



Jouko Laasasenaho



Jyrki Koivuniemi



Timo Melkas



Minna Rätty

Jouko Laasasenaho, Jyrki Koivuniemi, Timo Melkas
ja Minna Rätty

Puuston mittaus etäisyyden- ja kulmanmittauslaitteella

Laasasenaho, J., Koivuniemi, J., Melkas, T. & Rätty, M. 2002. Puuston mittaus etäisyyden- ja kulmanmittauslaitteella. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 493–497.

Artikkelissa käsitellään uuden mittauslaitteen tarkkuutta puiden läpimitan mittauksessa ja sen tarjoamia sovellusmahdollisuuksia metsänmittaukseen ja metsäsuunnitteluun. Laitekehittelyn tavoitteena on tehostaa metsänmittausta ja tarjota uusia mahdollisuuksia selvittää puuston tilavuutta ja puutavaralajirakennetta entistä tarkemmin. Kehitteillä oleva mittauslaite muistuttaa relaskooppiä. Laite koostuu laseretäisyysmittarista, vakioetäisyydellä olevasta säädettävästä relaskoopin hahlostasta, elektronisesta kompassista ja kaltevuusmittarista. Laite mahdollistaa puiden tunnistuksen ja sijainnin mittaamisen koealan keskipisteestä käymättä puiden luona. Tutkimuksen laadinta-ajankohtana laitteesta oli käytössä toinen prototyyppi. Laitteella saavutettava tarkkuus läpimitan mittauksessa riippuu selvästi mittausetäisyydestä. Noin kolmen metrin etäisyydellä puusta rinnankorkeusläpimitan mittausten hajonta oli esitutkimuksen mukaan keskimäärin 6,8 mm ja 12 metrin etäisyydeltä 15,8 mm. Laite mahdollistaa runkolukusarjan mittaamisen tehokkaasti ja mittauksen tarkkuus voidaan arvioida. Parhaimmillaan laite tulee olemaan järeissä ja taloudellisesti arvokkaissa puustoissa, joissa näkyvyys on hyvä.

Asiasanat: metsänarviointi, relaskooppi, rinnankorkeusläpimitta, laser, mittauslaite, mittaus-tarkkuus

Yhteystiedot: Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Sähköposti jouko.laasasenaho@helsinki.fi

Hyväksytty 4.9.2002

I Johdanto

Metsäsuunnittelu on kehittynyt Suomessa viimeisten vuosien aikana paikkatietojärjestelmien ansiosta kustannustehokkaammaksi ja helposti ajan tasalla pidettäväksi järjestelmäksi. NykYTEKNIikka mahdollistaa laskennan ja tiedonvälityksen tehostamisen lisäksi myös maastomittausten kehittämisen. Uusien mittausvälineiden kehittäminen on jäänyt kuitenkin hyvin vähäiseksi. Laserteknologiaa hyödyntäviä laitteita on kehitetty varsinkin USA:ssa (Carr 1992, 1996), mutta laitteiden hinta (Skovsgaard ym. 1998) ja niiden tehottomuus (esim. Parker 1999) ovat olleet esteinä laitteiden leviämislle käytäntöön.

Kuvioittaisella arvioinnilla hankittujen inventointitietojen ongelma on niiden luotettavuus. Nykyisellään tietojen luotettavuus on hyvin kirjavaa, eikä siitä osata antaa kovinkaan täsmällisiä tietoja. Tietojen keräämisessä ei ole yleisesti hyväksytyjä tarkkoja standardeja ja siksi tietojen luotettavuus on tietojen keräämiseen liittyvistä subjektiivisistä tekijöistä sekä kohdemetsien luonteesta johtuen hyvin vaihtelevaa. Kuviokohtaisten arvioiden luotettavuus tiedetään karkella tasolla, mutta eri tutkimuksissa saadut tulokset vaihtelevat. Esimerkiksi tilavuuden keskivirheen on todettu vaihtelevan kuvioittain 15–30 prosentin välillä (Poso 1983, Laasasenaho ja Päivinen 1986).



Kuva 1. Testauksessa käytetty mittauslaite. Laitteen runkoon on vakioetäisyydelle kiinnitetty hahlo, jonka leveyttä voidaan säätää. Hahlon alapuolella on laseretäisyysmittari. Rungon keskiosassa on prosessointiyksikkö ja näyttö sekä sen alapuolella kompassi ja kaltevuusanturi.

Inventointituloksille olisi saatava tavoitetarkkuus ja inventointiin myös yleisesti hyväksytyt standardit. Tulosten tarkkuuden selvittäminen vaatii kuitenkin enemmän mittauksia kuin nykyisin tehdään ja siksi uusien tehokkaiden mittausvälineiden saanti on tärkeää. Uutta teknologiaa edustaa tässä mm. lasermittaus, elektroninen kompassi, satelliittipaikannus ja perusmittaustulosten automaattinen laskenta ja tietojen tallennus.

Konkreettinen kehittämiskohde metsänmittaukseen on mittauslaite, jonka kehittämistä ovat tukemassa kaikki keskeiset metsäsuunnittelua tekevät organisaatiot. Laitteen käytännön kehittämisen tekee TEKES-projektin ”Metsänmittauksen tehostaminen” puitteissa Masser Oy. Laite mahdollistaa puiden tunnusten ja sijainnin mittaamisen tietyistä pisteistä (koealan keskipiste) käymättä puiden luona. Laitteesta on nyt koekäytössä toinen prototyyppiversio, jota voidaan pitää vasta instrumenttialustana (kuva 1).

Uuden mittauslaitteen komponentit ovat laseretäisyysmittari, vakioetäisyydellä oleva hahlo, jonka leveyttä voidaan säätää sähkömoottorin avulla sekä elektroninen kompassimoduli, johon on liitetty myös kaltevuusanturi. Laitteessa on prosessointiyksikkö, joka laskee sekä pituuden että läpimitan komponenteilta tulevista tiedoista. Laite mittaa suuntia, etäisyyksiä ja kaltevuuskulmia sekä hahlon leveyttä ja laskee sekä tallentaa näistä tiedoista valmiit tulokset puun läpimitalle ja pituudelle. Puiden pituuden mittaus tapahtuu tähtäämällä puun tyvelle ja puun runkoon sekä puun latvaan. Läpimitan mittauksessa tallentuu myös mittauskorkeus. Laitteeseen on kytkettävissä mittauspisteen rekisteröivä GPS-laite, jolloin kaikki mittaukset voidaan aina paikantaa.

Laitteen teknisten vaatimusten kehittämiseksi on sen eri komponenttien tarkkuutta käsitelty yhdessä pro gradu -tutkielmassa (Räty 2001) ja teknisiä ominaisuuksia insinööriopintojen opinnäytetyössä (Uurtamo 2002). Rädyn ja Uurtamon tutkimuksissa laitteesta on käytetty nimitystä laserrelaskooppi. Laitetta on testattu ja tullaan edelleen testaamaan, jotta nähdään sillä saavutettava tarkkuus ja sen tuomat mittauksen tehostamisen mahdollisuudet. Mittaustuloksen tarkkuus riippuu mittaajasta, koska nyt tutkittavassa prototyyppissä mittaaja säätää hahlon leveyden jokaisen puun kohdalla erikseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää

laitteen toisen prototyypin tarkkuus mitattavien suureiden osalta sekä ohjelmistojen toimivuus. Tarkasteltavina muuttujina testauksessa olivat puun rinnankorkeusläpimitta, puun pituus, suunta ja etäisyys mittauspisteestä puuhun sekä mittauskorkeus. Koska aineisto on melko suppea, keskitymme tässä artikkelissa läpimitan mittauksarkkuuden analysointiin. Havaintojen vähyyden vuoksi pituusmittauksen tuloksiin ei tässä puututa.

2 Mittauslaitteen testaus

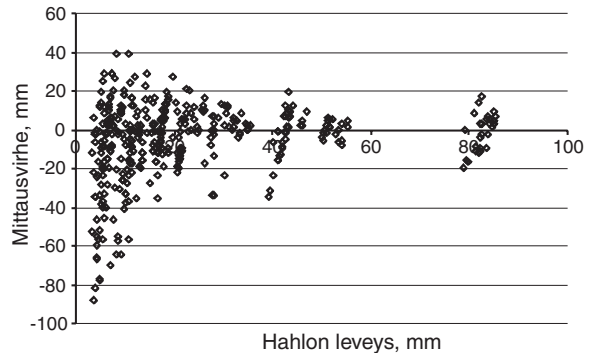
2.1 Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineisto kerättiin Helsingin yliopiston Suitian koetilalla huhtikuussa 2002. Koepuut valittiin siten, että näkyvyys runkoon ja latvaan oli mahdollisimman esteetön. Koeputia oli seitsemän kappaletta ja niiden rinnankorkeusläpimitta vaihteli 7,2 cm:stä 38,5 cm:iin. Testihenkilöitä oli neljä. Läpimittahavainnot mitattiin 277 eli sama henkilö saattoi mitata useampia kertoja saman läpimitan.

Koejärjestelyssä maastoon valmisteltiin mittausrata, jonka kiertämällä voitiin mitata eri kokoisten puiden läpimitat ja pituudet eri mittausetäisyyksiltä. Mittausrata sijaitsi tasaisessa maastossa. Koeputiin tehtiin selkeät merkinnät puun rinnankorkeudelle sekä 6 metrin korkeudelle maalaten. Mittausetäisyyksinä käytettiin 3, 6 ja 12 metriä sekä 100 ja 150 %:n suhteellisia etäisyyksiä puun pituudesta. Kunkin puun mittaukset tehtiin samasta suunnasta. Pituusmittaukset tehtiin suhteellisilta etäisyyksiltä. Suhteelliset etäisyydet määritettiin hypsometrillä tehdyistä pituusmittauksista. Puiden oikeina pidetyt läpimitat mitattiin mittasaksilla ja pituudet mittanauhalla puiden kaadon jälkeen.

2.2 Tulokset

Rinnankorkeusläpimitan mittaaminen laitteella onnistuu lähietäisyyksiltä hyvin (taulukko 1). Mittauksarkkuus on riippuvainen mittausetäisyydestä. Mittausetäisyyden kasvaessa kolmesta metristä 12 metriin suureni hajonta 6,8 mm:stä 15,8 mm:iin. Puun pituuden (16,6–26,8 m) etäisyydellä puusta



Kuva 2. Rinnankorkeusläpimitan mittausvirheen (laitteella mitatun ja mittasaksilla mitatun läpimitan erotus) riippuvuus hahlon leveydestä.

läpimittamittausten hajonta oli keskimäärin 27,9 mm. Suurimmilla puilla mittausetäisyyden kasvaessa havaittiin lievää aliarviota läpimitan mittauksessa (100 %:n suhteellinen etäisyys)

Mittaajien välillä ei havaittu selkeitä eroja, mutta tämäntyyppisten laitteiden käytössä tulos on riippuvainen mittaajasta. Virheen mahdollisuus kasvaa, kun hahlon leveys pienenee (kuva 2), ts. hajonta on selvästi suurempi kauempaa mitattaessa. Myös harhaa syntyy helpommin kauempaa mitattaessa. Koska hahlon etäisyys on vakio (71,7 cm) mittaajan silmästä, voidaan kuvan 2 avulla päätellä, että relaskoopikertoimen ollessa yli 10, saadaan tarkimmat läpimitan mittauksen tulokset laitteella.

3 Uuden tekniikan mahdollisuudet

Laitteen ansiosta ei puiden läpimittojen mittauksessa olla enää sidottuja tiettyihin mittauskorkeuksiin, vaan läpimitat voidaan mitata korkeuksilta, jotka nähdään parhaiten tai jotka johtavat tarkimpaan rungon tilavuusestimaattiin. Metsässä puiden oksikkuus ja alikasvos peittävät aika usein rungon rinnankorkeudelta, mutta hieman rinnankorkeuden ylä- tai alapuolella runko olisi näkyvässä. Muodostamalla runkokäyrä mitattujen läpimittojen ja ennustetun puun pituuden avulla voidaan rungon läpimitta estimoida mille korkeudelle tahansa. Tarkin estimaatti

Taulukko 1. Rinnankorkeusläpimitan ($d_{1,3}$, mm) mittaustarkkuus eri mittausetäisyyksiltä (n = havaintojen lukumäärä, \bar{x} = havaintojen keskiarvo, s = havaintojen keskijajonta, max, min = havaintojen ääriarvot)

Tunnusluku	Puun nro (d (mm), h (m))							Yht.
	1 (72, 5,3)	2 (152, 16,6)	3 (248, 24,0)	4 (364, 26,8)	5 (208, 21,6)	6 (385, 24,3)	7 (225, 22,0)	
Mittausetäisyys 3 m								
n	8	16	16	12	12	15	–	79
\bar{x}	73,1	152,5	246,9	380,8	211,4	377,1	–	249,8
s	5,8	5,0	4,2	4,8	3,5	7,3	–	6,8
Harha	1,1	0,5	–1,1	6,8	3,4	–7,9	–	0,0
Max	85	160	254	391	217	389	–	–
Min	65	138	240	374	206	365	–	–
Mittausetäisyys 6 m								
n	7	13	12	7	6	18	8	71
\bar{x}	77,9	159,2	248,2	380,7	210,2	376,4	232,0	255,6
s	11,5	9,7	8,1	8,6	7,5	13,1	6,5	11,6
Harha	5,9	7,2	0,2	6,7	2,2	–8,6	7,0	1,4
Max	96	179	261	393	219	397	241	–
Min	63	141	230	367	198	350	223	–
Mittausetäisyys 12 m								
n	9	9	8	6	3	18	4	57
\bar{x}	78,3	166,8	236,6	376,0	210,3	377,5	232,3	258,1
s	13,9	11,1	15,7	11,1	9,9	12,7	23,1	15,8
Harha	6,3	14,8	–11,4	2,0	2,3	–7,5	7,3	0,2
Max	101	191	263	395	217	405	254	–
Min	60	151	212	362	199	363	203	–
Mittausetäisyys 100%¹								
n	–	10	8	7	3	17	4	50
\bar{x}	–	154,3	203,5	348,4	184,3	376,1	242,5	272,1
s	–	21,3	25,2	16,8	25,7	23,7	23,1	27,9
Harha	–	2,3	–44,5	–25,6	–23,7	–8,9	17,5	–13,2
Max	–	181	239	377	214	412	264	–
Min	–	105	170	319	168	320	210	–

¹ = läpimitan mittaus on tehty puun pituuden etäisyydeltä puusta.

runkotilavuudelle saataisiin, jos rungon läpimitta mitattaisiin n. 30 %:n suhteelliselta korkeudelta (Laasasenaho 1982). Laitteen avulla tukkipuun päättymiskorkeus on helposti mitattavissa ja siten tukkipuun tilavuus nopeasti laskettavissa.

Koealan ja kuvion runkolukusarja, puuston tilavuus ja tukkipuuosuus ovat estimoitavissa jo maastossa puumalleilla ilman jakaumamalleja, jos koealan jokaisen puun rinnankorkeusläpimitta voidaan mitata tehokkaasti. Myös puuston kehityksen ennusteet tarkentuvat mitattujen runkolukusarjojen avulla. Laite tarjoaa uusia sovellusmahdollisuuksia koealan ja metsikön rakenteen arviointiin ja jopa puuston käsittelyhistorian ottamiseen huomioon puuston kasvun laskennassa. Puiden ryhmittäisyyttä

ja harvennustarvetta voidaan arvioida puiden sijainti- ja latvuksien pituustiedoista.

Kuvion puuston arvioinnissa relaskoopikoealan relaskoopikerroin ja ympyräkiealan säde ovat valittavissa vapaasti. Laitteen lopullinen mittaussnopeus ja kuvion puuston ominaisuudet ratkaisevat, kuinka paljon puita kannattaa mitata. Koealan puustotunnusten mittaustarkkuus voidaan arvioida, jos mittaaja kokemuksesta tietää puutunnusten mittaustarkkuutensa (mittaustulosten hajonnan) laitteella.

Laitteen nykyisen prototyypin etäisyysmittarin ominaisuudet eivät vielä riitä esimerkiksi kuvien rajojen kartoittamiseen maastossa, mutta tavoitteena on, että laitteella voidaan esim. kuvion kulmapis-

teisiin etäisyyksiä ja suuntia mittaamalla kartoittaa kuvioiden rajoja pienipiirteisestikin kiertämättä kuvion rajoja ympäri satelliittipaikantimen kanssa. Yksityiskohtaisemman kuvioinnin lisäksi koalojen ja mitattujen puiden sijainnin tunteminen mahdollista ilma- ja satelliittikuvien hyödyntämisen entistä paremmin metsäalueen puuston arvioinnissa. Mikäli uudella tekniikalla kerätyt kuviotiedot tallennettaisiin tietopankkiin, saataisiin nopeasti kerätyksi tietoa, jota voitaisiin hyödyntää metsien inventoinnissa monella tavalla.

Parhaimmillaan laite tulee olemaan järeissä ja taloudellisesti arvokkaissa puustoissa, joissa näkyvyys on hyvä. Laitteen tehokasta käyttöä rajoittaa monessa tapauksessa puiden oksikkuus ja alikasvos. Nuorissa harventamattomissa ja oksikkaissa metsäkoissa laitetta ei kannata käyttää. Edellä käsiteltyjen mittaus- ja inventointitekniikoiden lisäksi laitteen käyttökelpoisuuden tulee ratkaisemaan laitteen keveys ja kätevyys metsässä, tietojen tallennus- ja peruslaskentaohjelmien ominaisuudet, kytkennät metsäsuunnittelujärjestelmiin ja tietysti hinta.

Kiitokset

Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksella on panostettu eri projektien kautta vuodesta 1997 suunnittelun vaatimien tietojen mittausmenetelmien kehittämiseen, tiedon hyödyntämiseen ja suunnittelun tehostamiseen paikkatietojärjestelmien kehittämisen avulla. Metsänmittauksen tehostaminen – TEKES-tutkimushanke teki mahdolliseksi uuden mittalaitteen kehittämisen. Hankkeeseen osallistuvat tasasuuruisin panoksin Metsähallitus, Metsäliitto, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio,

Metsäteho Oy, StoraEnso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja pienemmällä osuudella Suunto Oy. Hanke on yritysryhmähanke ja sitä koordinoi Metsäteho Oy. Mittauslaitteen käytettävyyttä tutkii metsät. yo. Jouni Kalliovirta, joka tekee aiheesta pro gradu -tutkielmaa Helsingin yliopiston Metsävarojen käytön laitokselle. Masser Oy, jossa laitteen kehittäminen tapahtuu, on kiinteässä yhteistyössä eri komponenttien toimittajien kanssa ja laitoksen tutkijoihin. Kiitokset Teknologian kehittämiskeskuksesta ja kaikille edellä mainituille tahoille innostuneesta yhteistyöstä hankkeen parissa.

Kirjallisuus

- Carr, B. 1992. Using laser technology for forestry and engineering applications. *The Compiler* 10(4): 5–16.
- 1996. Using the Criterin 400 and Impulse 200 laser instruments to accurately measure trees. *The Compiler* 14: 6–12.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- & Päivinen, R. 1986. Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta. *Folia Forestalia* 664. 19 s.
- Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. *Silva Fennica* 17(4): 313–349.
- Rätty, M. 2001. Laserrelaskoopin virheanalyysi. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 67 s.
- Skovsgaard, J.P., Johannsen, V.K. & Vanclay J.K. 1998. Accuracy and precision of two dendrometers. *Forestry* 71(2): 131–139.
- Uurtamo, A. 2002. Laserrelaskooppi. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne. Sähkötekniikan koulutusohjelma. 55+18 s.

8 viitettä