}\beta_2+\text{tg}\beta_1*\text{tg}\alpha_2)$$

5.2 Metoda A – metoda enega stojišča

Tudi ta način izmere je mogoče uporabiti samo na pobočju. Razlika od prejšnjega je v tem, da začnemo z določanjem horizontalne vizure (očesne višine merilca h_m) pri vznožju drevesa in se postopično dvignemo po pobočju vsaj za dve očesni višini. Na tako dobljenem stojišču nato izmerimo oba vertikalna kota in s tem je izmera končana. Preostane nam samo še izračun višine na osnovi znane postopično dobljene višine in velikosti vertikalnih kotov.

Slika 25: Izmera višine drevesa z enega stojišča



$$H=h_2*(1+\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2)$$

ali

$$H=n*h_m*(1+\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2)$$

Iz slike 25 zlahka ugotovimo, da je:

$\text{tg}\alpha_1=h_1/\text{d}$; $h_1/\text{tg}\alpha_1=\text{d}$

$\text{tg}\alpha_2=h_2/\text{d}$: $h_2/\text{tg}\alpha_2=\text{d}$ $(h_2=n*h_m)$

Torej je $h_1/\text{tg}\alpha_1=h_2/\text{tg}\alpha_2$; $h_1=h_2*\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2=n*h_m*\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2$

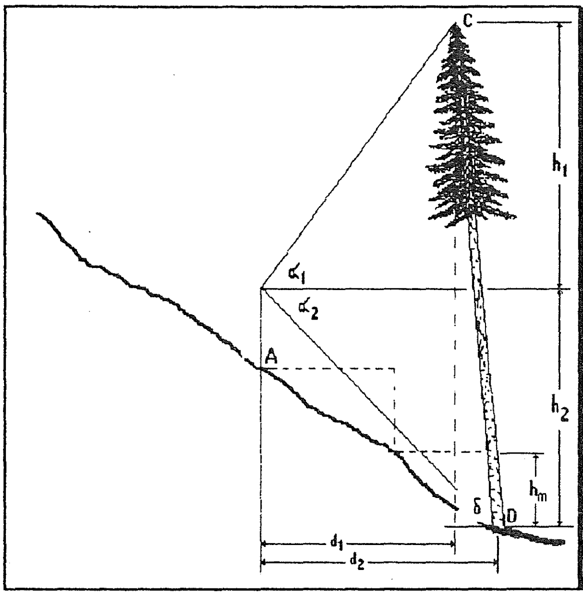
Višina drevesa je vsota obeh višin $H=h_1+h_2$ ali:

$H=h_1+h_2=n*h_m*\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2+n*h_m=n*h_m*(1+\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2)$

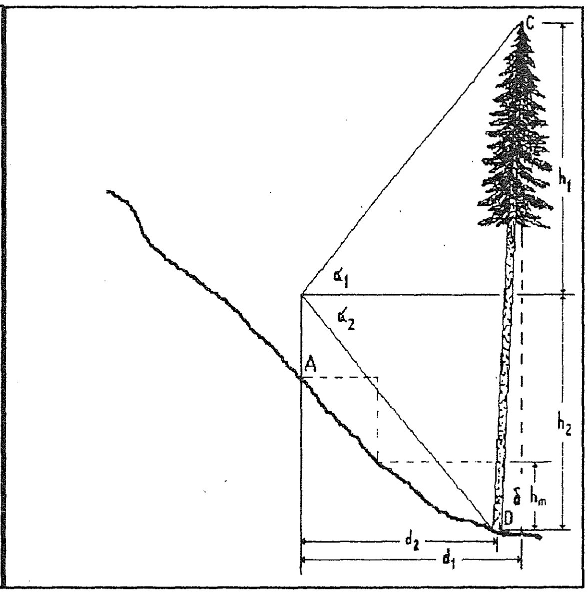
5.3 Izmera nagnjenih dreves z metodo enega stojišča

Za izračun višine nagnjenega drevesa po metodi enega stojišča je treba imeti izmerjen še naklonski kot drevesa δ. Oglejmo si oba primera glede na smer naklona drevesa.

Slika 26: Drevo nagnjeno navzgor



Slika 27: Drevo nagnjeno navzdol



Slika 26: $H = h_1 + h_2 = n * h_m * (1 + tg\alpha_1 * (tg\delta - tg\alpha_2) / (tg\alpha_1 + tg\delta))$

Slika 27: $H = h_1 + h_2 = n * h_m * (1 + tg\alpha_1 * (tg\delta - tg\alpha_2) / (tg\delta - tg\alpha_1))$

Do ene od zgornjih enačb (slika 26) smo prišli takole:

$ctg\alpha_1 = (d_1 - d_2) / h_1$; $h_1 * ctg\alpha_1 = d_1 - d_2$ (*)

$ctg\delta = d_2 / (h_1 + h_2)$; $(h_1 + h_2) * ctg\delta = d_2$ (**)

Enačbi (*) in (**) seštejemo:

$h_1 * ctg\alpha_1 + h_1 * ctg\delta + h_2 * ctg\delta = d_1$ (***)

in, $ctg\alpha_2 = d_1 / h_2$; $h_2 * ctg\alpha_2 = d_1$ (****)
Od enačbe (***) odštejemo enačbo (****):

$h_1 * (ctg\alpha_1 + ctg\delta) = h_2 * (ctg\alpha_2 - ctg\delta)$; $h_1 = h_2 * (ctg\alpha_2 - ctg\delta) / (ctg\alpha_1 + ctg\delta)$

Z zamenjavo ctg s tg dobimo: $h_1 = h_2 * (tg\delta - tg\alpha_2) / (tg\alpha_1 + tg\delta)$

Z upoštevanjem dejstva, da je $h_2=n*h_m$ in $H=h_1+h_2$, dobimo končno enačbo (Slika 26). Na enak način smo dobili tudi enačbo za sliko 27.

Opisani način ugotavljanja višine je od vseh prikazanih načinov navidezno najenostavnejši. Vprašanje pa je, koliko merilčevih višin bi bilo potrebno odmeriti, in kako natančno, da bi dobili zanesljivo oceno višine. Preizkus, ki ga bo treba opraviti, bo dal odgovor tudi na to vprašanje. Dotlej pa ima metoda zgolj teoretično vrednost, tako kot še nekatere druge, ki še niso dočakale praktičnega preizkusa.

6 POVZETEK IN SKLEPI

Višina drevesa je poleg premera najpogosteje ugotavljana linearna velikost na področju dendrometrije. Za izmero višine so bili v preteklosti izdelani različni pripomočki in instrumenti ter skladno s tem uporabljane različne metode izmere. Danes je v rabi skoraj izključno samo en - trigonometrijski način izmere. S tem je izginila tudi prejšnja pestrost naprav za izmero.

Opisane nove metode izmere višine (AB, X in A metoda) bi lahko prav tako lahko uvrstili med trigonometrijske, čeprav vsebujejo tudi elemente podobnostnega načela izmere. Podobnostno načelo se kaže zlasti v zmanjšani natančnosti izmere. Iz rezultatov preizkusa AB metode na ravnini je razvidno, da je standardni odklon razlik med H_{AB} in H_T (referenčno višino) še pri največji daljici AB=10 m približno trikrat večji od razlik med H_{SUUNTO} in H_T. (0.93:0.31 pri Mer 1, 1.01:0.39 pri Mer 2 in 0.93:0.38 pri Mer 3) Pri krajših razdaljah je ta razlika še veliko večja. Standardni odklon razlik med H_{SUUNTO} in H_T, ki smo ga dobili v naši raziskavi pri posameznih merilcih (0.31, 0.39 in 0.38) je nekoliko manjši od odklona, ki ga navaja Brickel (Brickel, 1976) za nekatere podobne višinomere (Abney level 0.54, Haga altimeter 0.58, Blume-Leiss 0.59, Engineer's hypsometer 0.49, Spiegelrelaskop 0.46, in Barr-Stroud dendrometer 0.51). Glede na te podatke je odklon pri AB metodi še vedno vsaj dvakrat večji.

Če bi z AB metodo izmere želeli dobiti dobre ocene višine, bi morala biti razdalja AB vsaj 1/4 višine drevesa, podobno kot pri metodah izmere s pomočjo letve (Christen, Bruce, Kramer). Napaka izmere je tem večja, čim manjša je razlika med kotoma β_1 in α_1 oziroma β_2 in α_2. To pa je v primeru kratke razdalje AB ali pa pri večji oddaljenosti merilca od drevesa. Izračun višine po enačbi, ki ima v imenovalcu razliko β_2 in α_2, je zato nezanesljiv (to velja predvsem za izmero pri horizontalni legi daljice AB).

Med razliko višin (H_{AB}–H_T) in višino H_T smo ugotovili rahlo povezavo, vendar ne tolikšno, da bi metodi zaradi tega lahko pripisali sistematično napako. Tistih nekaj značilnih razlik iz preskušnje sistematične napake gre bolj na račun razlik med merilci kot pa na račun metode same.

AB in druge nove metode izmere višine se po natančnosti ocen ne morejo kosati z gozdarjem najbolj znano trigonometrijsko metodo, zato bi v praksi prišle v poštev predvsem kot alternativne v primerih, kadar bi imeli z običajnim načinom izmere težave pri odmerjanju razdalje od merilca do drevesa (slaba vidnost vznožja drevesa, nezanesljiva naprava za optično odmerjanje razdalje ...). Dalje v primeru težje dostopnosti do drevesa, pri izmeri nagnjenih dreves in pa povsod tam, kjer se lahko zadovoljimo z manj natančno oceno višine. Poleg tega bi bila uporaba metod dveh stojišč (AB in X metoda) mogoča predvsem v redkejših sestojih.

Za uspešno in zanesljivo izmero po AB metodi bi morali upoštevati nekaj bistvenih zahtev. Prvič, daljica AB naj bo dolga vsaj 1/4 višine drevesa. Drugič, za merjenje vertikalnih kotov je treba imeti padomer, s katerim je mogoče meriti velike kote (tudi prek 80°). Skala mora biti dobro vidna in razdelba mora omogočati zanesljivo cenitev vmesnih vrednosti. Padomer Suunto zadošča vsem tem pogojem. Tretjič, če bi se želeli izogniti grobim napakam, bi morali višino drevesa izračunati sproti in ne šele doma.

Pri uporabi metode dveh in enega stojišča (izmera na osnovi mnogokratnika očesne višine merilca - $n*h_m$) je treba paziti predvsem na kar se da natančno postopično določanje h_m. Če nam to uspe, potem ni razloga, da ne bi dobili dobre ocene višine. S praktičnim preizkusom bo treba še ugotoviti vrednost mnogokratnika n. Glede na izkušnje z AB metodo bi morala biti vrednost n vsaj 3, pri manjših višinah pa 2.

Za dokončno oceno uporabnosti opisanih metod izmere bi morali opraviti še več preizkusov, posebno na pobočjih. Vprašanje pa je, ali so te metode za prakso sploh še zanimive? Nadaljnji razvoj na področju merjenja višin dreves bo šel verjetno v smer laserskega odmerjanja razdalj in uporabe padomera. S tem bodo postale doslej uporabljane metode, ki zahtevajo odmerjanje vnaprej določene razdalje med merilcem in drevesom, neracionalne. V preteklosti so bili že opuščeni različni načini izmere višine in pripomočki za izmero in kaj lahko se zgodi, da bo enaka usoda kmalu doletela celo današnje višinomere.

SUMMARY

AB and other new methods of height measurement cannot compete with the trigonometry method most known to the foresters. From the results of testing AB methods on the level the standard deviation of differences is seen between HAB and HT (reference height) approx. three times bigger from the differences between H_{SUUNTO} and HT. This is valid for the distance AB=10m. At shorter distances the difference is even bigger. If we wished get good estimations of the height the distance AB should be at least 1/4 of tree height as at the measured methods by ladder (Christen Bruce, Kramer). The mistake of measurement is is bigger the smaller difference is between the ankles (β_1 and α_1 or $\beta_2$or α_2). This is in case of short distance AB or at bigger distance of measurer from the tree.The calculation of height by equation which has the difference β_2 and α_2 in denominator is thus unreliable (this is valid first of all for measurement at horizontal position of straight line AB). Between the difference of heights (H_{ab} - H_T) and the height (H_T) the slight connection was noticed but not such that we could assign the systematic mistake to the method because of this. Those some typical differences from the testing of the systematic mistake are valid more because of the measurement differences as of the method itself. The described methods of measurement would come into the consideration especially as alternative in examples to have the trouble with the ordinary way of measurement of the distance from the measurer to the tree (bad visibility of tree' s roots, unrealiable set for optically measuring off the distance...) Further in case of hard accessibility to the tree at the measuring of leant trees and everywhere there where we can satisfy with less precisely estimation of height. Beside this could be the method use of both standings (AB and X method) possible above all in infrequent structures. Some essential facts should be considered for successful and reliable measurement by method AB. Firstly the straight line AB shall be long at least 1/4 of the tree height. Secondly it is necessary to have clinometer for measuring of vertical ankles which makes possible to measure the

big ankles (also over 80).The scale must be seen well and the division must possible the reliable estimation of intermediate value. Clinometer Suunto is sufficient to all conditions. Thirdly to avoid the rough mistakes the tree height should be measured simultaneously and not only at home. With the using of the method of one or two standings (the measurement on the base of polygon of eye-height meausrer -$n*h_m$) it is necessary the precise gradual determination $n*h_m$. In case it is reached there is no reason to get the good estimation of the height. The value of the n will be needed to to find out by practical course. Regarding the experience with AB method the value n should be 3, at lower heights 2. For ultimately estimation of using described methods of measurement should be necessary to do more testing, especially on slopes. The question which appears is if these methods are still interesting for the professional work. The further development on the field of the tree height measurement will be directed to the laser measuring off distances and using the clinometer. By used methods which require the measuring off in advance determined distances between the meausrer and the tree will become non-economical.In the past different ways of height measurement and instruments for measuring have been already given up and it can happen the similar with present hypsometers.

Zahvala

Zahvaljujem se prof. dr. A. Cedilniku (Biotehniška fakulteta v Ljubljani) za pregled članka, za vsebinske popravke nekaterih enačb ter za napotke pri oblikovanju enačb. Pri terenskih meritvah sta mi pomagala sinova Jurij in Bojan Puhek. Tudi njima se iskreno zahvaljujem, še posebno Juriju za tehnično pomoč pri pripravi slik in preglednic.

VIRI

BRICKELL, J. E., 1976. Bias and Precision of the Barr and Stroud Dendrometer under Field conditions. – USDA Forest Service Research Paper INT-186, 46 str.

HUSCH, B., 1963. Forest Mensuration and Statistics. – Ronald Press, New York - 474 str.

HUSCH, B., MILLER, C. I., BEERS, T. W., 1976. Forest Mensuration.– John Willey & Sons, New York - 410 str.

KORF, V., in sod., 1972. Dendrometrie. – Statni zemedelske nakladatelstvi, Praha - 371 str.

KRAMER, H., AKCA, A., 1982. Leitfaden fur Dendrometrie und Bestandesinventur. – J. D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt a. M. - 251 str.

LEVAKOVIĆ, A., 1922. Dendrometrija. – Zagreb - 356 str.

MEYER, A. R., 1953. Forest Mensuration. – Peens Valley Publishers, Inc, Pensilvania - 357 str.

PARDE', J., 1961. Dendrometrie. – Imprimerie Louis-Jean Gap - 350 str.