

Menetelmä yksityiskohtaisen runkotiedon tuottamiseksi ja aineiston kuvaus

**Eero Lukkarinen
Sirkka Keskinen
Jari Marjomaa
Olavi Pennanen
Tapio Räsänen**

Metsätehon raportti 45
13.2.1998

Konsortiohanke: A. Ahlström Osakeyhtiö, Aureskoski Oy, Enso Oyj,
Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus,
Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy,
UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy

Suomen Puututkimus Oy ja sen osakkaat

Osoite: PL 367 (Tekniikantie 12)
02151 Espoo

Puhelin: (09) 4354 2022

Telekopio: (09) 466 695

Asiasanat: koepuutieto, runkomalli, sahaus,
sisäoksaisuus

© Metsäteho Oy

Helsinki 1998

SISÄLLYS

	Sivu
ALKUSANAT	3
TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 MAASTOMITTAUKSET	5
2.1 Leimikoiden valinta ja leimikkotason mittaukset	5
2.2 Puiden luku ja laatukoepuiden mittaukset	7
2.3 Sahauskoepuiden valinta ja niiden mittaukset	8
3 SAHAUS JA SAHEIDEN MITTAUS	14
4 KOLMIULOTTEISEN RUNKOTIEDON LUONTI	16
5 MENETELMÄN JA AINEISTON KÄYTTÖ- KELPOISUUS	19
5.1 Menetelmän tarkkuus	19
5.1.1 Ulko-oksien mittaukset	19
5.1.2 Pintaoksien mittaukset	20
5.1.3 Sisäoksien mittaukset	20
5.1.4 Kolmiulotteisen mallin muodostaminen	21
5.2 Menetelmän käyttökelpoisuus	23
5.3 Menetelmän edelleen kehittäminen	23
KIRJALLISUUTTA	25

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty osana Tuotelähtöinen puunhankinta -projektia, jonka omistajina ovat Suomen Puututkimus Oy ja Metsäteho Oy osakkaineen. TEKES on rahoittanut projektia Puun mekaanisen jalostuksen teknologia-ohjelmasta. Projektia on johtanut yhteinen johtoryhmä. Tutkimukset on toteutettu seitsemässä eri osaprojektissa. Aineistojen hankinta on ollut pääosin yhteinen.

Tuotelähtöisessä puunhankinnassa korostuvat teollisuuden asiakaslähtöisyys sekä integroituneen teollisuuden puuraaka-aineen tarkempi prosessiohjaus kannattavuuden mukaan. Tuotelähtöinen puunhankinta -projektissa on kehitetty hakkuukoneryhmän ja varannon ohjauksen toimintamalleja.

Apteerauksen arvoperusteet ja tukkien laatukriteerit -osaprojektissa kehitettiin menetelmä yksityiskohtaisen runkotiedon hankkimiseksi ja kerättiin koe-puuaineisto. Hankkeessa suunniteltiin ja hankittiin tukkien sahaukseen perustuvat simulointiohjelmat. Niillä tehtyjen, pääosin oksaisuuteen perustuvien analyysien tulokset esitellään toisessa raportissa.

Projektissa olivat yhteistyökumppaneina VTT Rakennustekniikka, Teknillinen korkeakoulu, Helsingin yliopiston metsäekologian ja metsävarojen käytön laitokset sekä Neliapila Ohjelmistot Oy.

Helsingissä 13.2.1998

Tekijät

TIIVISTELMÄ

Raportissa kuvataan koepuuaineiston keruumenetelmä. Aineiston keruu on osa oksien ja runkojen kolmiulotteiseen kuvaukseen perustuvaa runkojen ja tukkien sahauksen analysointi- ja hallintamenetelmää. Siinä aineistoa voidaan käyttää uudelleen tarkastelukohteen, esimerkiksi sahatavaraluokituksen muuttuessa. Menetelmä on vaihtoehtoinen koesahauksille.

Koepuuaineistojen keräysmenetelmässä määritellään metsässä mitattavat puusto- ja puutunnukset. Runkojen pinnan ja oksaisuuden mittaamiseen laitteistoja ja ohjelmistoja kehitettiin VTT:ssä hankkeen aikana edelleen. Siellä muodostettiin kustakin rungosta kolmiulotteinen malli, jossa on kuvattuna rungon pinta ja oksat.

Leimikon puustotiedon ja siihen liittyvän koesahauspuutiedon yhdistäminen leimikkokohtaiseksi tulokseksi antaa sahaukseen uusia tarkastelumahdollisuuksia. Erityisesti rungon sahauskelpoisuuden ja -arvon tarkastelu rungon korkeussuunnassa antaa uutta tietoa. Sahatavaralle asetettävien laatuvaatimusten muuttaminen joustavasti on myöskin mahdollista.

Kolmiulotteisesti kuvattuja runkoja on 184 kappaletta. Määrä jäi tavoiteltua pienemmäksi, koska koepuiden mittaus oli työlästä. Erityisesti saheiden oksien mittaus kordinaattipöydässä johtaa korkeisiin aineiston hankintakustannuksiin. Kolmiulotteisen sisäoksatiedon keruumenetelmää tulisikin kehittää ja hakea vaihtoehtoisia mittaustapoja.

1 JOHDANTO

Puuston oksaisuus vaikuttaa sahatavaran laatuun suuresti, erityisesti mäntyyn. Oksaisuuteen vaikuttavat kasvupaikan ominaisuudet, puiden kasvutila ja perimä. Rungon katkonnalla määrätään laadun jakautuminen sahatavaroihin. Puiden ja tukkien ulkoiset laatuominaisuudet antavat hyvän lähtökohdan sahatavaran lopputuotteiden mukaiseen ryhmittelyyn. Ryhmitys vaikeutuu erityisesti tapauksissa, joissa tukkien pituustavoitteiden vuoksi on tarvetta poiketa oksarajojen mukaisesta katkonnasta.

Teknillisessä korkeakoulussa laadittiin sahatavaroille tuotelaatujen mukainen luokittelu, joka perustuu Euroopan eri maissa esitettyihin loppukäyttövaatimuksiin. Sahatavaralaatujen määrä kasvaa tällöin aiemmin käytössä olleeseen laatuluokitteluun verrattuna. Suuren sahatavaralaatujen määrän hallinnan mahdollistaa konenäön hyväksikäyttö sahatavaran lajittelussa. Onkin todennäköistä, että asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöidyt sahatavaran tuotelaadut tulevat lisääntymään.

Koesahaukset ovat olleet tukkikohtaisia ja sahatavaran laatuluokitus on ollut ennalta päätetty. Tällöin laadun muuttuminen tukin ja puun pituussuunnassa on jäänyt epäselväksi. Myös leimikoiden tukkien laatujaakauma-arvioiden tekeminen on ollut epävarmaa apteerausohjeita muutettaessa. Koepuutiedosto, jota voisi käyttää yksityiskohtaisiin apteeraustarkasteluihin, on tähän asti puuttunut. Koepuutiedostoa ja eri käyttötarkoituksen mukaisia sahatavaroitten arvoja hyväksikäyttämällä voidaan verrata puiden apteerausta eri käyttötarkoituksen mukaisiin tukkiluokkiin.

Raportissa esitellään kerätyn aineiston sisältö ja menetelmä kolmiulotteisen runkotiedon tuottamiseen ja hallintaan.

2 MAASTOMITTAUKSET

2.1 Leimikoiden valinta ja leimikkotason mittaukset

Leimikoiden valinta

Tutkimuksen kohteiksi valittiin 16 leimikkoa, joista 14 oli päätehakkuleimikoita. Kahdella leimikolla poistettiin siemenpuut; ne olivat ainoat yhden puulajin leimikot.

Leimikoiden valinnassa huomioitiin:

- sijainti Hakkuukoneryhmän ohjaus- osaprojektin tutkimussahojen hankinta-alueella (Seikku, Varkaus, Vilppula ja Uimaharju)
- leimikon minimikoko 300 m³
- hakkuukoneen mittalaitteen mahdollisuudet runkojen tarkkaan mittaukseen ja standardinmukaisten tiedostojen (STM, PRD) tulostukseen

- laadun vaihtelun korostaminen leimikoiden välillä
- leimikoiden aiemmat metsänhoidolliset toimenpiteet pyrittiin tuntemaan
- sahauskoepuumäärät puulajeittain: mänty 65 % ja kuusi 35%.

Leimikkotason mittaukset

Tutkimuskohteena olevista leimikoista kerättiin tunnistamiseen tarvittavat ja sijainteja kuvaavat perustiedot. Leimikoista rajattiin tutkimuksen kannalta sovelias osa, jolloin huomioon otettiin hakkuutapa, puulajivaltaisuus, pinta-ala (1 – 2 ha) ja puuston tilavuus (300 – 800 m³). Leimikko jaettiin tarvittaessa kasvupaikkaolosuhteiden tai aiemman käsittelyn mukaan ositteisiin, joita saattoi olla enintään viisi. Tutkimusleimikoissa ositteisiin jakoa tarvittiin vain kerran. Ositteiden ja koko leimikon pinta-alat mitattiin tarkasti. Pinta-alat mitattiin ennen ja jälkeen hakkuun.

Leimikoiden sijainti kirjattiin muistiin sadan metrin tarkkuudella yhtenäiskoordinaatein. Lämpösumma ja korkeus merenpinnasta haettiin kartoilta. Leimikon hakkuutapa ja aikaisemmat toimenpiteet selvitettiin ja kirjattiin muistiin, jos ne vain voitiin saada selville. Kullekin ositteelle arvioitiin kehitysluokka, kasvupaikkatyyppi, topografia, kivisyys, maalajiryhmä ja vesitalouden tila. Puustotunnuksista määritettiin puuston jaksoisuus, vallitseva puulaji, valtapuuston ikä ja metsikön laatu. Liitteessä 1 on esimerkki yhdeltä leimikolta kerätyistä tiedoista. Taulukoissa yksi ja kaksi on tiivistelmä tutkimusleimikoiden ominaisuuksista.

Koeleimikot olivat uudistuskypsiä metsiköitä, lukuun ottamatta leimikoita Q ja Z, joissa poistettiin siemenpuut. F-leimikko oli lannoitettu kaksi kertaa, 1985 ja 1990, sekä harvennettu viimeisen kerran 1989.

TAULUKKO 1. Tutkimusleimikoiden metsikkötunnukset.

Leimikko	Kunta	Hakkuutapa	Kasvupaikka	Kivisyys	Vesitalous	Jaksoisuus
A	Leppävirta	Päätihakkuu	MT	Normaali	Normaali	Yksi
B	Leppävirta	Päätihakkuu	MT	Normaali	Normaali	Yksi
C	Joroinen	Siemenpuuhakkuu	VT	Kivinen	Normaali	Kaksi
D	Joroinen	Siemenpuuhakkuu	Mustikkaturvekangas	Normaali	Ojitettu	Yksi
E	Hyvinkää	Siemenpuuhakkuu	VT	Normaali	Normaali	Kaksi
F	Keuruu	Päätihakkuu	MT	Normaali	Normaali	Kaksi
J	Keuruu	Päätihakkuu	VT	Normaali	Normaali	Yksi
K	Äetsä	Siemenpuuhakkuu	MT	Normaali	Normaali	Kaksi
L	Vammala	Päätihakkuu	MT	Normaali	Normaali	Yksi
M	Vammala	Siemenpuuhakkuu	MT	Normaali	Normaali	Yksi
P	Vammala	Siemenpuuhakkuu	MT	Normaali	Normaali	Yksi
Q	Eno	Siemenpuuiden poisto	VT	Normaali	Normaali	Yksi
S	Eno	Päätihakkuu	Mustikkakorpi	Vähäkivinen	Suo	Kaksi
T	Heinävesi	Siemenpuuhakkuu	VT	Normaali	Normaali	Yksi
V	Heinävesi	Siemenpuuhakkuu	MT	Normaali	Normaali	Yksi
Z	Hollola	Siemenpuuiden poisto	VT	Kivinen	Normaali	Yksi

TAULUKKO 2. Tutkimusleimikoiden puustotunnukset.

Lei- mikko	Tilavuus, m ³ /ha	Valtapuus- ton ikä, v	Puulajisuhteet, %			Tukki %	
			Mänty	Kuusi	Muut	Mänty	Kuusi
A	290	90	16	82	2	59	52
B	295	90	6	91	3	50	59
C	251	120	34	60	6	70	69
D	201	110	27	58	15	74	56
E	240	100	79	18	3	70	50
F	316	105	40	56	3	85	76
J	338	105	82	17	1	83	41
K	244	110	51	48	1	88	74
L	337	100	17	78	5	80	74
M	310	100	28	70	2	91	89
P	369	100	30	68	2	88	55
Q	47	110	100	0	0	81	0
S	267	150	45	39	17	54	55
T	296	100	75	15	10	78	53
V	275	100	44	49	7	88	77
Z	117	100	88	0	12	88	0

Muut tietolähteet

Kaikki tutkimusleimikot hakattiin uudehkoilla hakkuukoneilla, jotka siirtävät hakkuukoneiden tiedonsiirtostandardin mukaisia tiedostoja. Leimikoiden hakkuuohjeet ja puutavaralajimäärittelyt, jotka sisältyvät apterauksen ohjaustiedostoon (APT), kerättiin kultakin leimikolta. Jokaisesta leimikolta hakatusta rungosta tallennettiin levykkeelle tarkat runkotiedot (STM). Yhdeltä leimikolta (Z) ei saatu apterauksen ohjaustiedostoa eikä runkotiedostoja, sillä kyseinen mittalaite ei niitä tuottanut. Puutavaralajeittaiset mittaustiedot ja pölkkyjakaumat (PRD) saatiin kaikilta leimikoilta.

Niistä leimikoista, joiden tukit vietiin yhdelle tai korkeintaan kahdelle sahalle, hankittiin myös tukkimittarin tiedot.

Enossa S-leimikolla sahauskoepuista otettiin ytimeistä näyterimat eri korkeuksilta ja eri etäisyyksiltä. Niistä analysoidaan Oy Keskuslaboratorio AB:n kanssa yhteistyössä sellunvalmistukseen vaikuttavia puiden kuitu- ja massaominaisuuksia. Samalta leimikolta tehdään opinnäytetyö kasvuominaisuuksien vaikutuksista runkojen käyttöominaisuuksiin.

2.2 Puiden luku ja laatukoepuiden mittaukset

Leimikon kaikista puista ($d_{1,3} \leq 7$ cm) mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja kirjattiin puulaji. Näiden lukupuiksi kutsuttujen puiden avulla saatiin runkolukusarja leimikolle. Mittaukset tehtiin POMOT-mittasaksilla Metsätehossa laaditulla ohjelmalla. Leimikolle jätetyt siemen-, suojus- ja maisemapuut mitattiin hakkuun jälkeen erillisenä omaan tiedostoonsa.

Leimikon puidenluvun yhteydessä mitattiin ns. laatukoeputa puuston pituuden ja oksarajakorkeuksien saamiseksi. Laatukoeput valittiin KUPO-summainperiaatteella lukupuista. Siinä koepuiden poimintaväli on sidottu puuston pohjapinta-alaan, joten järeillä puilla on suurempi todennäköisyys tulla valituksi koepuuksi. Laatukoeputa otettiin 10 – 100 kpl puulajia kohden leimikon puuston laadullisen vaihtelun mukaisesti.

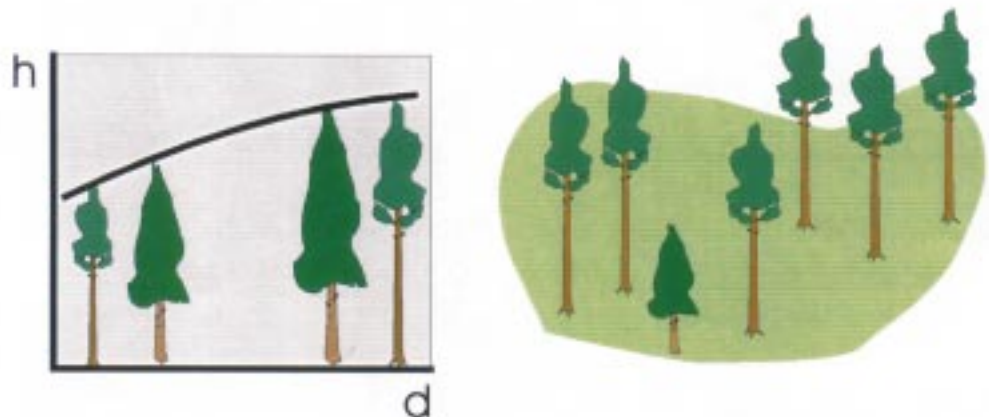
Laatukoeputiksi kelpuutettiin vain tukkikokoiset ($d_{1,3} > 14,5$ cm) männyt ja kuuset. Niistä mitattiin puun pituus, alimman kuolleen oksan korkeus ja elävän latvuksen alaraja. Poikkeuksellisista tai vikaisista tukkirungoista mitattiin myös tukkiosan päättymiskorkeus.

Sahauskoepuut valittiin pääsääntöisesti laatukoeputa.

Luku- ja laatukoeputa lasketut tunnuksat esitellään Metsätehon raportissa 43 ”Puuston ennakkotiedon hankintamenetelmät”.

2.3 Sahauskoepuiden valinta ja niiden mittaukset

Sahauskoepuita poimittiin yhdeksästä tutkimusleimikosta. Näiden joukkoon pyrittiin saamaan mahdollisimman paljon runkojen oksaisuuden vaihtelua.

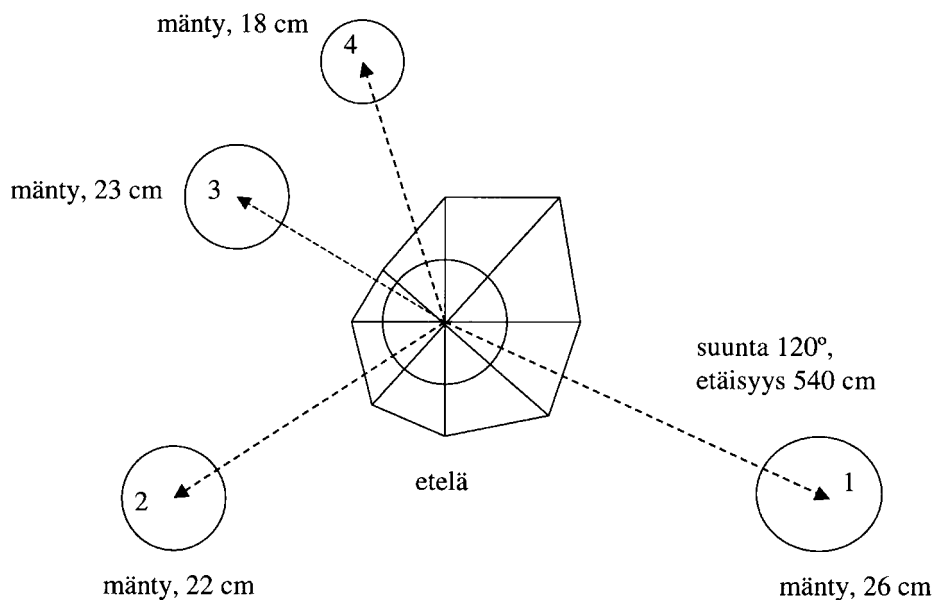


Kuva 1. Sahauskoepuiden valinta ja niiden sijoittuminen leimikolle.

Sahauskoepuita valittiin leimikoittain noin 20 kpl puulajia kohden. Runkolukusarja jaettiin neljään rinnankorkeusläpimittaluokkaan seuraavasti: alle 20,4 cm; 20,5 – 25,4 cm; 25,5 – 30,4 cm ja yli 30,5 cm. Eri läpimittaluokkiin valittiin koepuita leimikon mahdollisuuksien mukaan. Suurimpien mukaan tulleiden koerunkojen maksimiläpimitta tyveltä oli 45 cm sahausrajoitusten vuoksi. Kuhunkin läpimittaluokkaan valittiin 4 – 6 koepuuta. Jos oksaisuuden laatu vaihtelu oli jossakin luokassa suurta, koepuiden määrää lisättiin. Vikaisen (lengot, korot, mutkat tms.) runkojen valintaa vältettiin. Sahauskoepuut valittiin myös tasaisesti koko leimikon alueelta.

Kustakin sahauskoepuusta mitattiin latvuksen leveys siten, että ulompien oksien maahan projisoitu etäisyys mitattiin rungosta pää- ja väli-ilmansuunnissa (8 kpl). Sahauskoepuun latvuksen kasvutilaan vaikuttaneiden lähimpien puiden puulaji ja rinnankorkeuslähimitta kirjattiin muistiin. Niiden sijainti määritettiin ilmansuunnan ja etäisyyden avulla. Lähipuu mitattiin, mikäli sen pituus oli vähintään puolet sahauskoepuun pituudesta.

Sahauskoepuut kaadettiin ja katkottiin viiden metrin tukeiksi. Latvatukki saattoi olla lyhyempikin. Koesahaukseen menevää osaa otettiin 10 – 12 cm:n läpimitaan saakka. Ennen kaatoa määritettiin pohjoissuunta, joka merkittiin rungon tyvelle. Katkonnan yhteydessä se merkittiin myös kunkin tukin tyveen ja latvaan. Sahauskoepuista mitattiin oksat ennen karsintaa ja tallennettiin Husky Hunter-tiedonkeruulaitteeseen, johon laadittiin tallennusohjelmat. Huskyyn kerättiin myös muita runkoa koskevia tunnuksia sekä hakkuumiehen määrittämät katkontakorkeudet. Rungon läpimitat mitattiin ristiinmittauksella pohjois-etelä- ja itä-länsisuuntiin 50 cm:n välein. Läpimitat mitattiin POMOT-saksilla kannolta latvaan saakka. Samalla tallennettiin puun pituus.

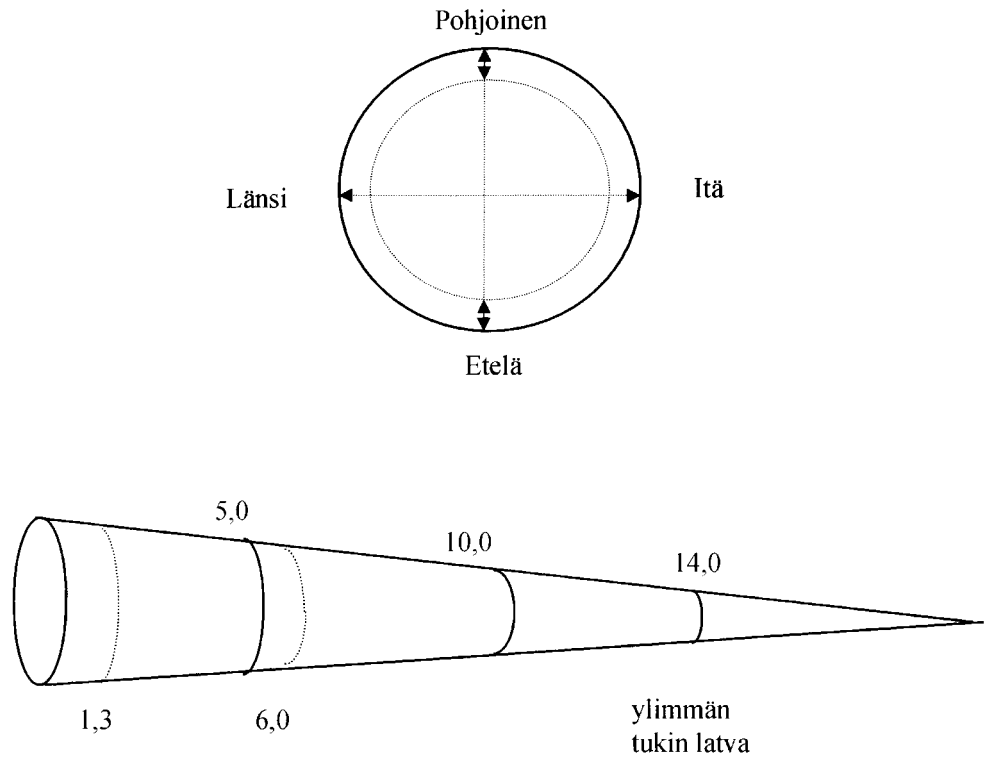


Kuva 2. Esimerkki latvuksen ja lähimpien puiden mittauksesta.

TAULUKKO 3. Sahauskoepuista mitatut tunnuksset.

Tunnus	Mittaustapa
Kannon korkeus	Mittaus puun syntypisteestä eli maanpinnan tasosta kaatoleikkaukseen.
Puun ikä	Lustojen määrä kaatoleikkauksessa.
Rinnankorkeusläpimitta	Ristiinmittaus pohjois-etelä- ja itä-länsisuunnasta 1,3 m:n etäisyydeltä kaatoleikkauksesta.
Pituus	Kaatoleikkauksesta latvaan.
Kuivaoksaraja	Etäisyys kaatoleikkauksesta alimpaan kuivaan tai lahoon oksaan. Kuivanoksan koon alaraja oli pienillä puilla 10 mm ja paksuilla 15 mm.
Elävän latvuksen raja	Etäisyys kaatoleikkauksesta yhtenäisen elävän latvuksen alarajaan. Yksittäisiä, vähintään kahden yläpuolisen kuolleen oksakiehkuran erottamia eläviä oksia ei huomioitu.
Rungon läpimitta	Läpimitat mitattiin ristiinmittauksella 50 cm:n välein koko rungon pituudelta. Läpimitat mitattiin koko rungon pituudelta, pohjois-etelä – ja itä-länsisuuntiin.
Mittauskohta	Läpimitan mittauskohdan etäisyys kaatoleikkauksesta.
Oksa(kiehkura)n sijainti	Kiehkuraan kuuluville oksille merkittiin sama sijaintitieto = mittauskohdan etäisyys kaatoleikkauksesta.
Oksan laatu puussa	Elävä, kuollut, kyhmy, elävä poikaoksa, kuollut poikaoksa.
Oksan laatu tukin ja rungon pinnassa	Tuore, kuiva, laho.
Oksan läpimitat puussa	Mittaussuunta on kohtisuoraan rungon pituusakselia vasten kuoren päältä. Kuusella mitattiin kiehkuran paksuin oksa ja mänyllä kiehkuran paksuimmat oksat laaduittain. Vain yli 10 mm:n oksat huomioitiin.
Oksien lukumäärä	Kiehkuran muiden oksien määrä laskettiin laaduittain.
Kyhmyyn korkeus	Kyhmyyn korkeus, mm. Vain mäntyrungot.
Oksakulma	Mitattujen oksien kulma, astetta.
Oksan suunta	Mitattujen oksien maantieteellinen suuntakulma, astetta.
Vikatyyppi	Koro, tervasroso, laho, mutka, muu.
Vian sijainti	Vian alku- ja loppukohdan sijainti
Vian suuruus	Vian leveys ja syvyys.
Latvusprojektio	Latvuksen leveys, dm. Mitattiin pää- ja väli-ilmansuuntiin. Mittojen perusteella piirrettiin latvusprojektio erilliselle lomakkeelle.

Rungoista mitattiin lisäksi kuorimittarilla kuoren paksuus rinnankorkeudelta, kuudesta metristä ja viimeisen tukin latvasta (kuva 3). Pituuskasvun selvittämiseksi määritettiin oksakiehkuroiden avulla latvasta viimeisten 10:n, 20:n ja 30 vuoden kasvut 10 vuoden jaksoissa.

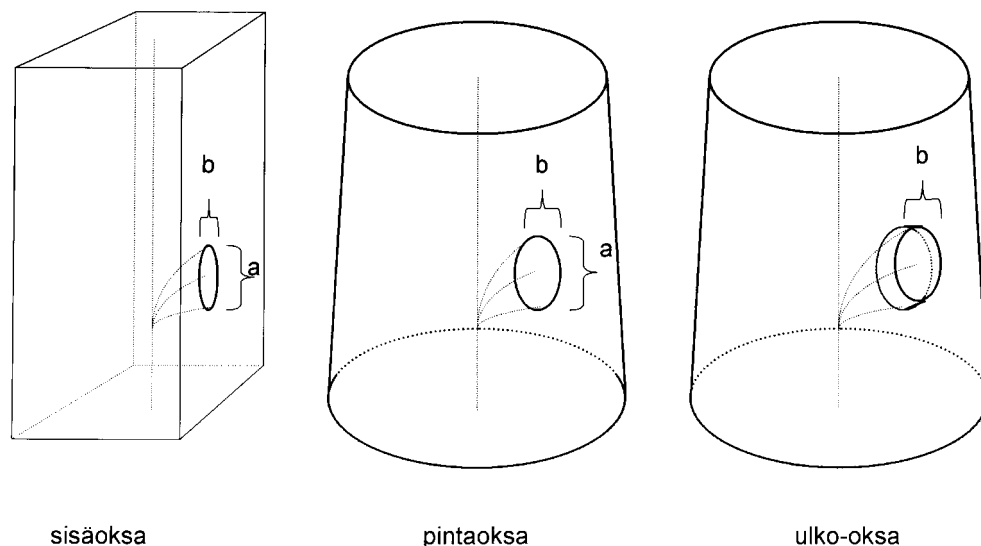


Kuva 3. Kuoren paksuusmittausten ja sädekasvunäytteiden sijoittuminen rungolla sekä tukkien katkontakohdat.

Kuvassa 3 ulompi yhtenäinen viiva kuvaa kuorellista läpimittaa ja sisempi katkoviiva kuoretonta läpimittaa. Alempaan kaavioon on piirretty se, kuinka mittaukset sijaitsevat rungolla, jonka läpimitta on 10 cm 14 metrin korkeudella.

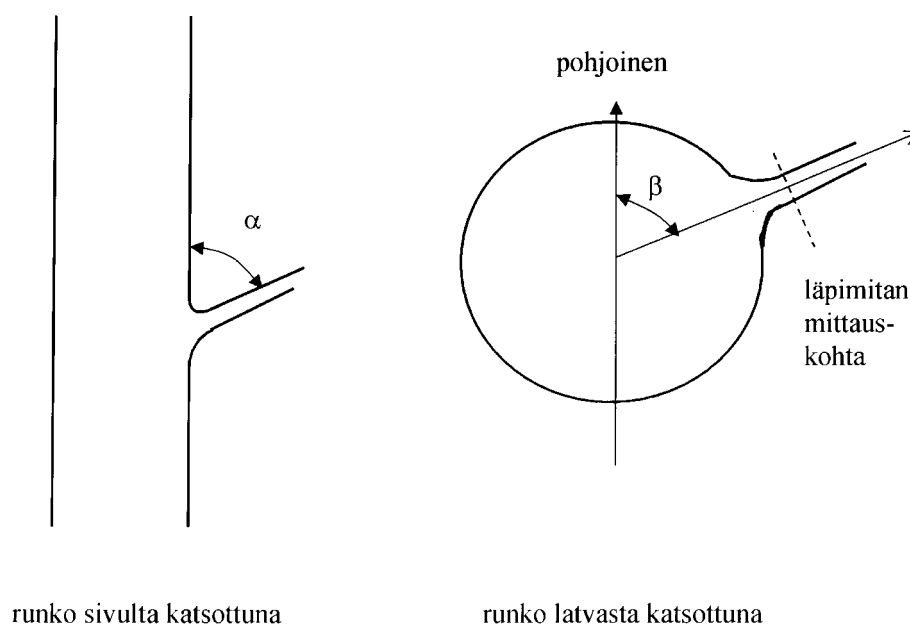
Oksamittaukset

Oksat on mitattu aineistoon kolmesta pinnasta. *Ulko-oksalle* (puu) mitataan kuorellinen läpimitta puun tyveltä latvaan katsoen. Kun runko karsitaan pinnan myötäisesti sama oksa saa nimekseen pintaoksa. *Pintaoksan* läpimitta on mitattu kuten tukkilajittelussakin. Sen lisäksi sille on mitattu pituus rungon suuntaisesti. Mittaus sisältää oksan sydän- ja pintapuun. *Sisäoksat* (useista saheista sama oksa) on mitattu saheiden pinnassa kahteen suuntaan. Menetelmä on sama kuin sahatavaran pinnan oksien mittauksessa.



Kuva 4. Tutkimuksessa käytetyt oksien määrittelyt ja mittaustavat.

Sahauskoepuut karsittiin ensin tapeille ulko-oksien mittaamisen helpottamiseksi. Ulko-oksat mitattiin ennen rungon katkontaa tukeiksi. Ulko-oksien läpimitta mitattiin oksan kauluksen yläpuolelta. Kuusesta mitattiin ainoastaan kunkin kiehkuran maksimioksan tunnuksia, männystä laaduittain (elävä ja kuollut) maksimioksin tunnuksia. Maksimioksin mitattiin läpimitta rungon pituusakselia vastaan kohtisuoraan kuoren päältä. Oksakulma, joka on kuvassa 5 merkitty symbolilla α , mitattiin siten, että latvan kulmaa pidettiin nollana. Siis jos ulko-oksa riippui maata kohden, kuten kuusella joskus, sai



Kuva 5. Ulko-oksien oksakulman ja läpimitan mittaaminen.

kulma arvon 90 – 180°. Maksimioksalle mitattiin myös maantieteellinen suuntakulma, joka on merkitty kuvassa 5 symbolilla β .

Molemmilla puulajeilla luettiin myös kiehkuran muiden oksien lukumäärä oksalaaduittain ja kirjattiin muistiin.

Sahauskoepuita mitattiin maastossa yhteensä 184 kappaletta, joista 124 oli mäntyjä ja 60 kuusia. Pääsääntöisesti viisi metriä pitkiä tukkeja tehtiin 644 kappaletta. Kolmiulotteisiksi rungoiksi saatu aineisto on hiukan pienempi, sillä tukkeja katosi ja särkyi matkalle sahalle. Lisäksi muutaman latvatukin sahaus epäonnistui, ja ne jätettiin pois aineistosta.

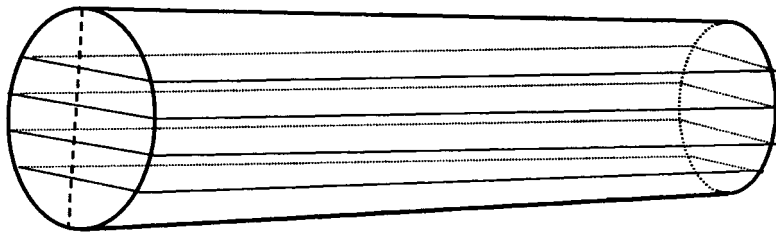
TAULUKKO 4. Sahauskoepuiden lukumäärät leimikoittain.

Leimikko	Rungot	Kuuset	Männyt	Tukit
A	20	16	4	75
C	32	8	24	108
D	27	9	18	87
F	29	9	20	99
J	15	–	15	49
K	15	–	15	53
M	18	18	–	66
S	15	–	15	54
Z	13		13	53
YHTEENSÄ	184	60	124	644

3 SAHAUS JA SAHEIDEN MITTAUS

Puut kuljetettiin metsämittausten jälkeen sahattaviksi. Viiden ensimmäisen leimikon tukit sahattiin Sipoossa Saxas Sågilla ja neljän viimeisen Suomen sahalla Sälinkäällä. Tukit sahattiin latva edellä itä-länsisuuntaan. Toisin sanoen pohjoissuunnan merkki osoitti sahaajasta katsoen oikealle. Ennen sahausta tukin päähän piirrettiin referenssiviiva, jolla saheet voitiin sahausen jälkeen kohdistaa oikein. Yksilöllisellä numerolla merkityt tukit sahattiin läpi sahausrako mukaan lukien 25 mm paksuiksi saheiksi. Saheet numeroitiin edelleen yksikäsitteisesti ja niputettiin alkuperäiseen järjestykseen ja sidottiin.

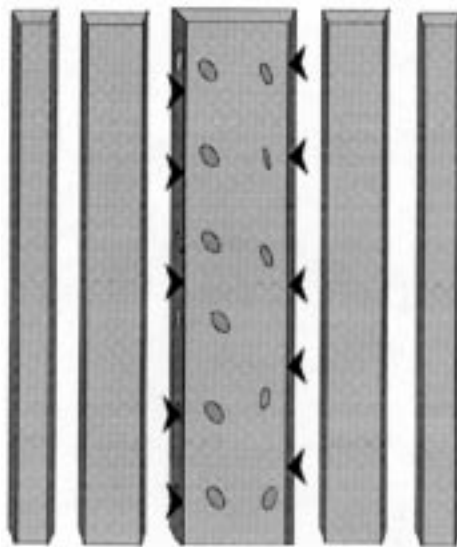
Pohjoinen



Etelä

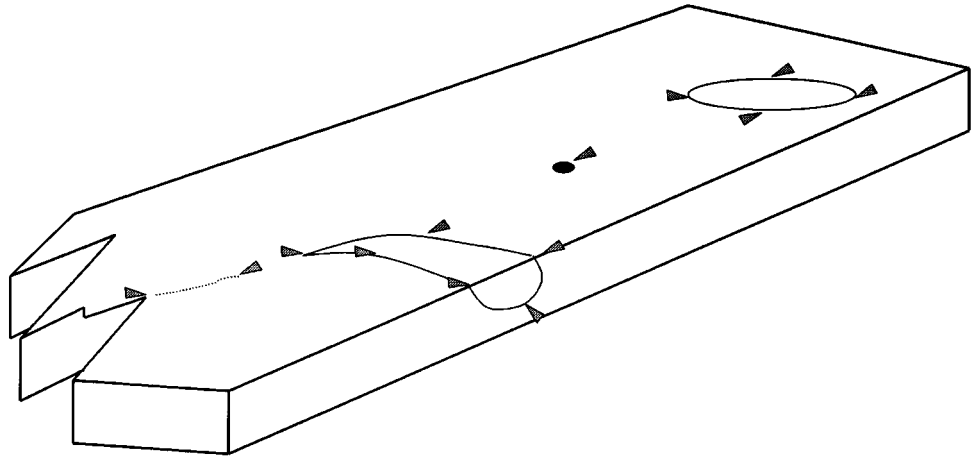
Kuva 6. Tukkien läpisahaus.

Läpisahausuksen jälkeen tukit siirrettiin Otaniemeen VTT:n tiloihin, missä saheiden geometria- ja oksatiedot mitattiin sahe kerrallaan koordinaattipöydässä. Geometriatiedoilla tarkoitettiin saheiden ääriviivojen ja ydinlinjan mitausta kuorettomana ja tukin päähän piirretyn referenssiviivan paikan mittamista kyseisellä saheella.



Kuva 7. Saheiden geometrian mittaus. Esimerkki mittauspisteiden sijoittelusta keskimmaisessä saheessa.

Oksista mitattiin ulommat kohdat Nordisk Trä NT -laadituksen edellyttämällä tavalla (kuva 8). Dimensiot mitattiin sekä saheiden että tukin pinta-saheista (tukin pinnasta) neljällä pisteellä, mikäli oksa oli läpimitaltaan yli 7 mm. Helmioksat, joiden läpimitan arvioitiin olevan alle 7 mm, mitattiin ainoastaan yhdellä pisteellä. Sarvioksat mitattiin viidellä pisteellä ja saheiden pinnoissa olleet oksat usein kolmella pisteellä. Dimensioiden lisäksi kullekin oksalle annettiin laatumääreet, joita olivat tuore, kuiva ja muu (laho- ja kuori-oxsa). Muut viat mitattiin neljällä pisteellä kuten pihkakolo, koro tai kaarnaroso, lyly, laho tai hyönteisvaurio, halkeama ja käsittelyvaurio. Tukin ytimen paikka mitattiin niistä saheista, joissa se näkyi.



Kuva 8. Oksien ja ytimen mittaustapa.

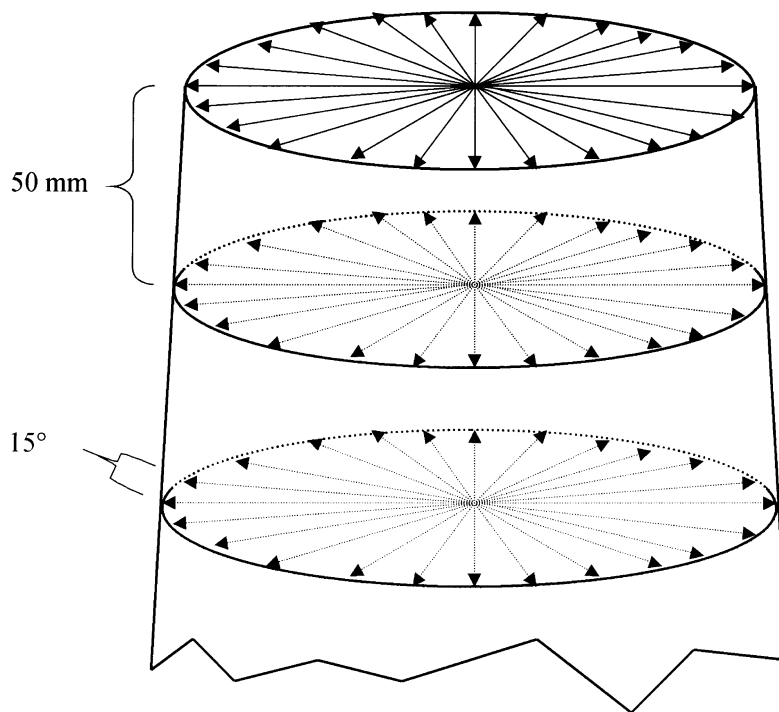
VTT:llä kunkin rungon keskimmäisestä saheesta otettiin lustojen mittausta varten näytepala. Näytepalat sahattiin 1,3:n ja 6,0 metrin korkeuksilta sekä latvatukin latvasta. Koesahauksessa keskimmainen terä pyrittiin kohdistamaan ytimeen, jolloin näytepalassa olisi näkyvissä sekä ydin että itä- ja länsisuuntaiset pinnat.

Lustomittaukset tehtiin Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksella lustonmittausmikroskoopilla, jonka mittaustarkkuus on sadasosamillimetri eli 10 mikrometriä. Kukin näyte mitattiin kahdelta puolelta, pinnasta ytimeen päin edeten. Mittaus tehtiin viiden vuoden jaksoissa. Viimeisen viiden luston jälkeen jäi vähemmän kuin kuusi lustoa mittaamatta. Kyseessä olevat lustot mitattiin yhtenä jaksone ja viimeiseksi mittaukseksi kirjattiin lustojen lukumäärä (1 – 5). Näin saatiin laskettua näytekiekon ikä kullakin korkeudella. Lisäksi mitattiin sydänpuun määrä itä- ja länsisuuntiin; niistä kappaleista, joissa se oli nähtävissä. Mittaus tapahtui samoin pinnasta ytimeen ja mitta-yksikkönä oli kymmenesosamillimetri.

4 KOLMIULOTTEISEN RUNKOTIEDON LUONTI

VTT:llä on saheiden mittaukseen ja käsittelyyn liittyvien ohjelmistojen lisäksi tukkien ja runkojen muodostamisen ohjelmistot. Saheittain tehdyistä mittauksista kootaan ensin tukki ja sen jälkeen tukit liitetään yhteen runkojen aikaansaamiseksi. Tukkien kokoaminen tapahtuu saheiden numeroiden ja referenssiviivan sijainnin avulla. Runkojen kokoaminen tehdään tukkien numeroiden avulla. Tukit sahattiin aina samaan ilmansuuntaan, joten ne voitiin periaatteessa liittää peräkkäin suoraan. Sahauksessa tukit kuitenkin kiertyivät ja kääntyivät hiukan, joten tukkien yhteen liittämässä jouduttiin tekemään sovitustyötä.

Rungon kolmiulotteinen malli koostuu kolmesta tiedostosta. Ensimmäinen niistä kuvaa rungon ulkopinnan geometrian. Siinä runko kuvataan poikkileikkauksina 50 mm:n välein 25 vektorilla.



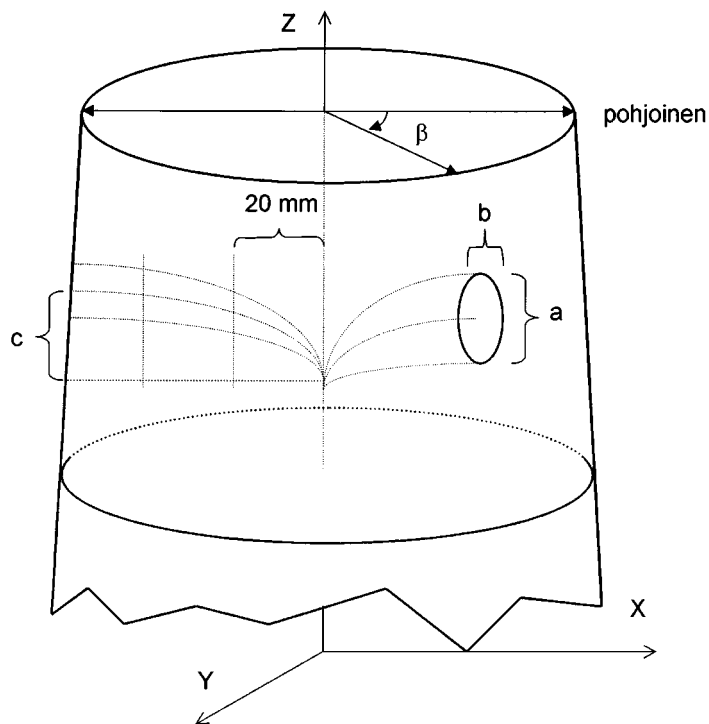
Kuva 9. Rungon pinnan kuvaus.

Rungon ulkomitoista on olemassa myös toinen, riippumaton kuvaus. Metsätehon työntutkija mittasi rungoista läpimitat sekä pohjois-etelä- että itä-länsisuuntiin 50 cm:n välein. Kuorellisina mitatuista läpimitoista tasoitettiin koko rungon matkalle spline-funktioiden avulla runkokäyrät sekä pohjois-etelä- että itä-länsisuuntiin. Runkokäyriltä laskettiin edelleen 5 cm:n välein (samoilte korkeuksille kuin VTT:n aineistossa) kuorelliset läpimitat molempiin suuntiin. Nämä läpimitat laskettiin koko rungon matkalle tyveltä latvan kärkeen, eli ne kattavat myös kuituosan. Kuorettomat läpimitat laskettiin runkokäyrillä samoille korkeuksille siten, että apuna käytettiin kolmelta korkeudelta mitat-

tuja kuoren paksuuksia. Kuoren paksuutena käytettiin pohjois- ja eteläsuunnista tehtyjen mittausten keskiarvoa. Kuorettomat läpimitat laskettiin samoille korkeuksille ja samoihin ilmansuuntiin kuin kuorelliset läpimitat.

VTT:n käyttämä rungon kuvaus päättyy yli 10 cm:n läpimitaan. Jotta rungot saataisiin käyttökelpoisiksi myös latvan osalta, liitettiin metsässä tehtyjen mittausten pohjalta laskettu latva rungon malliin. Liittäminen tehtiin Neliapila Ohjelmistot Oy:n toteuttamalla Tarvo-ohjelmistolla, joka on tarkemmin kuvattu erillisessä Metsätehon raportissa.

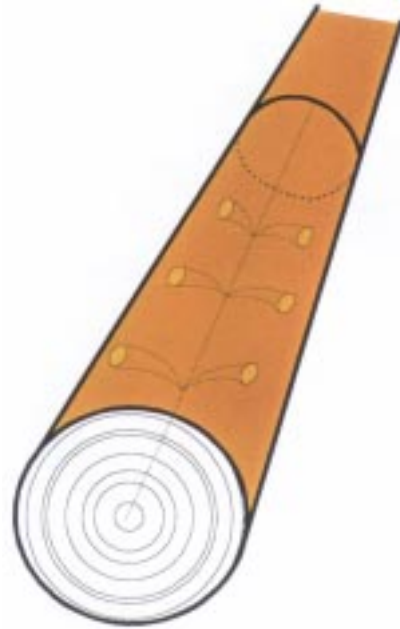
Toinen tiedostoista kuvaa runkojen pinnan oksat. Kunkin oksan sijainti on määritetty maantieteellisen kulman (β) ja tyvestä mitatun etäisyyden avulla (z-koordinaatti). Lisäksi kustakin oksasta tunnetaan laadut: tuore, kuiva tai jokin muu, joka on joko laho tai kuorioksa. Oksan dimensiot eli oksan pituus (a) ja leveys (b) tunnetaan myöskin (kuva 10).



Kuva 10. Oksien kuvaus kolmiulotteisessa mallissa.

Kolmannessa tiedostossa kuvattiin sisäoksat. Kunkin oksan mitatun tai laskennallisen syntypisteen sijainti määritetään kolmella koordinaatilla. Niistä ensimmäinen on korkeus rungossa (z). Kaksi muuta ovat syntypisteen sijainti rungon kuvitellulla katkaisupinnalla (x ja y). Jokaisesta sisäoksasta tunnetaan myös maantieteellinen suuntakulma (β). Rungon sisällä oksa kuvataan 20 mm:n välein. Oksan dimensiot (a ja b) ilmoitetaan samalla tavoin kuin pintaoksallekin ja samalla periaatteella kuvattuna. Oksakulma hallitaan luvulla c, joka kertoo, kuinka paljon oksan ytimen sijainti on muuttunut kyseisellä

20 mm:n välillä. Lisäksi tunnetaan oksan päättymiskohta ja oksalaatujen vaihtumiskohdat. Oksan laatu on määritetty samalla kolmiportaisella asteikolla kuin pintaoksillakin eli tuoreella, kuivalla ja jollakin muulla, joka sisältää kuorioksat ja lahot oksat (kuva 10 ja 11). Oksien laadutus noudatti sinisesssä kirjassa (Pohjoismainen sahatavara. Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet) esitettyä oksien luokittelua.



Kuva 11. Kolmiulotteinen rungon malli.

Rungosta mitattuja vikaisuuksia ei kuvattu kolmiulotteiseen rungon malliin. Tämä johtui siitä, että useimpia vikoja on vaikea mallittaa. On esimerkiksi hyvin vaikeata mitata, mistä kohden pihkatasku on leikkautunut auki. Tämä on kuitenkin mallittamisen kannalta olennainen tieto.

5 MENETELMÄN JA AINEISTON KÄYTTÖKELPOISUUS

Käytetty menetelmä on varsin työläs kaikissa vaiheissaan. On valittava kiinnostuksen kohteena olevaa aluetta edustavat leimikot ja kerättävä niistä perustietojen lisäksi mahdollisimman monipuolinen taustatieto. Sahauskoe-puut on valittava ja katkottava metsurityönä. Tukit on merkittävä selvästi ja yksikäsitteisesti maastossa. Kaikki tukit on kuljetettava omana eränään sopivalle sahalle, jossa ne on sahattava omana eränään ja laitettava numeroidut saheet tukeittain nippuun. Edelleen oksien ja rungon geometrian mitaus tehdään saheittain. Saheittaisesta tiedosta kootaan tukit ja rungot.

Käytetty menetelmä vaatii huolellisuutta ja tarkkaavaisuutta kaikissa vaiheissa. Tutkimuksen kuluessa sattui virheitä. Yksi tukki numeroitiin väärin, joitakin tukkeja jäi metsään ja muutama sahattiin huonosti. Tästä syystä kaikista maastossa mitatuista rungoista ei ole olemassa kolmiulotteista rungon mallia.

5.1 Menetelmän tarkkuus

Menetelmän tarkkuutta oksien kuvaamiseen on vaikeata laskea. Seuraavat seikat vaikuttavat menetelmän tarkkuuteen. Runkojen muodostamisvaiheessa olisi olennaista, että sahauksessa tukit olisi sahattu tarkalleen halutussa suunnassa ja että tukit eivät kiertyisi sahauksessa. Ilmansuunnan merkitsemisessä tapahtuu jo metsässä muutamien asteiden suuruisia heittoja, jotka sahauksessa vain suurenevät. Kun tukit edelleen voivat kiertyä joitakin asteita sahattaessa, tukkien liitoskohdassa ilmansuunta siirtyy helposti ≤ 5 asteen verran. Tällä on suoraan vaikutusta tukin pinnan geometriaan ja oksien ilmansuuntiin liittyviin tarkasteluihin. Epäsuorasti se vaikeuttaa oksien mallintamista rungon malliin erityisesti silloin, kun rungon tukkeja liitetään toisiinsa. Saheen pinnalle vinosti leikkautunut oksa muutetaan suuntakulman avulla ydintä vasten kohtisuoraan leikkautuneeksi. Virheellinen kulma johtaa virheelliseen oksan läpimittojen kuvaukseen. Erityisesti yksittäistapauksissa suunnan vaihtelu on merkittävästi suurempaa, ja tämä vaikeuttaa laskentaa.

Koordinaattipöydän mittaustarkkuus oli alussa pöydän pituussuuntaan (z-koordinaatti) noin 1 mm ja leveysuuntaan (y-koordinaatti) noin 0,1 mm. Kahdelle viimeiselle leimikolle pöytään asennettiin uusi anturi. Itse laser-säteen pisteen koko oli noin 1 mm.

5.1.1 Ulko-oksien mittaukset

Metsätehon työntutkijan tekemien ulko-oksamittausten avulla tarkasteltiin VTT:llä tehtyä pintaoksien mittausta. Havaittiin, että ulko-oksien vertaaminen tukin pinnasta tehtyihin mittauksiin on vaikeaa. Oli vaikeaa muodostaa oksapareja, toisin sanoen varmistaa, että mittaukset koskivat samaa oksaa ulko-oksana ja tukin pinnassa. Yhdistämisen vaikeus johtui osaltaan maantieteellisen kulman määrittämisestä maastossa ja osaltaan siitä, että maastossa mitattiin kuorellista läpimittaa. Määrittämistä vaikeuttivat seuraavat seikat:

1. Ulko-oksen laatu poikkesi pintaoksen laadusta. Jokunen vuosi sitten kuollut oksa on tuki pinnassa lähes poikkeuksetta tuore.
2. Maksimioksen läpimitta oli harvoin sama. Pintaoksien koko erosi suurimmillaan kymmeniä millijä ulko-oksen läpimitasta: poikkeamia oli molempiin suuntiin yli- ja aliarvioiksi. Näin kävi sen vuoksi, että pintaoksen läpimittarajojen määrittäminen täsmällisesti oli vaikeaa ja että VTT mittasi oksan läpimitan eri tavalla. Usein läpimitta jouduttiin laskemaan oksan pituuden avulla. Erityisesti männyn suurilla oksilla poikkileikkauspinnan muoto vaihtelee lähes ympyrästä hyvin soikeaan ellipsiin, mikä hankaloittaa laskentaa.

5.1.2 Pintaoksien mittaukset

Tukkien pintaoksien tarkistamiseksi Metsätehon tutkijat mittasivat sahan kentällä useiden tukkien kaikki oksat ja vertasivat mittaustuloksia VTT:n pintaoksamittauksiin. Näistä mittauksista tehtiin seuraavat havainnot:

1. Kaikille oksille ei löytynyt mielekästä vastinoksa järkevältä etäisyydeltä tai suunnasta.
2. VTT:llä mitatut oksat olivat selvästi pyöreämpiä kuin Metsätehon mittauksen mukaan. VTT:llä oksien läpimittojen erotuksien hajonta oli yleensä pienempi. Maksimioksat oli mitattu enimmäkseen oikein.
3. Männyllä oksien laadut olivat jokseenkin kohdallaan. Kuusella sen sijaan oli jokaisessa tarkistetussa tukissa joitakin tarkistusmitan tuoreita oksia laadutettu VTT:llä kuiviksi.

5.1.3 Sisäoksien mittaukset

Kustakin leimikosta poimittiin satunnaisotannalla noin 5 % tukeista uudelleen mitattavaksi. Tarkistus pyrittiin kohdistamaan sydäntavaroiden ulkopintoihin tuleviin oksiin. Tarkistusmittaukseen otettiin 30 sahetta.

Tarkistusmittauksessa jätettiin helmioksat yleensä mittaamatta. Lähinnä kontrolloitiin oksien kokonaislukumäärää. Tarkistusmittausten perusteella tehtiin seuraava havainnot:

1. VTT:n mittausten mukaan *oksen pituus on suurempi* kuin Metsätehon mittauksin. Saheittain erojen keskiarvot ovat kuusella alle 2 mm ja männyllä alle mm:n. Yksittäisillä oksilla suurimmat erot saheittain ovat kuusella 5 – 11 mm ja männyllä 2 – 14 mm.
2. VTT:n mittausten mukainen *oksen läpimitta on pienempi* kuin Metsätehon mittauksilla. Saheittain erojen keskiarvot ovat kuusella yli 2 mm ja männyllä alle 2 mm. Yksittäisillä oksilla suurimmat erot saheittain ovat kuusella 4 – 13 mm ja männyllä 2 – 14 mm.
3. Kahdesta ensimmäisestä havainnosta seuraa, että oksat ovat VTT:n mittausten mukaan yleensä vähemmän pyöreitä kuin Metsätehon mittausten mukaan. Erityisesti saheen laidalla olevien ellipsin muotoisten oksien läpimitta aliarvioidaan, mikä johtaa kapeampiin oksiin. Näitä oksia oli tarkistusmitatuista noin 6 %.

4. Oksalaaduista tarkastettiin vain tuoreita ja kuivia oksia. Tuore oksa oli luokitettu kuivaksi tai kuiva tuoreeksi noin kahdessa prosentissa kaikista oksista (400 tarkistettua).

VTT:n koordinaattipöydän mittausturvit vaihdettiin kahden viimeisen leimikon mittauksiin. Siksi viimeiseksi mitatusta mäntyleimikosta tehtiin lisämittauksia ja havaittiin, että:

1. VTT:n mittausten *oksan pituus* oli suurempi kuin tarkistusmittauksessa. Saheittain erojen keskiarvot olivat noin millin. Yksittäisillä oksilla suurimmat erot saheittain olivat 4 – 9 mm.
2. VTT:n mittausten *oksan läpimitta* oli *suurempi* kuin tarkistusmittauksessa. Saheittain erojen keskiarvot olivat alle mm:n. Yksittäisillä oksilla suurimmat erot saheittain olivat 3 – 10 mm.
3. Oksalaatu tarkastettiin vain tuoreista ja kuivista oksista. Tuore oksa oli luokitettu kuivaksi tai kuiva tuoreeksi noin kolmessa prosentissa kaikista oksista (200 tarkistettua).

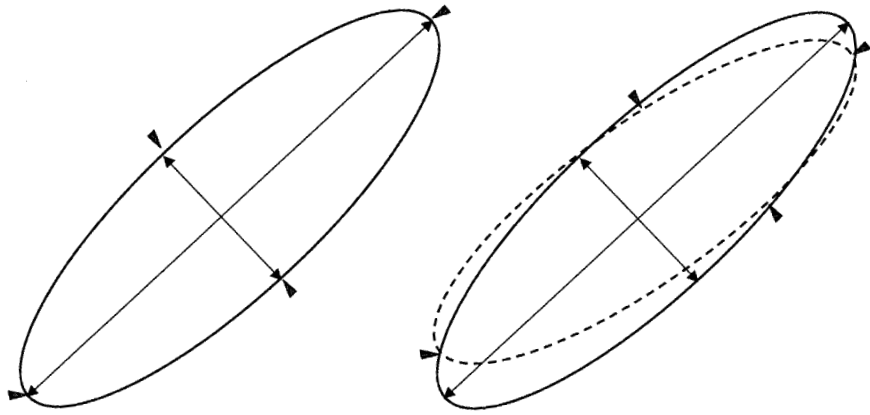
Osa edellä mainituista eroista johtuu erityisesti tuoreen oksan reunan määrittämisen vaikeudesta. Oksan reunat eivät kaikissa tapauksissa ole yksikäsitteiset. Osa virheestä johtuu puhtaasti mittaajasta. Mittaajasta aiheutuvaa virhettä eli mittauspisteen huonoa kohdistamista VTT selvitti paperille piirrettyillä erimuotoisilla oksilla. Oksien kokoihin syntyi useiden millimetrin eroja todellisesta. Laserpisteen epätarkka kohdistaminen aiheuttaa virhettä myös laskennassa.

Kuivien pienien oksien erottamista lahoista oksista ei tarkistettu, sillä näiden oksien erottamiseen toisistaan ei ole selvää määritelmää. On kuitenkin nähtävissä, että VTT:n mittausten mukaan runkojen tyveltä löytyy lahoja oksia enemmän kuin käytännössä sahoilla keskimäärin.

5.1.4 Kolmiulotteisen mallin muodostaminen

Itse laskennasta eli mittaustiedon muuntamisessa kolmiulotteiseksi runkotiedoksi käytettävistä malleista aiheutuvaa virhettä selvitetään VTT:ssä opinnäytetyönä. Mallivirheen suuruudesta on vaikeata esittää arviota.

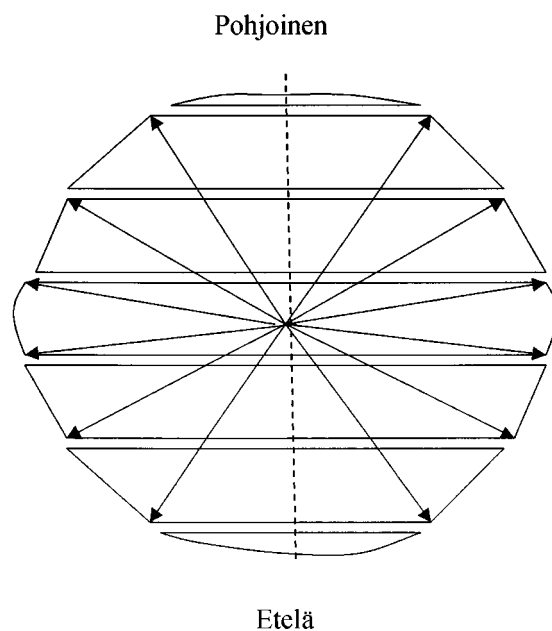
Sen sijaan joitakin yksittäisiä virhelähteitä on helppo osoittaa. Varsin merkittävä virhelähde on lasermittauspisteen huono kohdistaminen. Oksan koon laskennassa joudutaan olettamaan, että oksa on mitattu maksimidimensioiden kohdista ja että nämä mittaukset ovat toisiaan vastaan kohtisuorat (kuva 12, vasemman puoleinen oksa).



Kuva 12. Lasermittapisteen kohdistamisesta aiheutuva virhe.

Jos mittauspisteet kohdistetaan huolimattomasti jonnekin muuanne oksan kehällä, on tilannetta mahdotonta korjata laskennassa. Oksa muodostuu hie- man eri asentoon lyhyempänä ja kapeampana (kuva 12, oikean puoleinen oksa).

Toinen mittauksellinen seikka, jota ei laskennassa kovin helposti voi korjata, on tukin pinnan kuvaus. Keskisaheesta mitattiin molemmin puolin sekä oksat että saheen ääriviivat. Muista saheista mitattiin ytimeistä katsoen ulomman lapepinnan oksat ja ääriviivat. Pohjois-eteläsuunnan pinnan muoto tehtiin tasoittamalla viimeisten tunnettujen havaintojen avulla. On todennäköistä, että pohjoisen ja etelän läheisyydessä pinnan kuvauksessa on epävarmuutta (kuva 13).



Kuva 13. Tukin pinnan muodon mittauspisteet.

5.2 Menetelmän käyttökelpoisuus

Menetelmä tuottaa tuloksenaan merkittävästi yksityiskohtaisempaa tietoa rungoista ja niiden oksaisuudesta kuin mihin tähän saakka on totuttu. Iso osa edellä kuvatuista virheistä ei ole koskaan tullut eikä tule esiin karkeammassa tiedonkeruussa. Esimerkiksi oksien koon määrittelyyn liittyvät ongelmat eivät tule visuaalista sahatavaraluokittelua käytettäessä esiin. Sen sijaan jos pyritään kehittämään konenäköön pohjautuvaa aitoa sahatavaroiden laatu- luokitusjärjestelmää, törmätään samoihin ongelmiin. Samaten törmätään oksien laadun määrittämisen ongelmiin. Näiden ongelmien tarkasteluun aineisto ja menetelmä antavat hyvän mahdollisuuden.

Kun arvioidaan menetelmän soveltuvuutta eri käyttökohteisiin, voidaan todeta, että yksittäistä oksaa koskevat mittatiedot sisältävät vaihtelua. Vaihtelu tulee esiin tarkasteltaessa samaa oksaa peräkkäisissä saheissa. Jos tavoitteena on esimerkiksi mallittaa yksittäisen oksan kehittymistä, oksien mittaukseen ja laadutukseen liittyvä epävarmuus vaikeuttaa mallien laadintaa.

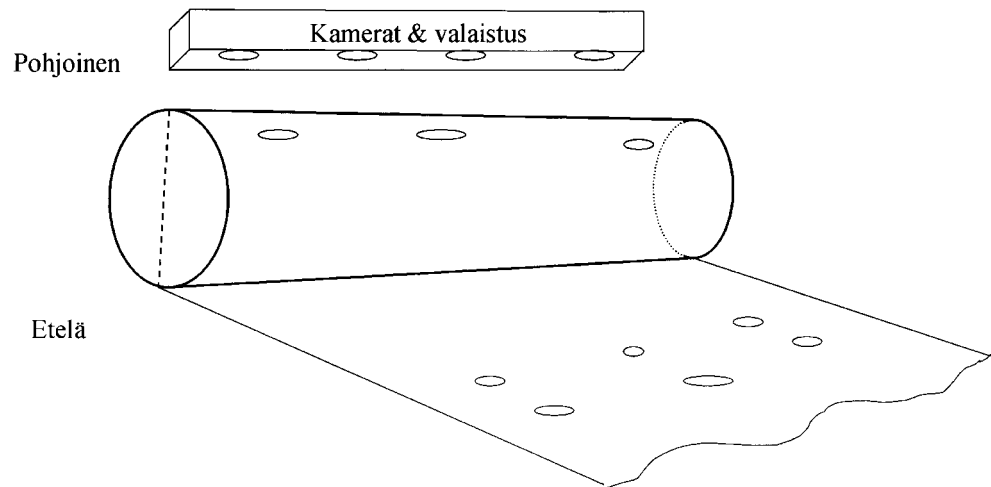
Sen sijaan aineisto on sopivaa oksaisuuden ja yksittäisten oksien dimensioiden tarkasteluun runkotasolla. Esimerkiksi oksien koot ovat runkotasolla keskimäärin oikeansuuruisia, eikä systemaattisia ali- tai yliarvioita ole merkittävässä määrin.

Yhden koesahauspuiden maastomittauksen kustannus on noin 500 mk. Sahauksen, saheiden mittauksen ja kolmiulotteisten tiedostojen luonti maksaa noin 3000 mk runkoa kohti.

5.3 Menetelmän edelleen kehittäminen

Nykyinen menetelmä ei hallitse koko runkoa täydellisen kolmiulotteisesti. Lenkous ja mutkat mitataan tukeittain, mutta tukkien katkaisukohdissa lenkoustieto nollautuu. Koko rungon lenkouden hallitseminen ei ole kovin monimutkaista. Se olisi lisättävissä menetelmään helposti.

Oksien mittaus käsin tai puoliautomaattisesti konenäköä avulla on osoittautunut hitaaksi ja kalliiksi tavaksi tuottaa oksatietoa. Oksa- ja geometriatietoa voitaisiin tuottaa myös sorvaamalla. Kuvaamalla ja mittaamalla sorvautuva pölkky samasta kohdasta saadaan sekä ilmansuunta että etäisyys rungon pinnasta hallittua (kuva 14).



Kuva 14. Oksa- ja geometriatiedon tuottaminen sorvaamalla.

Saheidien käsittelyyn ja mittaukseen verrattuna viiluttamisessa on useita etuja. Rungon geometria voidaan muodostaa tarkemmin joka suuntaan. Oksien mitaus tapahtuu jokseenkin kohtisuoraan niiden ydintä vastaan eli päältä katsoen. Oksista kertyy sorvaamalla havaintoja runsaammin, joten laadun vaihtumiskohta on ainakin teoriassa mahdollista määrittää tarkemmin. Oksien mallintaminen on helpompaa ja se voidaan tehdä tarkemmin, sillä oksat mitataan ikään kuin suoraan omalle paikalleen rungon mallissa.

Ongelmiakin on nähtävissä. Oksien mittaaminen ja laaduttaminen tehtäisiin konenäön avulla. Näistä ainakin jälkimmäinen on ongelmallista. Viiluttaminen voi olla koordinaattipöytä halvempi tapa tuottaa runkotietoa, jos mitaus on laajaa.

Tomografiatekniikkaan perustuva tukkiröntgen tuottaa rungosta kapeita kolmiulotteisia viipalekuvia. Ne ovat muunnettavissa kolmiulotteiseksi rungon malliksi. Käytännön toiminnassa tomografian ongelmana on hitaus, koska se ei pysty mittaamaan riittävän tarkasti tuotantoon soveltuvilla nopeuksilla. Raportissa kuvatunkaltaisen runkoaineiston tuottamisessa hitaus ei ole ongelma. Ongelmallisempaa on, että kaikkia oksia ei pystytä paikallistamaan luotettavasti.

Ydinmagneettiseen resonanssiin perustuvien lääketieteellisten laitteiden käyttöä on kokeiltu myöskin puiden geometrian ja oksaisuuden tarkasteluun. Kuvista voidaan erottaa sydänpuu/pintapuu, vuosilustot, oksat ja ydin sekä useanlaisia vikaisuuksia, joten nämäkin laitteet soveltuvat ainakin periaatteessa kolmiulotteisen runkoaineiston tuottamiseen.

KIRJALLISUUTTA

Merra, A. & Hemmilä, P. 1992. Tukan geometrian ja sisäisen laadun mittaus. Kirjallisuusselvitys. VTT tiedotteita 1343.

Pohjoismainen sahatavara. Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. 1994.

Song, T. 1996. Tree stem construction model for TUPU project. VTT Building Technology. Manuscript.