

Erkki Pesonen

Kaksi uutta sovellusta rungon läpimittojen seurantaan

Kertamittauksista muutosten seurantaan

Puuston kasvun ja kunnon seuranta maastossa on perustunut silmämääräisesti tehtyihin havaintoihin ja rungon läpimitan ja puun pituuden kertamittauksiin. Näillä perinteisillä kokeellisilla menetelmillä on kerätty pysyviltä koealoilta tutkimusaineistoja jo yli viisikymmentä vuotta. Tutkimustyössä käytettyjen mittavälineiden tarkkuus ja ergonomia ovat aikojen kuluessa parantuneet, mutta perinteisten mittasaksien rakenne ei ole muuttunut juuri lainkaan.

Käsivarainen läpimitan mittaaminen soveltuu ennen kaikkea rinnankorkeudelta tapahtuvaan työskentelyyn. Puuston runkomuodon ja tilavuuden laskemiseksi tärkeän yläläpimitan mittaaminen on osoittautunut perinteisillä mittasaksilla vaaralliseksi ja työvaikeudeltaan hankalaksi. Tästä syystä sen mittaamista vähennettiin merkittävästi pysyvillä koealoilla 90-luvun alussa. Tämän seurauksena runkojen tilavuusmittojen tarkkuus heikkeni useita prosentteja. Uuden yläläpimitan mittalaitteen kehittämisen tarve oli ilmeinen.

Metlan Vantaan tutkimuskeskuksessa panostettiin vuodesta 1993 alkaen yläläpimitan mittalaitteen kehittämiseen. Tuloksena saatiin uuden tyyppinen mittalaite, ”Pesos-sakset”, jonka viimeistelty prototyyppi valmistui 1995. Sitä on paranneltu edelleen ja keväällä 1996 pysyvillä koealoilla mitataan neljällä viimeistellyllä laitteella yläläpimitat.

Pysyvien koealojen seurannan ohella puuston kas-

vun ja kunnon jatkuva mittaminen on tullut tärkeäksi kansainväliseksi tutkimusaiheeksi muun muassa kasvihuoneilmiötä analysoidessa. Tutkimustarpeet ovat luoneet haasteita myös mittalaitteiden kehittäjille. Muutoksia tallentavia mittalaitteita on ollut käytössä geologisissa ja meteorologisissa tutkimuksissa jo useita kymmeniä vuosia. Tämän tekniikan soveltaminen puuston mittaukseen on kuitenkin vasta alussa. Tosin jo viime vuosisadan lopussa itävaltalainen Josef Friedrich kehitti mittaustulokset tallentavan kasvupannan (Zuwachsaufograph), mutta laitteen tuotekehitys on ollut hidasta. Vuonna 1995 oli markkinoilla vain yksi kustannuksiltaan kohtuullinen itävaltalainen ”Dendro Dial” -mittalaite. Laitteen huonoja ominaisuuksia olivat huono mittaustarkkuus, suuri koko ja puun runkoa vahingoittava kiinnitystapa, mitkä tekijät otettiin huomioon Metlan laitekehittelyä aloitettaessa vuonna 1992. Kasvupannan kehitystyön tuloksena on saatu käyttöön tarkka automaattiseen mittaustiedon tallennukseen soveltuva laite, jonka valmistuskustannukset ovat kohtuulliset.

Yläläpimitanmittalaite

”Pesos-sakset” välittävät mittaustuloksen radioteitse mittalaitteesta vastaanottimeen. Tällöin mittaajan ei tarvitse kiivetä tikkaita pitkin puuhun, vaan hän voi mitata yläläpimitan puun alta. Mittausta helpottaa vielä se, että laite lähettää jatkuvasti läpimitalukemaa. Tämä mahdollistaa mittalaitteen oikean asennon löytämisen ja puun rungon epäpyöreiden havaitsemisen.

Yläläpimitan mittalaitteessa käytetty menetelmä

Erkki Pesonen toimii tutkijana Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksessa.



Kuva 1. Yläläpimitan mittalaite. Mittalaitteen mittavarret ovat jousikuormitetut. Mittausta suoritettaessa ne puristuvat puun rungon pintaa vasten. Aisojen päissä olevat pyörät helpottavat varsien avautumista, kun aisvoja painetaan runkoa vasten. Kuvat Metla/Erkki Oksanen.

perustuu läpimitan mittaamiseen kahdella yhden-suuntaisella mitta-aisalla. Aisat sijaitsevat niitä kohtisuorasti olevien varsien päissä ja varret on akseloitu samankeskeisesti niin, että aisojen keskinäinen välimatka voidaan mitata varsien kiertymiskulman avulla (kuva 1).

Laitteessa käytetään kulmamittarina tarkkuuskiertopotentiometriä, jolloin kulma pystytään lukemaan sähköisesti sitä varten rakennetulla välineistöllä. Radiovälitteinen tiedonsiirto toimii vielä 40 metrin etäisyydellä. Mittaaminen on mahdollista myös olosuhteissa, kun paikallaan oleva henkilö lukee ilmaisinta mittajaan käyttäessä laitetta noin 30 metrin säteisen ympyrän sisällä.

Laitteen toimintaa suunniteltaessa päädyttiin läpimitan mittaukseen kulmamenetelmällä, koska tällöin laitteen ulkomitat saatiin pieniksi. Käytetystä kulmamenetelmästä johtuen varsien kiertymiskul-

man ja puun läpimitan välinen riippuvuus on sini-
muotoinen. Tästä seuraa, että pieni kulmavirhe ohuessa kohteessa (suuruusluokka $D = 25$ mm) aiheuttaa paljon suuremman virheen läpimitaan kuin pieni kulmavirhe paksuissa kohteissa (suuruusluokka $D = 150$ mm). Jotta käytännön mittauksissa päästäisiin aina vähintään mittaustarkkuuteen ± 1 mm, laite on suunniteltu niin, että sen tekninen mittaustarkkuus ± 1 mm saavutetaan varsien lähtökulmalla (θ_0).

Yläläpimitan mittalaitteen yksinkertaisesta geometrisesta rakenteesta on johdettu laitteen toimintaa kuvaava trigonometrinen ehto:

$$D = 2 (R) \sin (\theta / 2 + \theta_0)$$

Tämä lauseke on ohjelmoitu prosessoriin, joka käsittelee mittalaitteen antaman kulmalukeman ja muuntaa sen rungon läpimitaksi. Jotta mittalaitteen

lähettämä tulos saapuisi vastaanottimeen mahdollisimman häiriöttömänä ja mittalaitteen kuluttama sähköenergia olisi mahdollisimman vähäistä, liitetään mittaustulos kantoaaltoonsa puhtaana AD-muunnettuna viestinä ja kaikki muunnoslaskelmat suoritetaan vasta vastaanotuksessa.

Yläläpimitan mittalaitetta on testattu kentällä kahden vuoden aikana. Seuraavassa on luettelo laitteesta saaduista käyttökokemuksista:

- helppo sijoittaa mittaushaaraan oksistosta huolimatta
- tulosten varmuus on parempi kuin tavanomaisten mittasaksien, koska asteikon lukemavirheet jäävät pois erityisesti kokemattomilta mittaajilta
- tulosten toistettavuus on samaa luokkaa kuin rinnankorkeudella käytettävillä tarkkuusmittasaksilla
- akuston varauskykyä on lisättävä ilmaisimessa
- akuston latausjärjestelmään on asennettava automaattinen valvonta

Esitetyt parannusehdotukset akustoihin on tehty kevään 1996 aikana, mutta kokemuksia kentältä ei vielä ole käytettävissä.

Kasvupanta

Kasvupanta mittaa puun rungon ympäröimän muutoksia. Laitteen rakenneosat ovat teräspanta ja

sen suhteellista pituutta mittaava yksikkö (kuva 2). Laite kiinnitetään puun runkoon pienellä naulalla tai kumipannalla. Teräspanta kiristyy rungon ympäri vakiovoimajousen välityksellä. Jousivoima on alle 3 N jätään selvästi alle 10 N:n kriittisen rajan, jonka ylittävä puristusvoima aiheuttaa jo muutoksia kasvavaan soluksoon.

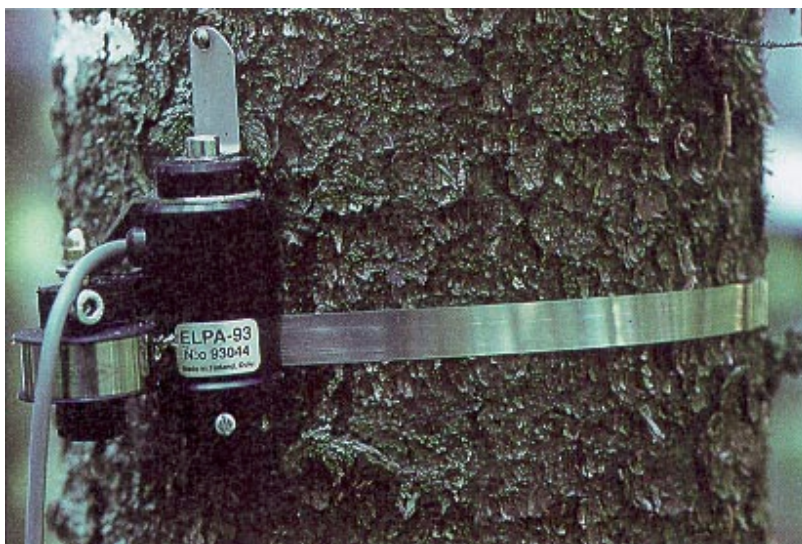
Laite on rakennettu niin, että puun rungon ympäri kierretty teräspanta kulkee kiertopotentiometrin akselin kautta ja kiertää akselia määrän, joka on verrannollinen rungon ympäröimän tapahtuvaan muutokseen. Muutos luetaan automaattisesti data loggerin muistiin määräajoin. Käyttämällä anturina lineaarista tarkkuuspotentiometriä päästään kasvupannalla tekniseen tarkkuuteen 0,1 mm. Tämä vastaa rungon läpimitassa noin 0,03 mm:n teknistä mittaustarkkuutta, mikä on samaa suuruusluokkaa ohuiden putkisolujen kanssa.

Tarkoissa mittauksissa joudutaan käyttämään kasvupannan mittausta kuvaavaa teoreettista mallia, joka on perusmuodossaan

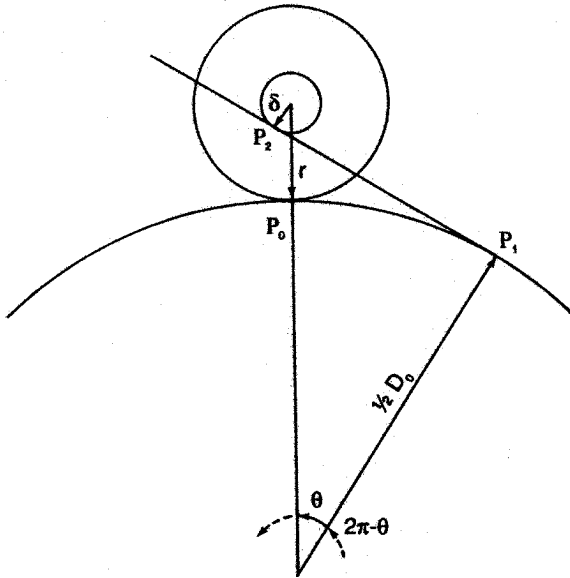
$$S = 2\pi(1/2 D_0) - \theta_0(1/2 D_0) + (1/2 D_0 + \delta)\tan(\theta_0)$$

ja mittaageometriasta saatua ehtoa (kuva 3):

$$\theta_0 = \arccos(1/2 D_0 + \delta) / (1/2 D_0 + r)$$



Kuva 2. Kasvupanta kiinnitetään puun runkoon niin, että teräspanta kiinnityskohdassaan on kohtisuorassa rungon kasvusuuntaan nähden. Laitteen vasemmalla puolella näkyvä kela on vakiovoimajousella kuormitettu, ja se kiristää teräspantaa koko ajan samalla voimalla runkoa vasten. Kuva Erkki Pesonen.



Kuva3. Kasvupannan mittauseroimetria.

- D_0 = puun rungon poikkileikkauksen säde (ympyräaprosimaatio)
- P_0 = kasvupannan rungon ja puun rungon pinnan kosketuspiste
- θ = kulma, jossa kasvupannan rungon sivuamis piste P_0 ja terässpan>pannan kosketuspiste P_1 näkyvät puun rungon keskeltä
- r = kasvupannan vaipan säde
- δ = potentiometrin akselin säde

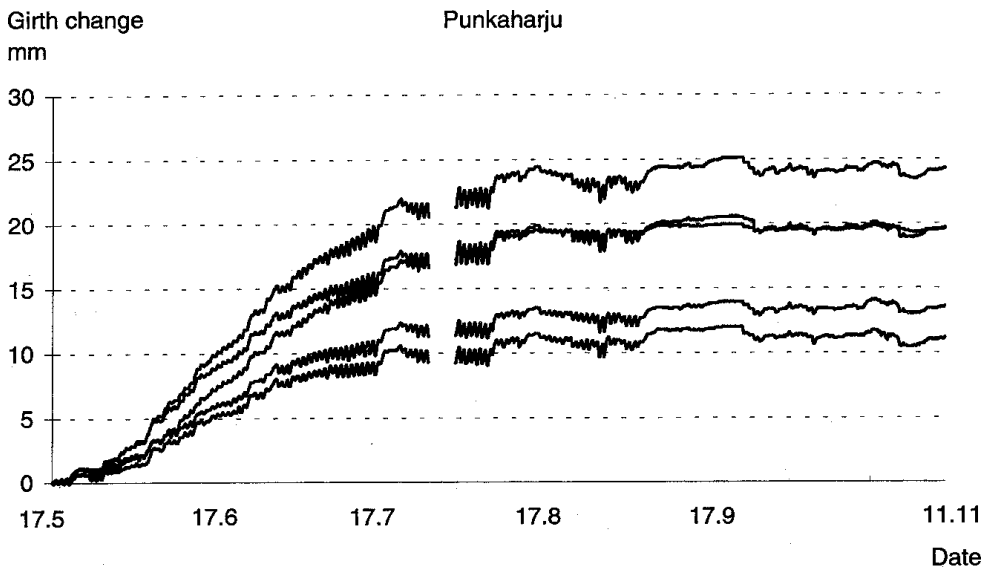
S on terässpan>pannan pituus mitattuna asennuspisteestä p potentiometrin akseliin, D_0 on rungon läpimitta ja δ sekä r ovat laiteparametreja.

Tämä malli perustuu apspan>rosimaatioon, että rungon poikkileikkaus on ympyrän muotoinen. Siitä

aiheutuva virhe (kuusella ja männyllä) on kuitenkin pienempi kuin laitteen mittaustarkkuus.

Kasvupantaa on testattu vuodesta 1994 lähtien sekä Pohjois- että Etelä-Suomessa olevilla koelaloilla. Tyypillinen mittaustulos Punkaharjulta vuodelta 1994 on esitetty kuvassa 4. Mittauskohteena oli 7 kuusta, joiden arvioitu ikä oli noin 50 vuotta.

Punkaharjulla tulokset on tallennettu kerran tunnissa data loggeriin, joten juuristosta imeytyvän ja neulastosta haihtuvan veden vuorokausirytmistä havaitaan kasvukäyrän lyhytjaksoisina muutoksina. Runspan>gon turpoaminen on aamuyöllä maksimissa ja iltapäivällä minimissä. Sateen vaikutus näkyy runspan>gon turpoamisena kohdissa, joissa vuorokausirytmistä joko häviää tai sen amplitudi pienenee oleellisesti. Myös ilman lämpötilan ja suhteellisen kos-



Kuva4. Kasvupannalla Punkaharjun Kattila-ahossa mitattu kuusten vuosikasvu. Käyräspan>stön alkupäässä näkyy roudan sulamisesta aiheutuva runspan>gon turpoaminen. Se tasaantuu pian, ja runspan>gon vuorokautinen turpoaminen ja oheneminen alkavat näkyä mittauksissa. Voimakkaimmillaan ilmiö on heinäkuussa, jolloin ilman suhteellinen kosteus oli alhainen ja vuorokauden keskilämpötila korkea (yli 20 °C). Syksyllä laite on rekisteröinyt sateiden aiheuttamia runspan>kojen turpoamisia.

teuden muutokset näkyvät kuvasta.

Testimittaukset osoittavat, että kasvupanta toimii ympärivuotisesti vähintään kolme vuotta. Satunnaisten haaverien, kuten pihkavuoto tai ilkivalta, korjaaminen on helppoa eikä uuden kasvupannan vaihtaminen viottuneen tilalle aiheuta ongelmia.

Puuston kasvun ja kunnon jatkuvaan seurantaan on vuosi sitten kehitetty telemetrinen järjestelmä, jota testataan kesällä 1996 Tammelassa. Se välittää kasvupantamittauksesta tietoa lähes reaaliajassa

vastaanottavaan tutkimusasemaan. Menetelmä ei rajoita tiedonsiirtoa pelkästään kasvupantamittauksiin, vaan on sovellettavissa mihin tahansa sähköisesti mittaavaan anturiin. Telemetrinen järjestelmän etuna on mahdollisuus seurata mittauksia samanaikaisesti eri tutkimusalueilla jopa yli valtakunnan rajojen. Myös valvonta- ja tulostenkeruukäyntien määrä mitta-alueilla vähenee oleellisesti, mikä alentaa mittausten käyttökuluja ratkaisevasti.