

**Metsätehon raportti 194**  
**21.9.2006**

ISSN 1459-773X (Painettu)  
ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)



## **Kuvaan perustuva mittaus apteerauksessa ja puutavaran lajittelussa**

*Juha-Antti Sorsa*  
*Vesa Imponen*  
*Samuli Hujo*  
*Antti Korpilahti*  
*Asko Poikela*  
*Tapio Räsänen*

**METSÄTEHO OY**

PL 101 (SNELLMANINKATU 13)

00171 HELSINKI

PUH. 020 765 8800

FAKSI (09) 659 202

WWW.METSATEHO.FI

# **Kuvaan perustuva mittaus apteerauksessa ja puutavaran lajittelussa**

**Juha-Antti Sorsa  
Vesa Imponen  
Samuli Hujo  
Antti Korpilahti  
Asko Poikela  
Tapio Räsänen**

Metsätehon raportti 194  
21.9.2006

ISSN 1459-773X (Painettu)  
ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)

Asiasanat: kuvamittaus, lajittelu, mittaustarkkuus, puutavara

© Metsäteho Oy

Helsinki 2006

## SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ.....</b>	<b>4</b>
<b>1 TAUSTA JA TAVOITTEET.....</b>	<b>5</b>
1.1 Mittauksen ja lajittelun kehittämistarpeet.....	5
1.2 Tavoitteet .....	6
<b>2 MENETELMÄT JA AINEISTOT.....</b>	<b>7</b>
<b>3 TULOKSET .....</b>	<b>7</b>
3.1 Mittaustarkkuus apterauksessa.....	7
3.1.1 Aineisto.....	7
3.1.2 Apterauksen simulointi .....	8
3.1.3 Tulokset .....	9
3.2 Lustot puun laadun selittäjänä .....	14
3.2.1 Aineiston ja menetelmän kuvaus .....	14
3.2.2 Tulokset .....	15
<b>4 KUVATEKNIIKAN SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN.....</b>	<b>21</b>
4.1 Soveltaminen hakkuukoneympäristössä.....	21
4.2 Soveltaminen tehdasvastaanotossa .....	22
<b>KIRJALLISUUS .....</b>	<b>23</b>

## TIIVISTELMÄ

Tässä raportissa esitetään tuloksia mittauksen kehittämisen perustaksi tehdyistä tutkimuksista, jotka koskivat mittaustarkkuutta ja lustoista määritettävää kasvunopeutta. Tutkimuksessa selvitettiin hakkuukonemittauksen tarkkuuden merkitystä hakkuussa talteen saatavien puutavaralajien määriin ja puun kasvunopeustiedon merkitystä sahatavaralaadun selittäjänä. Tutkimus on osa laajempaa Puula - Puun laadun mittaus ja lajittelu -projektia. Tarkastelu tehtiin Puula -projektin tehtävän mukaisesti digitaalikuviin perustuvaa mittaustekniikkaa ajatellen.

Simulointitarkastelu osoitti, että pienikin,  $\pm 1$  mm:n, virhe läpimitassa huonontaa tukkien katkonnan jakauma-astetta 2–3 prosenttiyksikköä. Läpimitan mittaustarkkuudella on suuri merkitys myös siksi, että se vaikuttaa tukin tilavuuteen enemmän kuin pituuden mittaustarkkuus. Kun läpimitan virheeksi asetettiin +3 mm, hakkuukonemittauksen tulos oli simulointilaskennassa lähes 9 % oikeaa tilavuutta suurempi. Kun virhe oli –3 mm, tulos jäi 1,5 % oikeaa tilavuutta pienemmäksi. Läpimitan mittausrvirhe ei vaikuttanut kuitupuun tilavuuteen merkittävästi, koska virheet aiheuttavat puutavaralajisiirtymiä sekä tukkiosasta kuitupuuhun että kuitupuuosasta hukkapuuhun. Kun hakkuukone mittaa puun liian paksuksi, niin syntyy alamittaisia tukkeja, jotka siirtyvät kuitupuuksi ja alamittaisia kuitupuupölkyjä hylätään. Kun kone mittaa läpimitat todellista pienempinä, tukkiosaa siirtyy kuitupuuhun ja rungon latvasta jää kuitupuun mitat täyttävää runkopuuta latvukseen. Eri selvitysten perusteella arvioidaan, että käytännössä 70–80 % tukeista on katkottu läpimitaltaan  $\pm 4$  mm tarkkuuteen.

Lustonpaksuuden tehokkuutta sahatavaran laadun selittäjänä tutkittiin pienen aineiston perusteella. Aineistossa lustonpaksuus vaihteli melko vähän, noin 0,7–2,7 mm. Voitiin kuitenkin havaita, että tyvitukkien A-laatuisten sahauspintojen määrä korreloi paremmin lustonpaksuuden kuin kuivaoksa-ajan kanssa. Samansuuntaisia tuloksia ovat saaneet mm. Heiskanen (1954) ja Halinen (1985).

Uuden mittaustekniikan käytäntöön soveltamisessa tulevat kyseeseen erityisesti digitaalikuva- ja lasertekniikat yhdessä. Kuvatekniikalla voidaan tuottaa laatutietoa, kuten lahon esiintyminen, lustojen paksuus ja kuoreton läpimita tukin päästä. Lasermittausta tarvitaan kohteen dimensiomittauksen lisäksi mm. kameroiden ja kuvattavan kohteen tarkan sijainnin määrittämisessä. Hakkuukonemittauksen osalta arvioidaan, että sovellusten kehittäminen kannattaa aloittaa mittalaitteen kalibrointia palvelevista mittauksista. Saha-tukkien osalta kuorettoman läpimitan mittaus tukkimittarilla olisi nopeimmin hyödynnettävissä ja verraten helppo kehitettävä. Kuitupuun tehdasmittauksessa lähtökohtana voisi olla nippukohtainen tilavuuden ja laatutunnusten mittaus ja siten mahdollisuus nippukohtaiseen lajitteluun.

# 1 TAUSTA JA TAVOITTEET

## 1.1 Mittauksen ja lajittelun kehittämistarpeet

Rungon katkontaa puutavarapölkkyiksi ohjataan hakkuukoneen mittausjärjestelmään kytketyn apterauslaskennan avulla. Tavoitematriisi käsittää kullekin tukin pituus/läpimittayhdistelmälle annetun painoluvun, joka on sitä suurempi mitä tavoitellumpaa kyseinen dimensio on. Rungosta muodostetaan runkomuotoennusteita sitä mukaa kuin karsinnan edetessä saadaan läpimittahavaintoja. Näiden tietojen perusteella lasketaan rungon katkonta siten, että sen tukkiosa ja kuitupuosa tulevat mahdollisimman tarkkaan talteen otetuiksi. Tulosta heikentävät pääosin kaksi seikkaa; hakkuukonemittauksen epätarkkuus ja se, että mittahavaintoja saadaan vain karsinnan etene-  
misen mukaan, ei hakkuulaitteen etupuolelta, ylempää rungosta. Näiden vuoksi runkomuotoennuste voi olla epätarkka ja johtaa heikkoon tukkija-  
kauman tavoiteosuvuuteen varsinkin rungon viimeisten tukkien osalta.

Hakkuukoneiden nykyisellä, puuta koskettavalla mittaustekniikalla ei ole teoreettisestikaan mahdollista saada aivan tarkkoja mittaustuloksia. Lisäksi olosuhdemuutokset, kuten kuoren ja pintapuun jäätyminen ja sulaminen, ja puidenväliset runkomuotoerot aiheuttavat sen, että mittaustarkkuutta ei saada kalibroinnillakaan täysin tyydyttäväksi. Dimensiomittauksessa tulisi pysyä mittaamaan kuoreton läpimitta ainakin tukkien osalta. Koska tukit lajitellaan sahoilla sahauseriin ja varastoidaan kuorimattomina, kuorettoman läpimitan tarkka mittaustekniikka tarvitaan sahoillakin.

Puun laadun määrittäminen ja huomioon ottaminen runkojen apterauksessa ja tukkien lajittelussa tehdään toistaiseksi täysin silmävaraisesti ja manuaalioh-  
jauksella. Uudella mittaustekniikalla tulisi pystyä mittaamaan myös laatua tai sellaisia tunnuksia, joiden perusteella laatu voidaan laskea, ja tulosta käyttää apterauslaskennassa ja lajittelussa. Tavoitteena on siten nykyistä tarkempi mittaus, kuorettoman läpimitan mittaus ja pitkälle automatisoitu laatulajittelu.

Viimeisimpien ruotsalaisten selvitysten ja kokeilujen mukaan hakkuuko-  
neen nykyisellä läpimitan mittaustekniikalla voidaan parhaimmillaan saa-  
vuttaa  $\pm 4$  mm:n tarkkuus 75–80 %:ssa läpimittahavaintoja. Suomalaisen seurantojen mukaan on tavanomaista, että 60–70 % tukeista on katkottu tuohon tarkkuuteen. Pituuskatkonnassa puolestaan 70–85 % tukeista on katkottu hyväksyttävään tarkkuuteen, joka on viime aikoina ollut esimerkiksi  $-3...+5$  cm sahatavaran tasausvaran sisältävästä ohjepituudesta. Sahatuk-  
kien jakaumatavoitteen toteutumista kuvataan jakauma-asteella. Se vaihtelee melko suuresti ja on yleisesti 60–80 %:n tasolla. Mikäli mittaus saadaan nykyistä tarkemmaksi, jakauma-aste voisi parantua jopa 10 %-yksikön verran.

Tarkemman hakkuukonemittauksen avulla pystyttäisiin parantamaan selke-  
ästi katkontan ohjausta ja apterausta, ja näin myös sahojen pyrkimys tuk-  
kien katkonnassa asiakastilausten mukaisesti pituus-/läpimittayhdistelmiin lähes reaaliaikaisesti voisi toteutua. Lisäksi tarkempi pituuden mittaus ko-  
neellisessa korjuussa mahdollistaisi ”kapeampien” katkontaikkunoiden käy-

tön, esim.  $\pm 2$  cm tavoitepituudesta, mikä edelleen voisi mahdollistaa mekaanisessa puuteollisuudessa pölkyn tasausvaran lyhentämisen nykyisestä 10 cm:stä esim. 7 cm:iin.

On esitetty arvioita, että sahatavaran saanto voisi parantua noin 2 %, jos sahan tukkilajittelussa pystyttäisiin määrittämään tukin kuoreton läpimitta tarkasti. Sen tuottovaikutus olisi noin 10 000 euroa työpäivää kohden sellaisella sahalalla, jonka tuotantomäärä on 300 000 kiintokuutiometriä sahatavaraa vuodessa. Mikäli tukin kuoreton muoto ja sahausluokkaa alentavat tekijät, kuten mutkaisuus, lenkous, soikeus, epäpyöreys ja halkeamat, saataisiin selville, niin tukkilajittelun yhteydessä pystyttäisiin määrittämään tukille ”maksimaalinen” sahausluokka.

Kuorettoman läpimitan mittaus jo hakkuuvaiheessa mahdollistaisi runkojen apterauksen ja katkonnan sahausluokkien mukaisesti pituus-/läpimittayhdistelmiin. Asiakastilausten kohdentamiseen ja hallintaan se toisi sinänsä uusia mahdollisuuksia, mutta täyden hyödyn saavuttamiseksi tarvitaan lisäksi tukkien sisäisen laadun mittausta tai ennustamista. Kuorettoman läpimitan määrittäminen ja ennustaminen edellyttäne myös nykyistä tarkempia kuorenpaksuusmalleja.

Lustotietoja (kasvunopeutta) on käytetty sahatukkien laatuluokituksessa jo varhain. Lustonpaksuutta käytettiin sekä tukin sisäisen oksaisuuden että tukista saatavan sahatavaran lujuuden ennustamiseen. Esimerkiksi Heiskanen (1954) tarkastelee 1950-luvun puolivälissä silloisen tukkien laatuluokituksen toimivuutta. I-laatuokan tukin keskimääräinen luston paksuus sai olla enintään 3 mm 3 tuuman matkalla ytimestä lukien. Heiskanen mainitsee useita aiempia ja aikalaistensa tekemiä tutkimuksia lustonpaksuuden ja sahatavaran laadun välisestä korrelaatiosta. Lustonpaksuus on yhtenä sahatukkien laatuluokitustekijänä nykyäänkin käytössä Ruotsissa. Luokkarajoina ovat 3, 5 ja 6 mm:n lustonpaksuudet, jotka määritetään 2–8 cm etäisyydeltä ytimestä. Ne määritetään tukkimittauksessa silmävaraisesti tai apuvälineitä käyttäen, koska lustomittauksia ei ole vielä pystytty automatisoimaan.

Tässä raportissa esitetään tuloksia mittauksen kehittämisen perustaksi tehdyistä tutkimuksista, jotka koskivat mittaustarkkuutta ja lustoista määritettävää kasvunopeutta. Tutkimus on osa laajempaa Puula - puun laadun mittaus ja lajittelu -projektia, joka toteutettiin yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen, Teknillisen korkeakoulun ja Tampereen teknillisen yliopiston kanssa.

## 1.2 Tavoitteet

Tässä tutkimuksessa selvitettiin hakkuukonemittauksen tarkkuuden merkitystä hakkuussa talteen saatavien puutavaralajien määriin ja puun kasvunopeustiedon merkitystä sahatavaralaadun selittäjänä.

Puun mittauksen tarkoituksen ja kehittämistavoitteiden täsmentämiseksi määritettiin käyttöpaikalla mittaukselle asetettavia tavoitteita. Tarkastelu tehtiin puutavaralajeittain ja kuitupuun osalta tarkasteltiin erikseen otanta-

erien ja kaikkien vastaanotettavien erien mittausta. Tarkastelu tehtiin Puula-projektin tehtävän mukaisesti digitaalikuviin perustuvaa mittaustekniikkaa ajatellen (liite 1).

## **2 MENETELMÄT JA AINEISTOT**

Mittaustarkkuutta ja lustotietojen selitysvoimaa tutkittiin laskennallisesti. Laskenta perustettiin empiirisiin runko- ja tukkiaineistoihin. Niitä oli tuotettu aiemmissa sekä hakkuukonemittausta että puun laatua koskevissa tutkimuksissa.

Mittaustarkkuustutkimuksen aineistona käytettiin todellisen leimikon kuusitukkirunkoja, joista oli käytettävissä tarkkaan mitatut dimensioidot. Runkojen lukumäärä oli 1 574 kpl. Mittaustarkkuuden vaikutusta mitattiin sen perusteella, kuinka hyvin tukkien tavoitejakauma toteutui ja minkälaisia eroja tukki- ja kuitupuukertymiin aiheutui, kun mittausvirhe vaihteli. Rungot apteerattiin Metsätehon MASI-apteraussimulaattorilla. Mittauksen epä-tarkkuutta aiheutettiin kytkemällä laskentaan erisuuruisia mittausvirheitä. Menettelyn yksityiskohdat kuvataan tulosten esittelyn yhteydessä.

Lustotietojen merkitystä puun laadun selittäjänä tutkittiin laskennallisesti 119 mäntytukkirungon aineistosta. Aineisto on tuotettu Tuotelähtöinen puunhankinta -projektissa (Lukkarinen ym. 1998a) yhdessä VTT Rakennustekniikka -yksikön kanssa. Runkoaineisto on mallinnettu 3D-muotoon ja runkotietoihin on sisällytetty sisäiset oksatkin. Tässä tutkimuksessa simuloitiin runkojen sahaus 5 metriä pitkinä tukkeina Metsätehon TARVO-sahaussimulaattorilla (Lukkarinen ym. 1998b). Näin syntyneistä saheista määritettiin Pohjoismaisen sahatavaran laatuluokituksen A ja B laatuvaatimukset täyttävän laadun (liite 2) määrät yhden metrin luokin. Kuhunkin laatuokkaan sijoittuneiden tukkien tyvipäistä laskettiin vuosilustojen lukumäärä 2–8 cm:n vyöhykkeeltä laatua selittäväksi tekijäksi. Laskennan yksityiskohdat kuvataan tulosten esittelyn yhteydessä.

## **3 TULOKSET**

### **3.1 Mittaustarkkuus apterauksessa**

#### **3.1.1 Aineisto**

Mittaustarkkuuden merkitystä rungon apterauksessa tarkasteltiin apteraamalla Metsätehon runkopankista valittu yksittäinen kuusivaltainen leimikko. Leimikon pinta-ala on 4 hehtaaria, puuston keski-ikä 90 vuotta, keskijäreys 0,853 m<sup>3</sup>/runko ja pohjapinta-ala 21 m<sup>2</sup>/ha. Leimikolta valittiin apteerattavaksi puujoukoksi sen kaikki kuusirungot, joita oli 1 574 kpl.

### 3.1.2 Apteerauksen simulointi

Valittu puujoukko apteerattiin Metsätehon MASI -simulaattorilla. Apteerausta ohjattiin hakkuukoneen tiedonsiirtostandardin mukaisella apt-tiedostolla, jossa kuuselle oli määritetty tukki- ja kuitupuutavaralajit. Tukille määritetyt pölkkyluokat arvoineen ovat taulukossa 1.

Apteerauksessa käytettiin jakaumanohjauksessa mukautuvan arvomatriisin menetelmää. Siinä arvomatriisin arvoja joko kasvatetaan tai vähennetään sen mukaan, onko ko. pölkkyluokan pölkkyistä puutetta tai ylitarjontaa. Kunkin pölkkyluokan tavoite oli määritetty suhteellisena osuutena ko. läpimittaluokan sisällä. Tämä jakaumatavoite on esitetty taulukon 2 tavoitematriisissa.

TAULUKKO 1. Simuloinnissa käytetty kuusitukin arvomatriisi.

Läpimitta, mm	Tukin pituus, cm								
	370	400	430	460	490	520	550	580	610
160	170	170	240	240	240	240	240	240	240
180	170	170	230	230	230	230	230	230	230
200	170	170	230	230	230	230	230	230	230
220	170	170	230	230	230	230	230	230	230
240	0	0	230	230	230	230	230	230	230
260	0	0	230	230	230	230	230	230	230
280	0	0	230	230	230	230	230	230	230
320	0	0	230	230	230	230	230	230	230
340	0	0	230	230	230	230	230	230	230
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TAULUKKO 2. Simuloinnissa käytetty kuusitukin tavoitematriisi.

Läpimitta, mm	Tukin pituus, cm									Yhteensä
	370	400	430	460	490	520	550	580	610	
160	7	8	14	15	15	17	14	5	5	100
180	9	7	12	13	13	26	12	4	4	100
200	7	4	9	13	7	26	25	5	4	100
220	4	4	5	16	11	16	30	7	7	100
240	0	0	5	18	14	17	32	8	6	100
260	0	0	9	17	17	11	33	7	6	100
280	0	0	10	18	18	11	29	7	7	100
320	0	0	5	13	16	19	33	7	7	100
340	0	0	6	17	21	25	14	9	8	100
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100



Runkojen pituusennusteet laskettiin Kilkin pituusyhtälöllä (Kilki 1983). Siinä puun pituus lasketaan kaikille puulajeille pelkästään rinnankorkeusläpimitan funktiona. Näin saatuja pituustietoja käyttäen rungoille laskettiin Laasasenahon runkokäyräyhtälöillä läpimittaennusteet (Laasasenaho 1982). Käyräyhtälön kertoimina käytettiin Laasasenahon esittämiä perusrunkokäyrän puulajikohtaisia arvoja. Rungoille laskettiin uudet läpimittaennusteet tarkastelukohdasta eteenpäin aina kun pölkyn katkaisukohdan todellisen läpimitan ja ennustetun läpimitan erotus kasvoi yli 2 mm:iin.

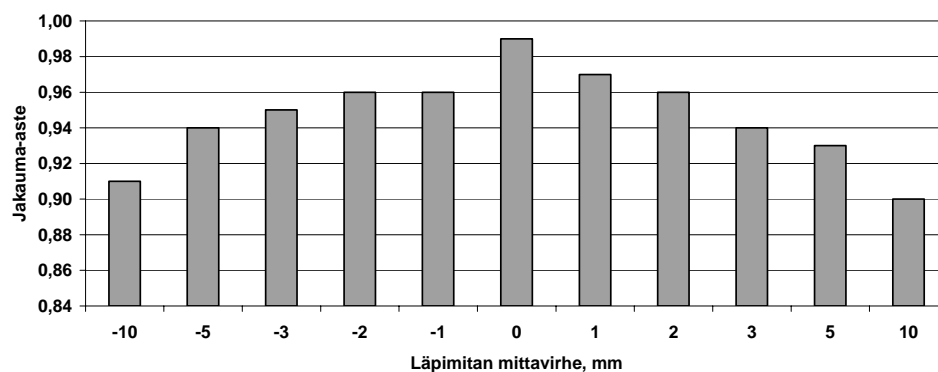
Hakkuukoneilla tehtävään läpimitan ja pituuden mittaukseen liittyy mittausvirheitä. Virheellinen läpimitta muodostuu systemaattisesta virheestä ja lähes normaalijakautuneesta hajonnasta. Myös pituuden mittausvirhe sisältää systemaattisen virheen ja normaalijakautuneen hajonnan. Tutkimuksessa tarkasteltiin ensisijaisesti läpimittavirheen vaikutusta leimikon katkontatuloon. Läpimitan mittausvirhettä mallinnettiin simuloinnissa lisäämällä todellisiin läpimittoihin erisuuruisia virheitä. Kaikissa simuloinneissa pituusmittavirhe kiinnitettiin siten, että systemaattinen virhe oli  $-1$  cm ja normaalijakautunut hajonta  $\pm 3$  cm systemaattisen virheen ympärillä. Nämä luvut ovat keskiarvoja tuloksista, joita on saatu Metsätehon viimeaikaisissa tutkimuksissa.

Läpimittavirheen muutosta tarkasteltiin muuttamalla systemaattista läpimittavirhettä ylös- ja alaspäin oikeasta läpimitasta aina 10 mm asti ja pitämällä samaan aikaan läpimittavirheen hajonta kaikissa simuloinneissa samana. Läpimittavirheen hajonta-arvo simuloinneissa oli  $\pm 4$  mm.

### 3.1.3 Tulokset

Tuloksissa esitetään läpimitan mittavirheen vaikutusta jakauma-asteeseen ja puutavaralajien kertymiin. Yleensä jakauma-asteiden tarkasteluissa tutkitaan ensisijaisesti pituusmittausvirhettä. Tässä tarkastelussa pituusvirhe pidettiin pienenä. Läpimitan mittauksen tarkkuudella on kuitenkin suurempi vaikutus tilavuustulokseen kuin pituuden mittaustarkkuudella. Läpimitan tarkkuuden merkitys on sitä suurempi mitä kapeampiluokkaista läpimittaluokitusta käytetään.

Läpimitan mittavirheen vaikutus kuusitukkien jakauma-asteeseen on simulointien perusteella selvä:  $\pm 1$  mm:n virhe aiheuttaa 2–3 %-yksikön huonontumisen jakauma-asteeseen ja 2–3 mm:n virhe vaikuttaa jakauma-asteeseen 3–5 %-yksikköä (kuva 1). Simulointitulos kuvaa hyvin mittausvirheestä johtuvaa muutosta, kun vertailuarvona on jakauma-asteen lähes teoreettinen maksimi. Käytännössä jakauma-asteet toteutuvat simuloitavan kaltaisissa leimikoissa yleensä selvästi huonommin. Rungon laatutekijät huonontavat käytännössä jakaumatavoitteen täyttymistä, mutta tällaisessa simuloinnissa niitä ei voida ottaa huomioon. Tutkittua tietoa asiasta ei ole, mutta jakauma-asteet lienevät kuusileimikoissa keskimäärin 75–85 %:n tasolla. Lyhimpien pituusluokkien määrällä on normaalitilanteessa suuri merkitys jakauma-asteen hallintaan. Simuloinnin tulokset osoittavat siis, että virheettömällä läpimitan mittauksella keskimääräisiä jakauma-asteita voitaisiin parantaa muutamia prosenttiyksiköitä. Tarkemmalla pituuden mittauksella pitäisi kuitenkin olla jakauma-asteisiin suurempi vaikutus.



KUVA 1. Läpimitan mittavirheen vaikutus kuusitukkien jakauma-asteeseen (negatiivinen ero = hakkuukonemitta liian pieni, positiivinen mittaero = hakkuukonemitta liian suuri).

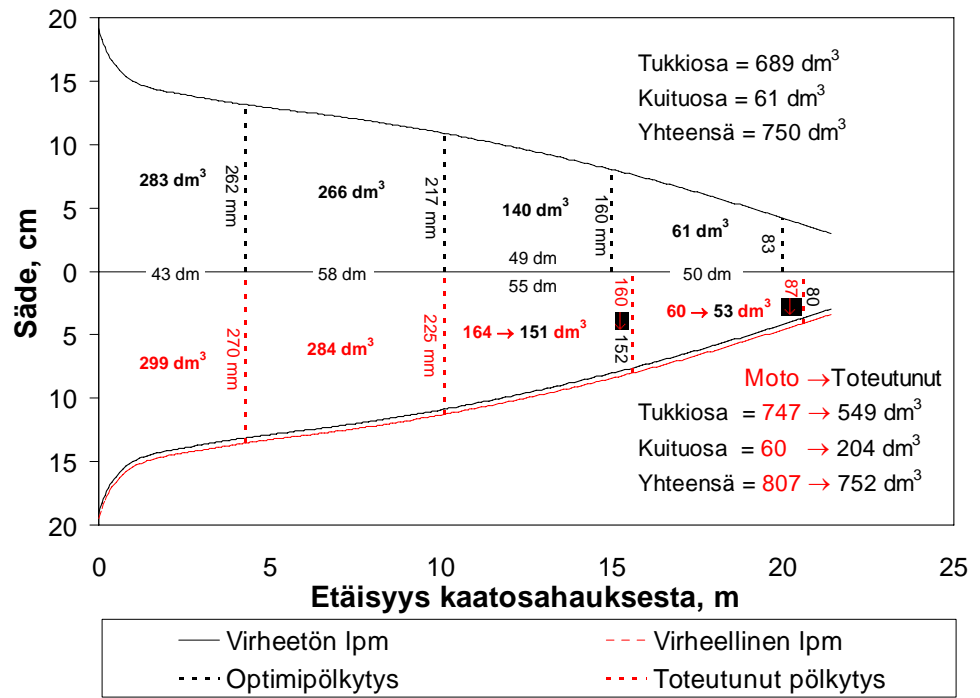
Mittavirheet vaikuttavat jakauma-asteen lisäksi myös puutavaralajikertymiin. Positiivisen mittavirheen tapauksessa näennäiset (= hakkuukoneen virheelliseen läpimittatietoon perustuvat) kokonaiskertymät tietysti kasvavat ja negatiivisen virheen tapauksessa vastaavasti pienenevät virheettömään mittaustulokseen verrattuna. Yksittäisen puutavaralajin kohdalla, etenkin kuitupuulla, vaikutus on usein päinvastainen. Esimerkiksi liian suuria paksumuksia rekisteröivä mittalaite voi ”löytää” tukkirungon latvaosasta vähemmän kuitupuuta kuin oikein mittaava laite, koska osa latvakuitupuusta siirtyy virheellisesti tukkiosaan.

Läpimitta- ja tilavuusvirheiden yhteys muuttuu huomattavasti monimutkaisemmaksi kun tarkastellaan virheellisen mittatiedon perusteella katkottujen runkojen todellisia, minimiläpimittavaatimusten mukaan hyväksyttäviä puutavaralajikertymiä. Tätä havainnollistetaan kuvissa 2 ja 3. Kuvissa runkojen ylempi puolisko esittää oikeiden läpimittojen perusteella optimoitua pölkkytystä ja tilavuustulosta, alapuolisko läpimitan mittausrvirheiden seurauksia.

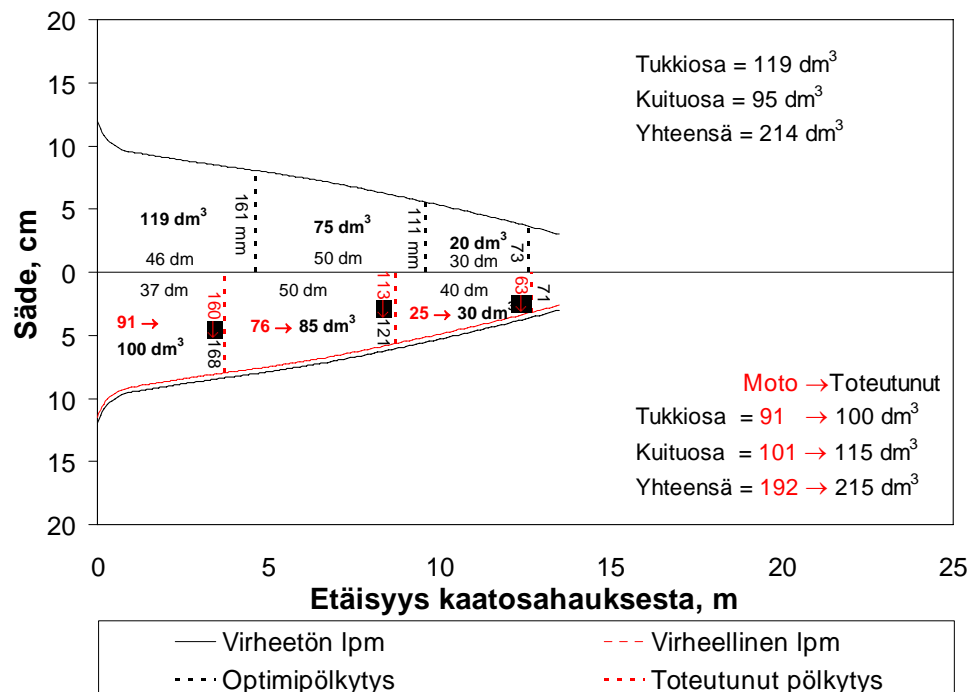
Ensimmäisessä rungossa (kuva 2) mittalaite on rekisteröinyt rungon läpimitat 8 mm todellista suuremmiksi, jolloin tukin ja kuitupuun yhteistilavuus on saatu 55 dm<sup>3</sup> liian suureksi. Puutavaralajitasolla tilavuuserot ovat huomattavan suuria, sillä virheellisen mittatiedon perusteella katkotun rungon latvatukki ei täytäkään minimiläpimittavaatimusta ja se raakataan siitä syystä kuitupuuksi. Tämä puutavaralajisiirtymä suurentaa kuitupuuosuuden yli kolminkertaisesti ja vastaavasti vähentää tukkiosuutta.

Toisessa esimerkkirungossa (kuva 3) läpimittavirhe on negatiivinen. Minimiläpimittavaatimukset eivät negatiivisen mittavirheen tapauksessa aiheuta ongelmia, mutta silti osa tukkiosasta siirtyy kuitupuuksi. Hakkuukone lopettaa tukin ja samoin latvakuitupuun teon ennen kuin niiden minimiläpimitat saavutetaan.

Näissä kahdessa esimerkissä kertymätappiot kohdistuivat tukkipuosaan. Kuitupuussa merkittäviä menetyksiä syntyy esimerkiksi silloin, kun rungon latvasta jää mittavirheen vuoksi kokonainen kuitupölkky tekemättä ja se menetetään hukkapuuksi.



KUVA 2. Esimerkki *positiivisen* läpimittavirheen vaikutuksesta rungon katkontaan ja kertymiin. Yläpuoli katkottu optimaalisesti virheettömän mittatiedon perusteella, alapuoli virheellisin läpimitatiedoin. Katkaisukohtiin merkitty dimensio tarkoittaa läpimittaa.



KUVA 3. Esimerkki *negatiivisen* läpimittavirheen vaikutuksesta rungon katkontaan ja kertymiin. Yläpuoli katkottu optimaalisesti virheettömän mittatiedon perusteella, alapuoli virheellisin läpimitatiedoin. Katkaisukohtiin merkitty dimensio tarkoittaa läpimittaa.

TAULUKKO 3. Lämpimitan mittavirheen vaikutus kuusitukkirunkojen puutavaralajikertymiin.

Lämpimitan mittaero, mm	Konemitta			Hyväksyttävät tilavuudet			Hylätyt
	Tukki	Kuitu	Yhteensä	Tukki	Kuitu	Yhteensä	
	m <sup>3</sup>						
10	885,6	154,2	1040	713,9	193,2	907	59,6
5	838,1	155,5	994	736,7	173,3	910	49,1
3	821,5	154,1	976	752,0	161,9	914	42,3
2	812,8	153,7	967	755,8	162,0	918	37,0
1	803,1	154,6	958	762,9	157,9	921	32,8
0	<b>795,7</b>	<b>155,7</b>	<b>951</b>	<b>795,7</b>	<b>155,7</b>	<b>951</b>	<b>0,0</b>
-1	787,1	152,7	940	775,2	154,4	930	22,0
-2	777,6	153,4	931	779,3	156,4	936	15,2
-3	769,4	152,9	922	781,2	159,9	941	10,2
-5	752,1	152,8	905	781,0	164,3	945	4,1
-10	709,2	153,1	862	768,3	177,6	946	0,2

Taulukossa 3 on kuvattu lämpimitan mittavirheen vaikutusta kuusitukkien puutavaralajikertymiin. Tulokset on saatu esimerkkileimikon apteeraussimuloinnista. Taulukon *Konemitta*-sarakkeissa esitetään hakkuukoneen rekisteröimät tukki- ja kuitupuun kokonaistilavuudet. *Hyväksyttävät tilavuudet* tarkoittavat mittavaatimukset täyttävien tukkien ja kuitupuupölkkyjen tilavuuksia. Mittaero 0 on tulos, joka saadaan virheettömillä läpimittatiedoilla. Jos lämpimitan mittauksessa on positiivista mittavirhettä, eli hakkuukone mittaa läpimitat liian suuriksi, kone rekisteröi tukeille todellista suuremmat tilavuudet. Jos taas kone mittaa läpimitat liian pieniksi, niin tukeille rekisteröidään todellista pienemmät tilavuudet.

Kuitupuun määrät pysyvät suurin piirtein samoina riippumatta virheen suunnasta ja määrästä, koska runkojen yläosista valmistetaan aina samat määrät kuitupuupölkkyjä. Kun hakkuukone mittaa läpimitan todellista suuremmaksi, niin tukkipuusuutta siirtyy kuitupuuhun ja vastaavasti kuitupuusuutta siirtyy alamittaisena hukkapuuhun. Myös siinä tapauksessa, että hakkuukone mittaa läpimitat liian pieniksi, syntyy mittaushajonnan vuoksi latvalämpimitaltaan alamittaisia kuitupuupölkkyjä, jotka hylätään hukkapuuksi. *Hylätyt* sisältää siten positiivisen mittavirheen tapauksessa kuitupuun minimilämpimittaa ohuempaa latvarunkopuuta, jonka hakkuukone on rekisteröinyt kuitupuuksi. Kun mittavirhe on negatiivinen, kuitupuun mitat täyttävää rungonosaa jää latvahukkapuuhun.

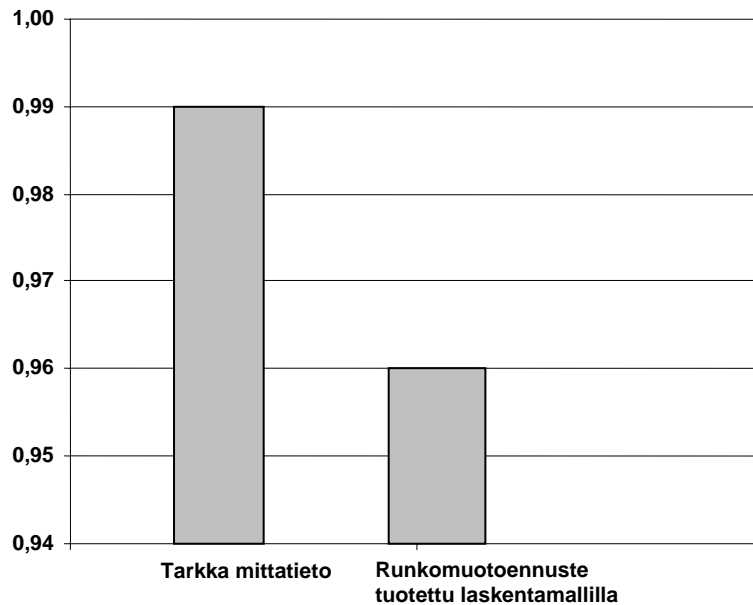
TAULUKKO 4. Lämpimitan mittavirheestä johtuvat puutavaralajien suhteelliset tilavuuserot kuusitukkileimikossa.

Lämpimitan mittaero, mm	Konemitan poikkeamat hyväksyttävistä tilavuuksista		Hyväksyttävien tilavuuksien poikkeamat virheettömistä	
	Tukki	Kuitu	Tukki	Kuitu
	%			
10	24,0	-20,2	-10,3	24,1
5	13,8	-10,3	-7,4	11,3
3	9,2	-4,8	-5,5	4,0
2	7,5	-5,2	-5,0	4,1
1	5,3	-2,1	-4,1	1,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1	1,5	-1,1	-2,6	-0,8
-2	-0,2	-1,9	-2,1	0,4
-3	-1,5	-4,4	-1,8	2,7
-5	-3,7	-7,0	-1,8	5,5
-10	-7,7	-13,8	-3,4	14,1

Taulukossa 4 esitetään lämpimitan mittavirheestä johtuvat suhteelliset puutavaralajipoikkeamat. *Konemitan poikkeamat hyväksyttävistä tilavuuksista* osoittaa hakkuukonemittauksen ja mittavaatimukset täyttävien puutavaroiden suhteelliset tilavuuserot. Kohdassa *Hyväksyttävien tilavuuksien poikkeamat virheettömistä* on kuvattu tukkipuun ja kuitupuun mittavaatimukset täyttävien puutavaroiden tilavuuksien suhteelliset erot virheettömästä mittauksesta saataviin tilavuuksiin.

Kun hakkuukone mittaa lämpimitat liian suuriksi, niin minimimitat täyttävien tukkien todellinen tilavuus on sitä pienempi mitä suurempi virhe on kyseessä. Esimerkiksi kun hakkuukone mittaa lämpimitat 10 mm todellista suuremmiksi, niin tukkiosuudelle saadaan tuolloin 24 % liian suuri tilavuus (taulukko 4).

Tuloksista voidaan havaita, että tukkitilavuuksien osuvuus jopa hieman paranee, kun systemaattinen negatiivinen virhe suurenee, eli kun hakkuukone mittaa lämpimitat todellista pienemmiksi. Tämä selittyy sillä, että läpimittoihin sisältyy aina systemaattisen virheen lisäksi normaalijakautunut hajonta, joka on melko suuri (4 mm) suhteessa muutaman millimetrin systemaattiseen virheeseen. Kun systemaattinen virhe on pieni, niin useissa läpimitoissa on hajonnan takia positiivinen mittaero, jolloin hakkuukoneen tukiksi katkoma pölkky on todellisuudessa alamittainen ja siirtyy kuitupuuksi. Kun virhe suurenee merkittävästi, niin myös ero virheettömän mittauksen tilavuustulokseen kasvaa, eikä kuitupuupölkkyissä enää esiinny alimitaisia, hylättäviä kappaleita. Sen sijaan tukin ja kuitupuun kokonaistilavuus suhteessa oikeaan alkaa pienentyä, koska kuitupuuosuutta siirtyy mittavirheen takia metsään jäävään latvukseen.



KUVA 4. Runkomuotoennusteen vaikutus kuusitukkien jakauma-asteeseen.

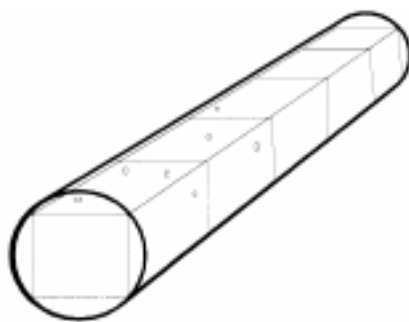
Runkomuodon ennusteen merkitystä kuusitukkien jakauma-asteeseen tarkasteltiin erillisellä apteraaussimuloinnilla. Jakauma-aste laski noin 3 %-yksikköä, kun käytettiin runkumuodon ennustetta tarkan mittatiedon sijaan. Jos jakauma-asteen toteutuma on käytännössä 60–80 % tasolla, niin runkumuodon ennusteesta johtuva virhe ei yksistään selitä paljoa katkonnan tuloksesta (kuva 4).

## 3.2 Lustot puun laadun selittäjänä

### 3.2.1 Aineiston ja menetelmän kuvaus

Tarkasteltavana aineistona käytettiin Metsätehon Tuotelähtöinen Puunhankinta -projektissa (TULP) kerättyä ja tarkasti analysoitua runkotietoa (Lukkarinen ym. 1998a). Projektissa koepuuaineiston muodostaneet rungot sahattiin ja saheista digitoitiin kolmiulotteiset mallit, joista selviää mm. sisäoksien tarkka rakenne ja lustojen määrät.

Tässä tutkimuksessa runkojen katkenta ja sahaus suoritettiin TULP-projektissa toteutetulla TARVO-sahaussimulaattorilla (Lukkarinen ym. 1998b). Rungot katkottiin viiden metrin mittaisiksi tukeiksi ja kullekin tukille kuvattiin tukin pinta- ja ulko-oksat. Tukit sahattiin neliöasetteella siten, että sydäntavaran lappeet sijoitettiin puun kasvunaikaisiin pääilmansuuntiin (kuva 5). Kullekin lappeelle Tarvo muodosti sille leikkautuvat oksat. Sahauspintojen oksaisuus määritettiin 1 m:n pituisilta pinnoilta tukin tyveltä tukin latvaan (4 kpl pintoja / 1m tukkia). Kaikki pinnat luokiteltiin NT-laatuihin (pohjoismainen sahatavaraluokitus, liite 2).



KUVA 5. Neliöasetteen asemointi ja laadutusperiaate.

Tähän tutkimukseen valittiin TULP -koepuuaineistosta 119 kappaletta mäntyjä. Niistä kustakin tarkasteltiin vain ensimmäistä tyveltä viiden metrin pituista kappaletta. Kullekin neliösahatulle metrin mittaiselle osalle tyvikappaletta määritettiin laatu huonoimman sahauspinnan mukaan. Näin ollen, jos kaikki neljä pintaa ovat jotain laaduista A1 - A4, niin kyseessä oleva metrin pätkä on A-laatua. Jos jokin pinnoista on B-laatua muiden ollessa A:ta, niin ko. metrin laatu on B. Jos taas yksikin sivu on C-laatua, niin myös ko. metri on C:tä.

Tarkastelussa käytetty puukohtainen lustojen lukumäärä laskettiin 2 – 8 cm etäisyydeltä ytimestä. Lustot laskettiin ytimestä sekä itä- että länsisuuntaan ja tulokseksi otettiin niiden keskiarvo. Laatuluokituksen ja lustojen lukumäärän lisäksi kustakin puusta otettiin mukaan tarkasteluun puun ikä, rinnankorkeusläpimitta ja kuivaoksaraja.

### 3.2.2 Tulokset

Taulukkoon 5 on koottu luokitellusti niiden runkojen ominaisuudet, joiden tyviosissa on A-laatuisia pölkkyjä yhden metrin pätkissä tarkasteltuna. Rinnankorkeusläpimitta, kuivaoksa-raja, ikä ja lustojen lukumäärä ovat kaikkien ko. luokkaan kuuluvien runkojen ominaisuuksien keskiarvoja.

TAULUKKO 5. Kasvunopeuden ja A-laatuisen sahauspinnan pituuden välinen riippuvuus esimerkkirungoissa

A-laatua tyveltä, m	Tukkeja, kpl	$D_{1,3}$ cm	Ikä, vuotta	Kuivaoksaraja, m tyveltä	Lustoja 2 – 8 cm vyöhykkeellä, kpl	Lustonpaksuus, mm
1	33	30	116	5,2	42	1,43
2	12	25	121	6,3	57	1,05
3	6	22	112	6,2	56	1,07
5	2	21	127	6,5	74	0,81

Käytettävissä oleva aineisto oli pieni ja siinä laatuluokkien keskimääräiset lustonpaksuudet poikkesivat toisistaan melko vähän, 0,81–1,43 mm. Nopeasti kasvaneita puita ei ole lainkaan. Tuloksista voidaan kuitenkin havaita, että A-laadun määrä korreloi voimakkaasti kasvunopeuden, eli tässä tapauksessa lustojen lukumäärän, suhteen. Lustojen lukumäärä on sitä suurempi mitä pitempi osa tyvestä on A-laatua. Sen sijaan kuivaoksaraja ei tässä aineistossa selitä laatua yhtä selvästi. Tätä johtopäätöstä tukee sekin, että kuivaoksarajan ja sydäntavaran laadun heikko korreloivuus on todettu useissa muissakin tutkimuksissa. Muun muassa Kärkkäinen (1986) ja Björklund (1997, 1998) ovat päätyneet samaan johtopäätökseen.

Koska käytettävissä ollut aineisto oli pieni, muodostettiin tukin A-laadun määrittäystä sallivampi laatu A', johon vaadittiin neliösahaustuksessa kaksi A-laatuista pintaa. Näin saatiin kasvatettua "A-laatuisten" tukkien lukumäärä. Tämän uuden määrittelyn mukaiset tulokset on esitetty taulukossa 6.

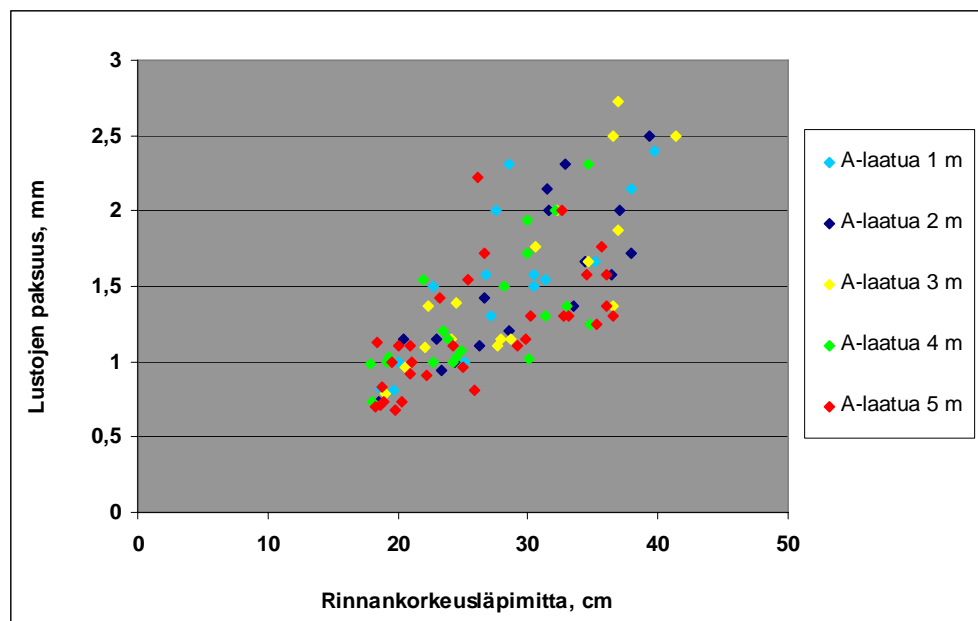
Tuloksista on havaittavissa, että tukkien lukumäärät ovat nyt selvästi suuremmat kuin taulukossa 5. Sama korrelaatio A'-laadun ja kasvunopeuden välillä esiintyy myös näissä tuloksissa, joskin luston paksuus alkaa selvästi pienentyä vasta 4 m A'-laatua sisältävissä tukeissa.

Taulukon 6 havainnot tulostettiin myös pisteparvena, jossa x-akselilla on rinnankorkeusläpimitta ja y-akselilla luston paksuus (ks. kuva 6). Kukin tukki on kuvassa yksittäisenä pisteenä ja sen väri kertoo tukin laadun. Mitä alempana tukkia edustava piste kuvassa on, niin sitä hidaskasvuisempi puu on ollut. Laadukkaimpien A'-laatua 4 ja 5 metriä olevien tukkien havainnot sijoittuvat osin kuvan alaosaan, mutta hajontaa niissäkin on jonkin verran.

TAULUKKO 6. Kasvunopeuden ja A'-laatuisten (vähintään 2 pintaa neljästä on A-laatua) sahauspinnan pituuden välinen riippuvuus esimerkkirungoissa

A-laatua tyveltä, m	Tukkeja, kpl	D <sub>1,3</sub> cm	Ikä, vuotta	Kuivaoksaraja, m tyveltä	Lustoja 2 – 8 cm vyöhykkeellä, kpl	Lustonpaksuus, mm
1	15	28	100	6,0	43	1,40
2	18	30	117	5,6	42	1,43
3	17	30	113	6,5	43	1,40
4	20	26	112	6,0	49	1,22
5	32	26	114	7,1	55	1,09





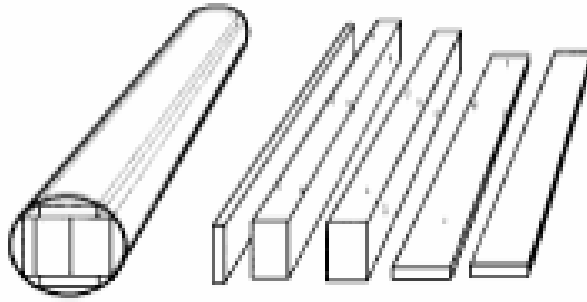
KUVA 6. Tyvitukit, joissa vähintään 2 pintaa A-laatua, rinnankorkeusläpimitan ja lustonpaksuuden mukaan.

Seuraavaksi tarkasteltiin sellaisten runkojen ominaisuuksia, joissa on tyvellä B-laatuinen pölkky. B-laatuiseksi luokiteltiin kaikki sellaiset tukit, joiden ensimmäinen metri oli B-laatua. 2-metrin luokkaan (taulukko 7, ensimmäinen rivi) kuuluvat ne tukit, joiden ensimmäinen metri on B-laatua ja toinen metri on joko A- tai B-laatua. Kolmas metri 2-metrin luokkaan kuuluvilla tukeilla on B:tä huonompaa laatua. Samalla periaatteella määritettiin myös taulukon muut luokat (rivit).

Tulostaulukosta havaitaan, että keskimääräiset tunnusluvut ovat hyvin lähellä toisiaan. Tämän aineiston ja siitä saatujen tulosten perusteella ei voida tehdä B-laatua selittäviä johtopäätöksiä.

TAULUKKO 7. Kasvunopeuden ja B-laatuksen sahauspinnan pituuden välinen riippuvuus esimerkkirungoissa

B-laatua tyveltä, m	Lkm	$D_{1,3}$ cm	Kuivaoksaraja, m	Ikä, vuotta	Lustoja 2 – 8 cm vyöhykkeellä, kpl	Lustonpaksuus, mm
2	2	32	3,5	98	39	1,54
3	4	26	3,8	106	49	1,22
4	7	33	5,9	105	34	1,76
5	49	27	6,8	107	46	1,30



KUVA 7. Sahausta jäljittelevä asete.

Viimeisessä tarkastelussa simuloitiin sahausta taulukon 5 tukeilla. Tällä haluttiin ensisijaisesti tarkastella kasvunopeuden ja sahatavaran arvon välistä riippuvuutta. Sahaus tehtiin TARVO-simulaattorilla ja siinä käytettiin todellista sahausta jäljittelevää asetetta (kuva 7). TARVO osaa hyödyntää puiden sisäistä geometriaa rungon katkontaa ja sahausta simuloitaessa.

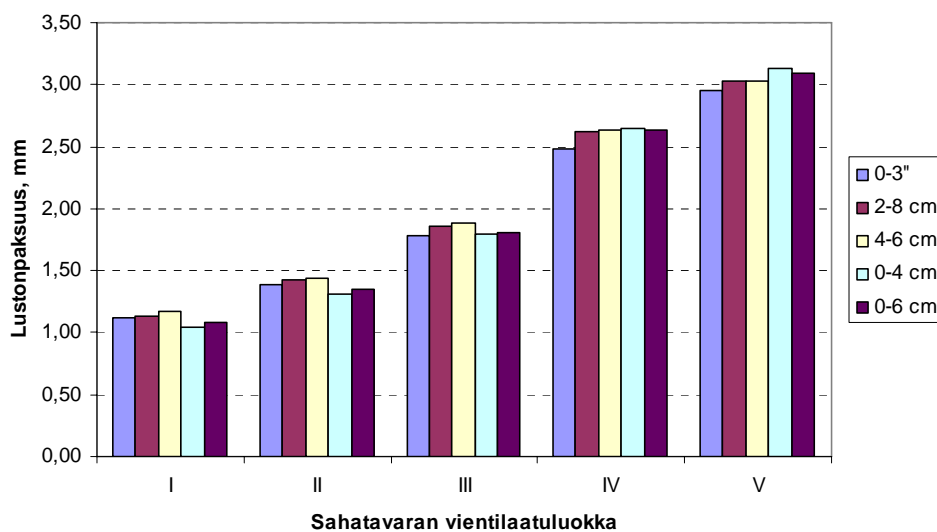
Simuloidun sahauksen tulokset on esitetty taulukossa 8. Sahatavaran vertailuarvoksi on asetettu niiden runkojen sahaustulos, joilla A-laatua on tyvellä yksi metri. Tuloksista voi selvästi huomata sen, että mitä enemmän rungossa on A-laatuosuutta, sitä hitaammin se on kasvanut ja sitä arvokkaampaa siitä tuotettu sahatavara on.

Kuten aiemmin mainittiin, käytettävissä ollut aineisto oli määrällisesti pieni ja lisäksi sen laatu-tunnusten vaihtelu oli kovin kapea-alaista. Silti hyvälaatuisten tyvitukkien kasvunopeus ja laatu-korrelaatio oli selvä.

TAULUKKO 8. Kasvunopeuden ja tyvitukin sahatavarakappaleiden arvon välinen riippuvuus esimerkkirungoissa.

A -laatua tyveltä, m	$D_{1,3}$ cm	Kuiva-oksaraja, m	Tyvitukin pituus, m	Luston paksuus 2 – 8 cm:n vyöhykkeellä, mm	Sahatavaran suhteellinen arvo/m <sup>3</sup>
1	31	5,7	4,95	1,43	100
2	25	6,9	4,68	1,05	119
3	23	6,6	4,50	1,07	129
5	21	6,7	4,75	0,81	194

### Lustonpaksuus / 2" lankkujen laatu (Heiskanen 1954)



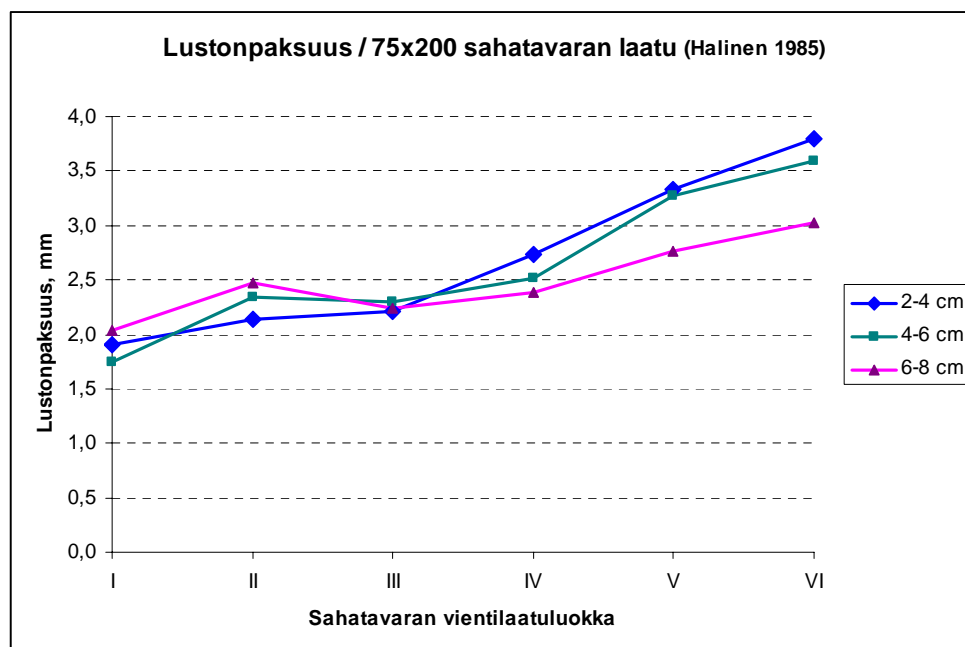
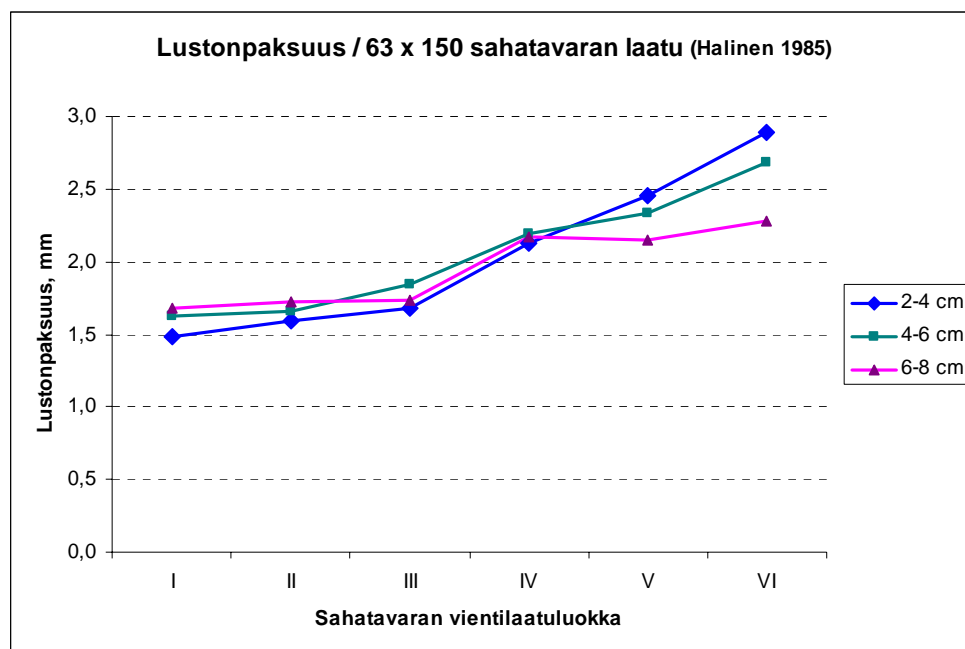
KUVA 8. Eri etäisyyksiltä ytimestä mitatut lustonpaksuudet mäntysahatavaran laadun selittäjänä Heiskanen (1954) tutkimuksessa.

Lustonpaksuuden voimaa sahatavaran laadun selittäjänä ovat tutkineet mm. Heiskanen (1954) ja Halinen (1985). Heiskanen tutkimuksessa esitetään mäntylankuista sahatavaran ventilaaduittain mitatut lustonpaksuudet. Keskimääräiset lustonpaksuudet vaihtelivat noin 1–3 mm ja olivat ytimestä 2–8 cm:n vyöhykkeellä seuraavan asetelman mukaiset:

Ventilaatuluokka	Lustonpaksuus, mm
I	1,13
II	1,43
III	1,86
IV	2,62
V	3,03

Heiskanen tutkimuksessa eri levyisiltä vyöhykkeiltä tukin ytimestä mitatut lustonpaksuudet poikkesivat toisistaan vain vähän (kuva 8). Parhaimmaksi selittäjäksi todettiin ytimestä 0–4 cm olevan alueen lustot. Aineistossa ei siis esiintynyt nuoruusvuosien kasvunvaihtelua häiritsevässä määrin.

Halisen tutkimuksessa sahatavaran laatua osoittivat parhaiten 2–4 ja 4–6 cm:n vyöhykkeiltä mitatut lustonpaksuudet (kuva 9). Tuloksista nähdään, että lustonpaksuuteen perustuviin laatuennusteisiin on otettava mukaan sahatavaran tai tukkien järeys. ”A”-laadun saaminen pienikokoisesta tukista edellyttää tiheämpilustoista puuta kuin ”A”-laadun saaminen järeästä tukista. Se johtuu ennen muuta siitä, että suuressa saheessa sallitaan suuremmat oksat kuin pienessä saheessa. Todennäköisesti lustonpaksuuteen perustuvien laatuennusteiden tarkkuutta voidaan parantaa, jos niihin otetaan mukaan metsikkötietoja, kuten kasvupaikan laatu.



KUVA 9. Eri etäisyyksiltä ytimestä mitatut lustonpaksuudet mäntysahatavaran laadun selittäjänä Halisen (1985) tutkimuksessa.

Pohjoismaisen sahatavaran laatuluokituksen A-laadut vastaavat suurin piirtein em. ventilaatujen luokkia I - III ja B-luokka ventilaadun IV luokkaa. Tukien laatuluokituksen osalta Heiskanen päätyy suosittamaan I-luokan tukille silloisen 3 mm:n sijasta enintään 2,5 mm:n lustonpaksuutta. Lisäksi tutkimuksessa todetaan, että hyviä lautapuita ovat tukit, joissa lustonpaksuus on alle 1,4 mm. Myös tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että alle 1,4 mm lustonpaksuus indikoi runsasta A-laatuisten sahatavaran saantoa. Halisen aineisto käsitti järeämpiä saheita kuin Heiskasen aineisto. Niin ollen hyvälaatuisia saheita saatiin suuremmilla lustonpaksuuksilla (1,5 – 2,2 mm) kuin Heiskasen aineistossa.

## 4 KUVATEKNIIKAN SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN

### 4.1 Soveltaminen hakkuukoneympäristössä

Nykyistä tarkempi dimensiomittaus ja laatutunnusten automaattinen määrittäminen ovat avaintekijöitä puuraaka-aineen tehokkaalle hyödyntämiselle. Yhden millimetrin virhe läpimitan mittauksessa heikentää jakauma-astetta 2 – 3 %-yksikköä ja läpimitan mittausvirheiden vuoksi tukkiosaa siirtyy kuitupuuhun. Rungosta tulisi saada mittahavaintoja jo ennen sen kaatamista. Esimerkiksi oksattomalta tai vähäoksaiselta osuudelta tyvestä saatujen läpimittojen ja puun pituusmittauksen perusteella rungosta voitaisiin muodostaa melko tarkka muotoennuste katkonnan optimointilaskentaa varten. Puuta koskettamaton mittaus voitaisiin käyttää myös joukkohakkuumenetelmässä. Teknisinä ratkaisuinä tulevat kyseeseen ennen muuta digitaalikuva- ja lasertekniikat.

Tärkeää olisi saada mitatuksi kuoreton läpimitta sekä laatutunnuksia. Laadun osalta tärkeimpiä ovat tyvilahon tunnistus sekä lustotietojen määrittäminen. Niihin ratkaisu löytyy ennen muuta kuvatekniikasta. Teknisesti ratkaisu voi perustua kameroihin tai sahalaipan anturointiin. Käytännössä voitaisiin vaikka integroida mekaanisten ja puuta koskettamattomien anturien toiminta niin, että mekaanisten antureiden kalibrointi olisi jatkuvaa ja automaattista.

Puuta koskettamattomien tekniikoiden soveltaminen hakkuukoneympäristössä on haastava tehtävä, koska toimintaolosuhteet ovat vaihtelevat ja äärevät. Laitteiden, kuten kameroiden ja laserlaitteiden, sijoittaminen hakkuukoneeseen ja pitäminen toimintakuntoisina on jo sinänsä vaativaa. Koneen tärinä asettaa omat vaatimuksensa käytettävälle tekniikalle, kiinnityksille ja kamerakalibroinnillekin. Mittalaitteen kalibrointimittauksessa kamerat ja oheislaitteet voitaneen sijoittaa ohjaamoon, joko sisä- tai ulkopuolelle. Tuotannonaikainen mittaus ja laatutunnusten, kuten lustojen ja lahon, mittaus edellyttävät kameroiden ym. laitteiden sijoittamista hakkuulaitteeseen.

Osa laatutunnuksista ja poikkileikkauspinnan dimensiot voidaan määrittää katkaisun yhteydessä, jolloin pölkyn ja hakkuulaitteen välinen liike on hetkellisesti lähes pysähdyksissä. Jos sen sijaan halutaan tuottaa mekaaniseen tunnusteluun perustuvan mittaustekniikan korvaavaa läpimitta- ja pituusinformaatiota koko pölkyn matkalta, vaatimustaso kasvaa huomattavasti. Sekä itse laitteisto että mittauksen kohteena oleva pölkky tärisyvät syötön aikana korkeataajuisesti eikä liike ole symmetristä. Tästä syystä kameran ja pölkyn välistä etäisyyttä ei voida vakioda. Pölkyn poikittainen liike kameraan nähden on hetkittäin nopeampaa kuin syötönsuuntainen liike.

Ensimmäisessä vaiheessa olisi sen vuoksi perustellumpaa kehittää uutta mittaustekniikkaa hakkuukonemittauksen kalibrointiin kuin kaikkien pölkkyjen tuotannonaikaiseen mittaukseen. Tukkien pituuskatkonnan tarkkuutta parantamalla voidaan välttää alamittaisten pölkkyjen teko sekä parantaa raaka-aineen käyttötehokkuutta kun tasausvaraa voitaisiin lyhentää nykyisestä. Tuotannonaikaisessa mittauksessa tuotettavia uusia tietoja olisivat pölkyn pään kuoreton läpimitta, lustotiedot ja lahon esiintyminen. Ne mahdollistaisivat runkojen katkonnan nykyistä paremmin puuraaka-aineen jalostusarvon mukaan.

## 4.2 Soveltaminen tehdasvastaanotossa

Tukkien mittauksessa ja lajittelussa sahalla olisi tärkeää saada mitatuksi kuoreton läpimitta ja tukin muoto tarkasti. Kuoreton läpimitta ja tukin sisäiset oksat saadaan selville läpivalaisulla ja ensimmäiset röntgenlaitteistot onkin otettu sahoilla käyttöön. Röntgenlaitteistot merkitsevät kuitenkin melko suurta investointia. Niiden vaihtoehtona voisi toimia pääosin digitaalikuviin perustuva mittaustekniikka, jolla saadaan määritetyksi tukin kuoreton läpimitta ja lustokartta laatuennusteiden perustaksi.

Kuvatekniikan kehittäminen tukkien yksinkappalein mittaukseen sahalla on helppoa, koska kameratekniikkaa on sovellettu sahaympäristössä jo pitkään. Sahaympäristö on melko stabiili ja mm. valaistusolosuhteet voidaan tukkulinjalla säätää käytettävän tekniikan vaatimalle tasolle. Sahatukkien vastaanotossa kameratekniikka voisi täydentää dimensiomittausta tuottamalla tukin päästä kuorettoman läpimitan ja laatutunnuksia, kuten lustotiedot. Tavoitteena on tukkien automaattinen laatulajittelu. Koska kameran tai kameroiden tarkka sijainti kohteesta on määritettävä, on luontevaa, että tukkien mittauksessa sovelletaan kuva- ja lasermittauksen yhdistelmää.

Kuitupuun tehdasmittauksessa mitattavana kohteena ja lajitteluyksikkönä voisi olla puutavaraniippu. Siitä tulisi tilavuuden lisäksi määrittää laatutietoa, kuten puuaineen tiheyttä ja kuidunpituutta osoittavia tunnuksia. Mittaustehävä on selvästi vaikeampi kuin yksittäisten tukkien mittaaminen sahalla. Esimerkiksi tarkkojen kuvien ja mittatietojen saaminen puunipun epätasaisesta päädyistä on vaikeaa. Niput ovat yksittäin kuvattavissa vain kuormia purettaessa. Toisaalta nippujen siirtely kurottajalla tarjoaa mahdollisuuksia nippujen kuvauksen ja mittaamisen järjestelyihin. Kameroille ja oheislaitteille voidaan etsiä sijoituspaikkoja sekä kurottajasta että sen lähiympäristöstä. Mittauksessa ja ominaisuusmäärittämisissä voidaan hyödyntää myös kurottajavaakoja. Joka tapauksessa nippukohtainen mittaaminen ja laadun määrittäminen ovat tarpeen, jos kuitupuuta halutaan lajitella nykyistä tehokkaammin.

## KIRJALLISUUS

- Björklund, L. 1997. The Interior Knot Structure of *Pinus sylvestris* Stems. Scandinavian Journal of Forest Research 12: 430-412. Scandinavian University Press.
- Björklund, L. & Julin B. 1998. Värdeoptimerad sönderdelning av datortomograferade tallstammar. SLU, Institutionen för Skog-Industri-Marknad Studier. Rapport nr 48. Uppsala.
- Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. *Silva Fennica*, vol. 19, n:o 4: 377-386.
- Heiskanen, V. 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukin ladun välisestä riippuvuudesta. *Commun. Inst. For. Fenn.* 44(5).
- Kilki, P. 1983. Sample trees in timber volume estimation. *Acta For. Fennica* 182.
- Kärkkäinen, M. 1986. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. *Silva Fennica*, vol 20, n:o 2:107-116.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Commun. Inst. For. Fenn.* 108:1-74.
- Lukkarinen, E., Keskinen, S., Marjomaa, J., Pennanen, O. & Räsänen, T. 1998a. Menetelmä yksityiskohtaisen runkotiedon tuottamiseksi ja aineiston kuvaus. Metsätehon raportti 45, 13.2.1998. Metsäteho Oy.
- Lukkarinen, E., Keskinen, S., Marjomaa, J. & Pennanen, O. 1998b. Tukin ja rungon arvon laskentaohjelmiston kuvaus. Metsätehon raportti 49, 27.2.1998. Metsäteho Oy.
- Pohjoismainen sahatavara. Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. 1994.

## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

Sahalla tukkien sahauseriin lajittelussa tehtävä tarkastelu

## Mänty- ja kuusitukki

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Pölkyn pituus	Päiden välimatka	mm	Pituuslajittelu; kuutiointi; oksaisuuslaskenta
Latvaläpimitta	1. kuoreton minimi	mm	Lajittelu minimilpm:n mukaan; keskim. lustonpaksuuslaskenta > lustonpaksuutta voidaan hyödyntää lujuuslajiteltavan raaka-aineen lajittelussa
	2. kuoreton maksimi	mm	Soikeuden laskenta > merkitystä lähinnä tukin suuntauksessa sahalinjaan, ei niinkään tukkilajittelussa
	3. Kuoren päältä minimi	mm	Kuorellinen kuutiointi, kuoren paksuus > puutuva kuori, lumi, jää tunnistettava
	4. 3D-kuva ja siitä tilavuus kuorineen		Kuutiointi, puutuva kuori ym. otettava huomioon
Lustot	1. lukumäärä latvassa	kpl	Keskim. lustonpaksuus tai lustokartta
	2. lukumäärä tyvessä	kpl	Keskim. paksuuskasvunopeus, oksakiehkuroiden lukumäärä tyvi - latvalustojen erotuksena > käyttö esim. puutuotteiden raaka-ainevalinnassa
	3. lukumäärä esim. 80 mm halkaisijalla ytimeistä latvassa	kpl	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa > tyvi-, latva-, välitukkien lajittelu
Sydänpuu	Läpimitta latvassa	mm	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa > tasa-laatuisuus ja komponenttilaadut yms.
Oksat	Lukumäärä pölkkyssä	kpl	oksaisuus, kpl/m > hyvälaatuinen tyvi, latvatukki
	Oksakiehkurat	kpl	oksakiehkuroita, kpl/m; pituuskasvunopeus > komponenttilaadut ym.
	Kokojakauma, maksimishalkaisija	mm	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Laho	Lahoalueen pinta-ala ja sijainti	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Lyly	Lylyalueen pinta-ala ja sijainti	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Runkomuoto	Lenkous, mutkat	mm/m	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Pölkkylaji	Sijainti rungossa ja laatu		Tyvipölkky ja muut pölkkyt, kuivaoksainen ja terveoksainen



## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

**Sellutehtaalla** otantaerien **nappuloinnin** yhteydessä tehtävä tarkastelu

## Mänty- ja kuusisellupuu

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Pölkyn pituus	Päiden välimatka	mm	Pölkyn pituus
Latvaläpimitta	1. Kuoreton	mm	Kuoreton läpimitta, lustonpaksuuslaskenta
	2. Kuoren päältä	mm	Kuorellinen läpimitta, kuoren määrä
	3. 3D-kuva ja tilavuus kuorineen		Kuutiointi
Lustot	Lukumäärä	kpl	Keskim. lustonpaksuus, paksuuskasvunopeus
Sydänpuu	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori
Kasvuaikainen kova laho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Kasvuaikainen pehmeä laho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pönttölaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Vauriolaho	Pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Lahon määrä
Kova varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pehmeä varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Lyly	Lylyalueen pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Kuoren määrä	Kuoren osuus koko vaipasta	%	Pölkkyjen kuoriutuminen

## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

**Sellutehtaalla** puun vastaanotossa **kuormakohtaisesti** tehtävä tarkastelu

## Mänty- ja kuusisellupuu

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Latvaläpimitta	Kuoren päältä	mm	Sovitus mitat
	Kuoren alta	mm	Lustonpaksuuslaskenta, kuoren määrä
Lustot	Lukumäärä	kpl	Keskim. lustonpaksuus, laatuluokittelu
Kasvuaikainen kova laho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Kasvuaikainen pehmeä laho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pönttölaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Vauriolaho	Pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Lahon määrä
Kova varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pehmeä varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pinotiheys	Pölkypäiden pinta-ala kuvassa	dm <sup>3</sup>	Kuutiointi, lumen ja kuoren määrä erässä

## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

**Sellutehtaalla** otantaerien **nappuloinnin** yhteydessä tehtävä tarkastelu

**Koivukuitupuu**

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Pölkyn pituus	Päiden välimatka	mm	Pölkyn pituus
Latvaläpimitta	1. Kuoreton	mm	Kuoren määrä, lustonpaksuuslaskenta
	2. Kuoren päältä	mm	Kuoren määrä
	3. 3D-kuva ja tilavuus kuorineen		Kuutiointi
Kasvuaikeista lahoa	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Kova varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pehmeä varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Kuoren määrä	Kuoren osuus koko vaipasta	%	Pölkkyjen kuoriutuminen

## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

**Sellutehtaalla** puun vastaanotossa tehtävä **kuormakohtainen** tarkastelu

**Koivukuitupuu**

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Latvaläpimitta	Kuoren päältä	mm	Lustonpaksuuslaskenta
Kasvuaikeista lahoa	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Kova varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pehmeä varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Pinotiheys	Pölkynpäiden pinta-ala kuvassa	dm <sup>3</sup>	Kuutiointi, lumen ja kuoren määrä erässä

## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

## Hiomolla tehtävä tarkastelu – nappulointi

## Kuusihiomopuu

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Pölkyn pituus	Päiden välimatka	mm	Pölkyn pituus
Latvaläpimitta	1. Kuoreton	mm	Kuoren määrä, lustonpaksuuslaskenta
	2. Kuoren päältä	mm	Kuoren määrä
	3. 3D-kuva ja tilavuus kuorineen		Kuutiointi
Lustot	Lukumäärä	kpl	Keskim. lustonpaksuus, paksuuskasvunopeus
Sydänpuu	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori
Sinistymä	Pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori
Kova varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Lyly	Lylyalueen pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Kuoren määrä	Kuoren osuus koko vaipasta	%	Pölkkyjen kuoriutuminen

## MÄÄRITYKSET DIGIKUVISTA

## Hiomolla tehtävä tarkastelu – laadun määrittäminen puun vastaanotossa (kuormasta)

## Kuusihiomopuu

Suure	Mitattava kohde	Data	Sovellus
Latvaläpimitta	Kuoren päältä	mm	Sovitut mitat
	Kuoren alta	mm	Lustonpaksuuslaskenta, kuoren määrä
Lustot	Lukumäärä	kpl	Keskim. lustonpaksuus, paksuuskasvunopeus
Sydänpuu	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori
Sinistymä	Pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori
Kova varastolaho	Läpimitta, pinta-ala	mm, cm <sup>2</sup>	Lahon määrä, laadun indikaattori
Lyly	Lylyalueen pinta-ala	cm <sup>2</sup>	Laadun indikaattori, käyttö lajittelussa
Pinotiheys	Pölkynpäiden pinta-ala kuvassa	dm <sup>3</sup>	Kuutiointi, lumen ja kuoren määrä erässä

## POHJOISMAISET SAHATAVARAN LAATULUOKAT

Laatuominaisuuksien mukaan sahatavara jaetaan pääluokkiin A, B, C ja D. A on korkein laatuluokka, ja se jakautuu vielä luokkiin A1...A4. Yleensä laatuluokan määrää oksaisuus, oksien koko, lukumäärä ja laatu. Muita tekijöitä ovat mm. halkeamat, vajaasärmäisyys, pihkakolot, kaarnarosot ja korot, vinosyisyys, latvamurtuma, lyly, pehmeä laho, muotoviat, värinmuutokset, hyönteisvauriot ja käsittelyvauriot. Kukin sivu arvostellaan erikseen ja laatu määräytyy huonoimman yhden metrin matkalta. Saheen sisälapteen laatu saa olla yhtä laatuluokkaa huonompi kuin pintalapteen laatu.

### Laatuluokka A

A on korkein laatuluokka. A-laatuksen sahatavaran käyttökohteita ovat mm. puusepäntuotteet, joissa puutavaralle asetetaan korkeat ulkonäkövaatimukset. Huonoimman metrin matkalla saa olla enintään 4 oksaa lappeella ja 2 oksaa syrjällä.

### Laatuluokka B

Oksien sallittu enimmäismäärä huonoimmalla 1 metrin osuudella:

- Lappeella terveitä oksia 5, joista 3 kuorioksia
- Syrjällä terveitä oksia 3, joista 2 kuorioksia

Muiden oksien koko ulkolapella ja syrjällä:

- Ryhmäoksa enintään 70 % terveen oksan mitasta
- Kuivaoksa enintään 70 % terveen oksan mitasta
- Kuoren ympäröimä oksa enintään 60 % terveen oksan mitasta
- Laho oksa enintään 50 % terveen oksan mitasta

### Oksien maksimikoko:

Saheen mitat, mm		Maksimioksa A-laadussa, mm		Maksimioksa B-laadussa, mm	
Paksuus	Leveys	Lappeella	Syrjällä	Lappeella	Syrjällä
16–25	75–115	20	18 tai 20*	35	--
	125–150	25		40	
	175–225	30		45	
32–38	75–115	25	28	40	30
	125–150	30		45	
	175–225	35		50	
44–50	75–115	30	30	45	40
	125–150	35		50	
	175–225	40		55	
63–75	75–115	35	35	50	50
	125–150	40		55	
	175–225	45		60	

\* 16–19 paksuilla 18 mm ja 22–25 paksuilla 20 mm