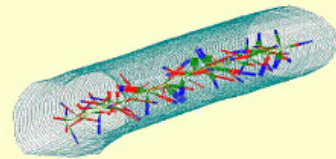
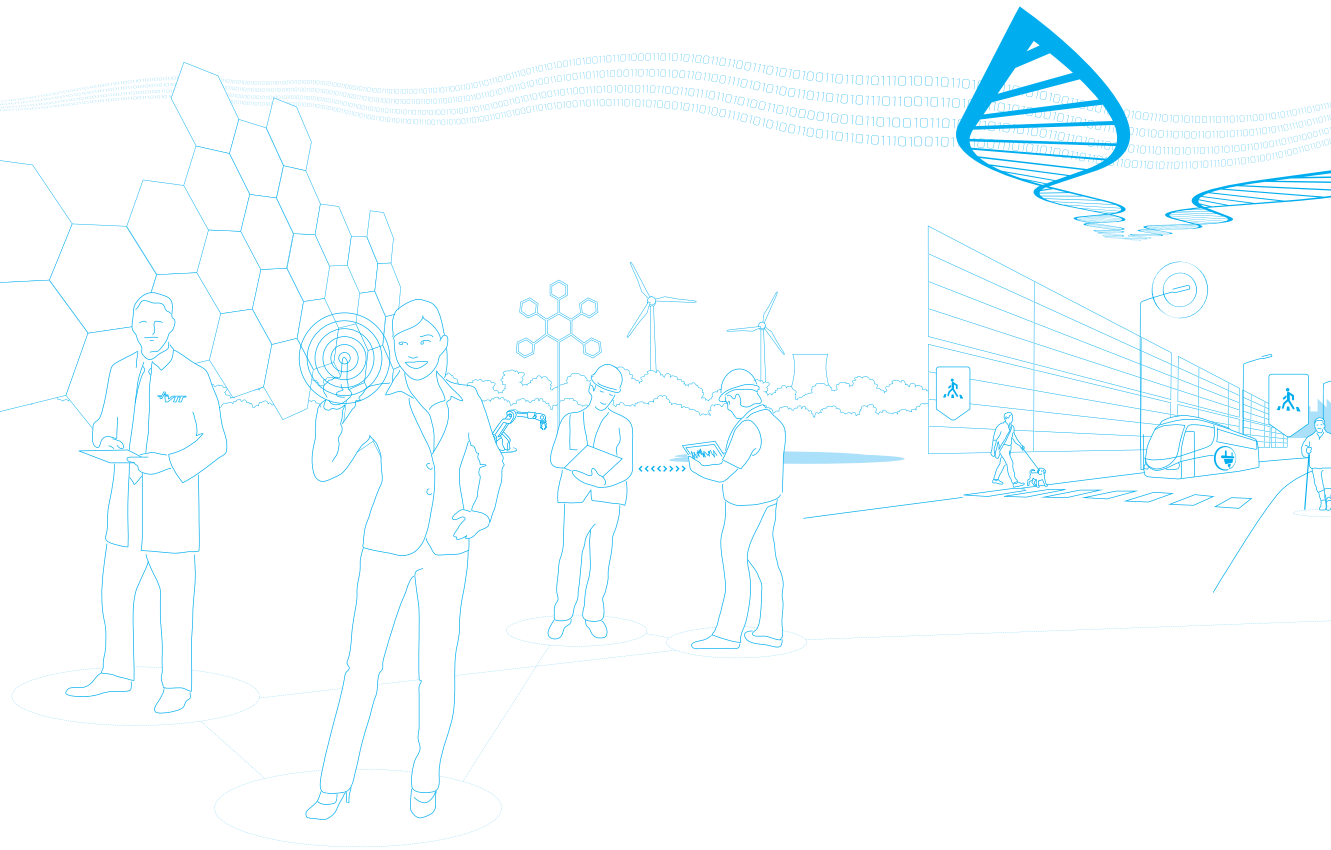


Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus

DigiPOS-hankkeen loppuraportti

Arto Usenius | Antti Heikkilä | Timo Usenius |
Marika Makkonen | Otso Väättäin





Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus

DigiPOS-hankkeen loppuraportti

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Timo Usenius, Marika Makkonen
& Otso Väättäinen

ISBN 978-951-38-8264-8 (nid.)
ISBN 978-951-38-8265-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 181

ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-1211 (painettu)
ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2014

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
02044 VTT
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)
FI-02044 VTT
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
FI-02044 VTT, Finland
Tel. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 7001

Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus

DigiPOS-hankkeen loppuraportti

Digital product process and optimised sawing. Final report of DigiPOS-project.

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Timo Usenius, Marika Makkonen & Otso Väättäinen.

Espoo 2014. VTT Technology 181. 90 s. + liitt. 10 s.

Tiivistelmä

Tutkimuksessa kehitettiin sahateollisuudelle uusi tuotantojärjestelmäkonsepti, jonka käyttöönotolla voidaan merkittävästi parantaa sahojen kilpailukykyä, asiakaslähtöisyyttä, tuotannon laatujakaumaa ja myyntiarvoa, arvosantoa – puusta saatavien tuotteiden arvoa sekä asiakaslähtöisyyttä ja palvelukykyä.

Tuotantojärjestelmä perustuu ennen kaikkea puun jalostusketjussa mitattavissa olevan datan taltiointiin, käsittelyyn ja hyväksikäyttöön arvoketjun eri vaiheissa. Nykyisissä tuotantojärjestelmissä mitataan samoja asioita useaan kertaan, mikä lisää investointikustannuksia. Uudessa konseptissa mittauksia tehdään vain keran ja data/informaatio/tieto siirretään jalostusketjun seuraaviin vaiheisiin tunnisteen avulla.

Tunnistamista varten kehitettiin puuraaka-aineiden, väljalosteiden ja tuotteiden digitaalinen, matemaattinen kuvaustapa. Tämä digitaalinen kuvaustapa perustuu sahatukkien, tuoreen sahatavaran ja valmiin sahatavaran mittaustuloksiin. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti tuotantoprosessin väliin tukkilajittelusta sahalinjan alkupäähän.

Tukkien lajittelussa mitataan tukista ominaisuuksia, kuten latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus, lenkous, soikeus ja tilavuus. Näiden mittauservojen perusteella tukki lajitellaan määrättyyn tukkiluokkaan, joka sahataan määrättyllä lasketulla optimaalisella sahausasetteella. Samalla lasketaan myös tukin optimaalinen pyörityskulma. Nämä ominaisuusarvot muodostavat myös mitatun tukin ID-tunnisteen. Kun tukki tulee sahalinjalle, se tunnistetaan mittaamalla tukista samoja arvoja kuin tukkien lajittelussa.

Asiasanat

tukki, sahausprosessi, tunnistaminen, tiedonsiirto, arvosanto, optimointi

Digital product process and optimised sawing

Final report of DigiPOS-project

Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus. DigiPOS-hankkeen loppuraportti.

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Timo Usenius, Marika Makkonen & Otso Väättäinen.

Espoo 2014. VTT Technology 181. 90 p. + app. 10 p.

Abstract

The investigation was established for developing new production system concept for sawmill industry in order to improving significantly competitiveness of sawmills, customer orientation, quality of production, distribution and sales value, value yield wood products, as well as the value of customer focus and service capabilities.

The production system is based mainly on the wood processing chain through providing measurable data recording for processing and exploitation of the value chain in different stages. The current production systems are measuring same things several times, which increases the cost of the investment. The new concept, measurements are made only once, and the data/information/knowledge is transferred to the following processing in subsequent identifier.

New concept was developed for the identification of raw materials, semi-finished products and products based on digital, mathematical description of the things. This method is based on digital imaging of saw logs, fresh sawn timber and provided by measurement technology. The study focused specifically on the production process between the log sorting line saw and in feed sawing line cutting the logs.

Scanning of logs results log of features such as crown diameter, length, taper, crooked-growth, oval form and volume. These measurement values provides fundamentals for sorting the log to a specific category of the log – log class to be sawn with optimum sawing set up – blade setting – in order to achieve maximum value yield. At the same time optimum log rotation angle is calculated. These scanned values provides are also log identification value – ID tag. When the log arrives to the saw line, it is recognized by measuring the log data in the same way as the sorting station.

Keywords log, sawmill process, identification, information transfer, value yield, optimisation

Alkusanat

Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus hanke (DigiPOS) toteutettiin VTT:ssä vuosina 2011–2013 osana Tekesin ”Digitaalinen tuoteprosessi” -teknologia-ohjelmaa, jossa pyrittiin kehittämään uutta suomalaista tuotantoajattelua ja siihen liittyvää perusosaamista.

Projektin kokonaisbudjetti oli 630 000 euroa, ja projektin rahoittivat Tekes, teollisuus ja VTT. Tutkimusta rahoittavia yrityksiä olivat Heinolan Sahakoneet Oy, Stora Enso Timber, Metsägroup, Jartek Oy ja Raunion Saha Oy. Projektin johtoryhmään kuuluivat tutkimusta rahoittavien tahojen edustajat puheenjohtajana Kari Kiiskinen Heinolan Sahakoneet Oy:stä. Johtoryhmän muut jäsenet olivat Juha Vaajoensuu Tekes, Tuomo Hartikainen Stora Enso, Juha Kasslin Metsä Group, Kimmo Piispa Jartek Oy, Sakari Virtanen Raunion Saha Oy sekä Riikka Virkkunen VTT.

Tutkimuksen projektipäällikkönä toimi professori Arto Usenius. Projektin toteutukseen osallistuivat tutkijat Antti Heikkilä, Timo Usenius, Marika Makkonen ja Otso Väätäinen sekä teknikko Eero Halonen. Sahayritykset antoivat merkittävän panoksen tutkimuksen suorittamisessa antamalla projektin käyttöön lähtöarvotietoja sekä suorittamalla mittavia empiirisiä tutkimuksia.

Tutkimuksen ulkomaisia yhteistyötahoja ovat olleet:

- FVA Forest Research Institute Baden-Württemberg, Dept. Forest Utilisation, Saksa, Johtaja Udo Sauter sekä tohtorit Franka Brüchert ja Rafael Baumgartner – tukkien mittaustekniikka
- Laval University Quebec Canada, professori Sophie D’Amour – arvoverkot
- Linnaeus universitet, Ruotsi, professori Dick Sandberg ja tohtori Jimmy Johansson – sahatavaran valmistustekniikka
- Luleå Tekniska Universitet, professori Anders Grönlund – puun jalostuksen arvoketjut ja puun ominaisuuksien mittaust.

Tutkimuksen tekijät haluavat lämpimästi kiittää yhteistyötahoja ja johtoryhmää aktiivisesta ja kannustavasta tutkimuksen suuntaamisesta ja ohjaamisesta. Eriytiskitokset niille sahoille, jotka suorittivat tutkimuksia teollisuusolosuhteissa ja luovuttivat projektin käyttöön tukeista tehtyjä mittaustuloksia ja muita lähtöarvotietoja.

Espoo 25.6.2014

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto	8
1.1 Tutkimuksen tavoitteet	8
1.2 Tutkimuksen rajaukset ja suoritusperiaatteet	8
1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus.....	9
2. Tulevaisuuden sahajärjestelmät	14
2.1 Visio.....	14
2.2 Nykyisten tuotantojärjestelmien haasteet.....	14
2.3 DigiPOS-järjestelmän tarve.....	15
3. Digitaalinen tuoteprosessi	17
3.1 Puuraaka-aineen, tuotteiden ja prosessien digitaalisen kuvaus	17
3.2 Puuraaka-aineen digitaalinen kuvaus	17
3.2.1 Leimikoiden digitaalinen kuvaus	17
3.2.2 Runkojen digitaalinen kuvaus.....	22
3.2.3 Tukkien digitaalinen kuvaus.....	23
3.3 Tuotteiden digitaalinen kuvaus.....	26
3.3.1 Sahatavaran digitaalinen kuvaus	26
4. Informaatiojärjestelmät	30
4.1 Menetetty informaatio	30
4.2 Ohjauksen perusperiaatteet ja informaatiojärjestelmät	31
5. DigiPOS-konseptien kehittäminen.....	33
5.1 DigiPOS-järjestelmän periaatteellinen kuvaus.....	33
5.2 Järjestelmälle asetettavat vaatimukset ja tavoitteet	36
5.3 Tukkien ominaisuudet ja niiden mittaus	36
5.4 Teollisuuden tukkipankki.....	37
5.4.1 Tukkien röntgenmittaus.....	41

5.5	Käytännön kokeet sahalla	45
5.6	Tukkien ominaisuudet ja niiden mittausta	47
5.7	Teollisuudessa suoritettujen tukkien mittausten tuloksia.....	48
5.8	Tukkien mittauksen tarkkuus.....	50
	5.8.1 3D-vastaanottomittarin mittaustarkkuus ja toistettavuus.....	50
	5.8.2 Sahan lajittelumittareiden (2D- ja röntgen) mittaustarkkuus.....	53
6.	DigiPOS-järjestelmän komponentit.....	57
6.1	Tukkien erilaisuus mitattavissa olevien ominaisuuksien perusteella ja tukkien yksilöllinen tunnistaminen.....	57
6.2	Tukkien tunnistaminen	65
6.3	Tukkien ryhmittelyyn optimointi	68
	6.3.1 Asetteiden mukainen lajittelu	72
	6.3.2 Tuotteen mukainen lajittelu.....	72
	6.3.3 Paimintalajittelu.....	73
	6.3.4 Yhdistelmäajittelu	75
	6.3.5 Online-tukkien mittausta ja lajittelu.....	75
6.4	Sahausasetteen ja tukin pyöriyksen optimointi	75
6.5	Informaatiojärjestelmät.....	77
6.6	DigiPOS-järjestelmän implementointi käytäntöön.....	80
6.7	DigiPOS-järjestelmän taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät.....	80
	6.7.1 DigiPOS-järjestelmällä saavutettavat hyödyt	80
	6.7.2 Kustannukset.....	81
	6.7.3 Muut näkökohdat	81
7.	Tulosten tarkastelu	83
8.	Jatkotoimenpiteet	85
9.	Yhteenveto	86
	Kirjallisuusviitteet ja muuta kirjallisuutta.....	88

Liitteet

Liite A: Tukkimittausten toistotarkkuus

1. Johdanto

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli kehittää tietotekniikan hyödyntämiseen perustuvia avainratkaisuja sahatteollisuuden tuoteprosesseihin siten, että saavutetaan nykyistä selvästi parempi asiakaslähtöinen tuotteiden ja prosessien hallinta ja kannattavuus. Projektin yksityiskohtaisena tavoitteena oli kehittää:

1. Tuotteiden ja puuraaka-aineen kuvaustavat ja niille yksilölliset digitaaliset ominaisuuskartat esteettiset ominaisuudet mukaan luettuina.
2. Tukkien yksilöllinen tunnistusjärjestelmä, jonka avulla tukkien lajittelussa määriteltynä tukin optimaalinen asete ja pyörityskulma siirretään sahalinjan ohjausjärjestelmään linjalla suoritettavine tunnistusmittausten avulla.
3. Tutkimustoimintaan uudet röntgenmittauksen analyysialgoritmit, jotka tuottavat tukin tarkan, sahauskeskeisen optimoinnissa hyödynnettävän ominaisuuskartan "virtuaalitukkina".
4. ICT-järjestelmäkonseptit, joka liittää toisiinsa sahatuotteet, puuraaka-aineen ja prosessiparametrit ja tuottaa digitaaliset ohjeet tukkien lajittelun ja sahauskeskeisen (terien asetukset ja tukin suuntaus) optimoimiseksi.
5. Konsepti järjestelmän itse oppivuuden aikaansaamiseksi vertaamalla suunniteltua ja toteutunutta tulosta.

1.2 Tutkimuksen rajaukset ja suoritusperiaatteet

Tutkimus käsittelee Suomen sahatteollisuuden kahta pääpuulajia mäntyä ja kuusta. Tutkimuksessa tarkastellaan sekä runkoja että tukkeja sekä sahauskeskeisenä saatavaa sahatavaraa. Sahausprosessin osalta käsitellään tuotantoprosesseja tukista tuoreeksi sahatavaraksi

Tutkimuksen suoritus voidaan jakaa seuraaviin osioihin

1. teoreettinen mallinnus tukkien mitattavissa olevien ominaisuuksien vaihteluiden selvittämiseksi

2. empiiriset käytännön kokeet tukkiskannerien mittaustarkkuuden ja toistettavuuden määrittämiseksi
3. tukkien tunnistusjärjestelmän kehittäminen mitattavien ominaisuuksien perusteella
4. käytännön sahakokeet tunnistuksen tarkkuuden tutkimiseksi
5. uuden tukkien tunnistukseen perustuvan sahausjärjestelmäkonseptin ja sen komponenttien kehittäminen
6. tutkimuksen jatkotoimenpiteiden suunnittelu.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Tutkimuksessa käytettiin seuraavia menetelmiä

1. Haastattelututkimukset: johtoryhmän jäsenet, sahojen sekä teknologiatoimittajien edustajat
2. Teoreettiset tarkastelut
3. Empiiriset kokeet: mittareiden tarkkuus ja toistettavuus
4. Prosessien mallinnus ja konseptien kehittäminen
5. Evaluointi teollisuusolosuhteissa.

Tutkimuksen sisältö oli pääpiirteittäin seuraava. Kehitettiin uusi digitaalinen tuotteiden ja puuraaka-aineen kuvaustapa asiakaslähtöiseen jalostusketjujen optimointiin ja hallintaan. Suunniteltiin uuden DigiPOS-järjestelmän periaatteet ja liitännät nykyisin käytössä oleviin tuotannon suunnittelujärjestelmiin. Suunniteltiin ja kehitettiin ne järjestelmän komponentit, jotka toteutettiin projektissa. Kehitettäviä DigiPOS-komponentteja olivat: tukkien yksilöllinen tunnistaminen (merkintä ja koodaus), tunnisteiden / lukeminen, uudet tukkien röntgenmittauksen, ja ryhmittelyn ja sahausoptimoiminnin innovatiiviset algoritmit (ja ohjelmistot). Olennaista oli datan liittäminen tuotteeseen läpi koko prosessin. DigiPOS-komponenttien toimivuutta testattiin sahaolosuhteissa. Suoritettiin järjestelmän dokumentointi, raportointi ja tulosten levittäminen.

Tutkimussuunnitelma sisältää seuraavat vaiheet:

Vaihe 1. DigiPOS-järjestelmän kuvaus sekä asetettavat vaatimukset ja tavoitteet

Tutkimus käsittelee sekä männyn että kuusen DigiPOS-sahausta. Valitaan ne tuotteet ja tuoteperheet, joita tutkimuksessa tarkastellaan. Tuoteperheisiin kuuluu komponentteja, erikoissahatavaraa ja standardisahatavaraa joko yhdessä tai erikseen. Puuraaka-aineen laatu vaikuttaa olennaisesti tuotteiden laatuun. Pääte-

tään mihin raaka-aine luokkiin (tukin asema rungossa, laatu ja latvaläpimitta) tutkimus erityisesti kohdistetaan. Puuraaka-aine, tuotteet ja tuoteperheet vaikuttavat vuorostaan tuotantojärjestelmäratkaisuihin.

Määritetään uudelle DigiPOS-järjestelmälle asetettavat vaatimukset ja tavoitearvot lyhyellä ja pidemmällä tähtäimellä. Vaatimukset kohdentuvat 1) digitaaliseen tuotteiden, väljalosteiden ja raaka-aineen kuvaukselle loppukäyttäjän, tuotesuunnittelijan, jalostajan ja tuotannon tarpeista, 2) tukkien ja tuotteiden mittausjärjestelmille, 3) tuotantokyvylle ja 4) mittauspalvelulle.

Määritellään ne tunnusluvut, joilla DigiPOS-järjestelmää arvioidaan. Indikaattoreissa painotetaan taloudellisia tekijöitä, esimerkiksi arvosantoa, tuottavuutta ja sivutuotteiden määrää. Asetetaan näille tunnusluvuille tavoitearvot.

Vaihe 2. Älykkään DigiPOS-tuote- ja tuotantojärjestelmien suunnittelu

Tutkimusvaihe suoritetaan kahdessa osassa seuraavasti.

- **Runkojen, tukkien, sahatavaran ja komponenttien digitaalinen kuvaaminen**

Puuraaka-aineen, välituotteiden ja lopputuotteiden digitaalisen kuvaamisen tavoitteena on parantaa merkittävästi eri toimijoiden välistä kommunikointia koko jalostus- ja toimitusketjussa tukista sahatavaratuotteeksi. Kehitetään järjestelmä puurunkojen, tukkien, sahatavaran ja rakentamisen komponenttien kuvaamiseksi. Tutkimuksessa otetaan huomioon loppukäyttäjän, tuotesuunnittelijan, sahatavaran jalostajan, sahatavaran toimittajan ja puukaupan tarpeet.

- **DigiPOS-tuotantojärjestelmä: tukeista sahatavaratuotteiksi**

Tutkimusvaiheessa kehitetään erilaisia liiketoiminta- ja tuotantomalleja, joissa sovelletaan DigiPOS-ajattelua käytännön tarpeisiin. Järjestelmän olennaisena osana oleva tukkien merkkkaus/tunnistus voi olla sahan tukkien lajittelulaitoksella tai se voi sijaita myös puurunkojen katkaisuasemalla. Järjestelmien suunnitteluun sisältyvät materiaali- ja informaatiovirrat (data ja sen jalostus), liitännät nykyisiin tuotannosuunnittelujärjestelmiin, layout-vaihtoehdot, tukkien mittaus ja merkintä sekä tukkien uudet lajittelutavat.

Vaihe 3. DigiPOS-järjestelmän komponenttien kehittäminen

- **Tukkien yksilöllinen tunnistus ja merkintä tukkien lajittelussa ja merkinnän luku sahalinjalla**

Tukkien yksilöllinen tunnistaminen perustuu innovatiiviseen ajatukseen tukkien värimerkinnän, puusta suoritettujen mittausten ja tukkien ryhmittelytavan (luokituksen) keskinäiseen integrointiin. Näin voidaan hyödyntää useampaa tunnistusmenetelmää ja siten radikaalisti pienentää tarvittavien värimerkkien määrää. Tukin merkki palautuu "kiertoon" kun se on käytetty, ts. kun tukki on sahattu.

Tukin mitattujen ominaisuuksien hyväksikäyttö edellyttää, että on määritetty koordinaatisto, johon reaalitykin mittauksista generoitu ”virtuaalinen” tukki ominaisuuksineen sijoitetaan. Tässä tarkoituksessa on erittäin tärkeää, että tiedetään tukin pyörytyksen asema mittauskuljettimella. Se saadaan selville kun piirretään tukin päähän suora viiva ennen mittausta. Viivan asema luetaan tukin mittauksen yhteydessä olevalla konenäköjärjestelmällä.

Yksittäisen tukin geometriset 3D-tiedot, röntgenmittauksen tieto (= virtuaalitukki), koordinaatisto ja tukin tunnistetaltioidaan ICT-järjestelmän tietokantaan. Tukin mittaustietojen perusteella optimoidaan sahausasetevaihtoehdot ja tukki osoitetaan optimoituun tukkiryhmään (tukkiluokkaan). Kun tukki saapuu sahalinjalle, sen tunnistetaltiota luetaan kameralla. Optimaalinen sahausasete, tukin ja pelkan suuntaukset haetaan informaatiojärjestelmästä. Sen jälkeen sahakoneen ohjaus ja mekaniikka toteuttavat sahauskeskustavalla tavalla. Saheet merkitään sahauskeskustavalla esimerkiksi värimerkillä siten, että ne ovat yksilöitävissä tuorelajittelijalla, jossa kappaleiden ominaisuuskartta mitataan ja taltioidaan ICT-järjestelmään.

Merkintäjärjestelmän kehittämiseksi tutkitaan vaihtoehtoisia merkintätapoja laboratorioolosuhteissa. Merkintäjärjestelmät testataan käytännön olosuhteissa sahalalla.

- **Röntgenmittauksen innovatiiviset algoritmit tutkimustarkoituksiin**

Valitaan edustavat tukit tutkimukseen yritysosaapuolten sahoilta. Tuotetaan tutkimuksen suorittamisessa tarvittava data mittaamalla tukit VTT:n skannerilla (3D ja röntgen) 15 asteen pyörytyksen välein. Algoritmien kehittäminen siten, että saadaan tuotettua kohdan 2.1 mukainen virtuaalinen kuvaus tukista. Algoritmien kehittämisen innovatiivinen lähtökohta on se, että käytetään laskennassa hyväksi puun kasvun perusominaisuuksia, esim. oksaväliä, oksien lukumäärää kiekkurassa, oksan nousukulmaa ja muotoa jne. Näin ei ole aiemmin tehty missään.

Innovatiivisena tutkimuskohteena on myös takaisinkytkentäluopin kehittäminen. Järjestelmän tietokantaan tallennetaan tuorelajittelussa värikameralla mitatut sahatavarakappaleiden yksittäisten oksien ominaisuudet: oksan sijainti, koko ja laatu kappaleen kummallakin lappeella ja syrjällä. Mittaustuloksista generoidaan toteutuneita ”sahatavarakappaleita”, joita verrataan virtuaalitukkien sahauskeskustavissa suunniteltujen kappaleiden ominaisuuksiin. Vertailun perusteella tehdään tarvittavia muutoksia röntgenjärjestelmän algoritmien parametriarvoihin. Näin saadaan Digi-POS-järjestelmästä itseoppiva.

- **Tukkien uudet, dynaamiset lajittelumenetelmät perinteisen tukkiluokka-ajattelun sijaan**

Tukkien lajittelun kehittämisen lähtökohtana on tarve siirtyä perinteisestä tukkiluokituksista innovatiiviseen tukkien ryhmittelyyn, jossa ryhmän tukit sopivat mahdollisimman hyvin tuotteiden tilauskantaan ottaen huomioon tukkivaraston ja tukkien lajittelulaitoksella käytettävissä olevan lokeromäärän.

Kehittämistyö suoritetaan seuraavasti: 1) Menetelmien periaatteiden kehittäminen tukkien monipuolisen ominaisuuskartan perusteella: tuotepohjainen, asete-

pohjainen, aseteryhmäpohjainen, poimintapohjainen lajittelu sekä eri lajittelutapojen yhdistäminen. 2) Kokonaan uusien tukkien optimaalisen ryhmittelyn algoritmin ja ohjelmiston kehittäminen. 3) Optimointijärjestelmän testaaminen.

Osana lajittelun optimointiohjelmistoa käytetään VTT:n InnoSIM-sahausten simulointiohjelmaa, joka kuvaa yksittäisen tukin muuntumista sahatavaraksi ja komponenttutuotteiksi. Ohjelmistossa kuvataan tukin ominaisuudet (virtuaalitulkit: geometria, oksikkuus, sydänpuu jne.) ja puuraaka-aineen kustannukset, tuotteiden geometriset ja laadulliset ominaisuudet, hinnat, kysyntä sekä sahausprosessin parametrit, esimerkiksi sahausasetevaihtoehdot. Ohjelmisto ennustaa tukista saatavien tuotteiden määrät ja laadut sekä rahallisen tuloksen. Näin saadaan määrättyä taloudellisesti parhaimmat teräasetteet tukin sahausten ja tukkien lajittelun optimointiin. InnoSIM-ohjelmisto muokataan DigiPOS-järjestelmään sopivaksi.

Vaihe 4. Tapaustutkimukset

Tapaustutkimuksissa testataan käytännön olosuhteissa DigiPOS-järjestelmän komponenttien toimivuutta. Analysoidaan implementoinnin tuottamia hyötyjä ja aiheuttamia kustannuksia ja niiden mittaamista. Tapaustutkimukset, jotka voivat olla myös yrityskohtaisia, valitaan projektin kuluessa ja toteutetaan johtoryhmässä sovittavassa laajuudessa.

Tapaustutkimus voi olla esimerkiksi: Menetelmä tukin mittausjärjestelmien evaluointiin.

Kehitetään menetelmä tukin röntgenperustaisten mittausjärjestelmien evaluointiin. Mittausjärjestelmiin liitetään useimmiten myös tukin muodon mittaaminen. Menetelmässä tarkasteltavat tukit valitaan huolella ja ne mitataan mittausjärjestelmällä, joka tuottaa datan. Samat tukit mitataan tarkasti referenssijärjestelmällä, joka tuottaa tarkan kuvan tukin ominaisuuksista esim. oksikkuudesta. Näitä kahta tulosta verrataan toisiinsa. Tulokseksi saadaan arvioitavan mittauksen tarkkuus ja sen tuottama arvo verrattuna tarkan mittauksen tuottamaan arvoon.

Vaihe 5. Järjestelmän dokumentointi ja raportointi sekä hyödyntämissuunnitelman laatiminen

Tutkimuksen viimeisessä vaiheessa suoritetaan: 1) Järjestelmän dokumentointi, 2) Tutkimuksen tulosten raportointi, 3) Tulosten hyödyntämissuunnitelman laatiminen; uudet soveltamiskohteet ja 4) Tutkimuksen tulosten julkistaminen: tieteelliset julkaisut ja artikkelit, käytännönläheiset julkaisut ja artikkelit, kotimaiset seminaarit, osallistuminen kansainvälisiin seminaareihin.

Tukin mittauksessa syntyvä tieto analysoidaan optimointiohjelmistolla, joka laskee tukille optimaaliset asetevaihtoehdot ja vastaavasti tukin pyöryskulman sekä tukin ja pelkan suuntauksen sahakoneisiin sijoittamalla tukkiin erilaisia tuotteita erilaisilla sahaustavoilla. Optimointiohjelma tulostaa tiedon tukin suuntaamiseksi sahakoneeseen ja se sisältää myös koodigeneraattorin, joka määrittää koodin ja sen rakenteen, mikäli koodausta tarvitaan. Tämä tieto vietään kirjoittimen ohjaukseen.

Kaikki tukkia kuvaavat tunnuksot, asetelaskennan tulokset, tukin pyöriyksen ja suuntauksen sekä pelkan suuntauksen optimiarvot taltioidaan sahan informaatiojärjestelmään tukin ID:n osoittamaan muistipaikkaan. Tulokset siirretään sahan tuotannosuunnittelujärjestelmän tukkien ryhmittelyyn optimointiohjelmaan, joka määrittää tilauskannan perusteella sen tukkiryhmän, johon tukki ohjataan. Digi-POS-järjestelmässä perinteinen, lähinnä tukin läpimittaan perustuva, tukkien luokitus korvataan tukkien ryhmittelyllä sahausta varten. Tällä tarkoitetaan sitä, että tuotetarpeen ja tilauskannan mukaan tukkimittausten perusteella tukki osoitetaan siihen tukkiryhmään, jonka sahausuksessa se tuottaa parhaan mahdollisen tuloksen. Tukkien ryhmittelyä voidaan muuttaa dynaamisesti. Tukkiryhmä voi olla tuoteperustainen, aseteperustainen, aseteryhmäperustainen jne.

Tukkiryhmit otetaan sahausukseen sahan informaatiojärjestelmän määrittelyssä optimaalisessa järjestyksessä ottaen huomioon toimitukset ja sahausuksen jälkeisten prosessivaiheiden kuormitustilanne. Tavoitteena on saavuttaa tuotannolle mahdollisimman suuri tuotantokapasiteetti ja läpimenoaika. Kun tukki tulee sahausukseen, sen tunnisteluetaan ja tunnisteen perusteella haetaan informaatiojärjestelmästä optimaalinen sahausasete, joka voi olla ryhmälle täysin kiinteä tai se voi olla tukkikohtaisesti muuttuva tai sellainen, että muutetaan ainoastaan sivulautamallia. Sivulautamallin muuttamismahdollisuus voi kompensoida tukkien lajittelussa tehtyjä virheitä. Toisaalta se vaikuttaa olennaisesti tukkiryhmiin muodostumisessa.

Sahausten jälkeen syntyneet saheet merkitään generoidulla koodilla, joka liittää sen tukkiin ja pelkkaan ja edelleen määrättyyn paikkaan sahausaseteessa. Saheen tullessa tuorelajittelulaitokselle siitä mitataan geometrisiä ja erilaisia laatuun vaikuttavia ominaisuuksia, kuten oksien sijainti yms. Saheessa oleva koodi luetaan ja mitattu tai laskettu informaatio taltioidaan informaatiojärjestelmään. Tuotettu informaatio käytetään hyväksi optimointijärjestelmien ohjausparametriin määrittelyssä ja feedback-tiedon generoinnissa esim. tukin (röntgen) mittauksen parametriin parantamisessa. Näin saadaan järjestelmät itseoppiviksi. Järjestelmä antaa myös palautteen jalostusketjussa takaisinpäin tukkien todellisen arvon määrittelyyn.

2. Tulevaisuuden sahajärjestelmät

2.1 Visio

Sahateollisuuden tulevaisuuden tuotanto- ja jalostusjärjestelmät

- mahdollistavat sekä arvo- että tilavuussaannon merkittävän parantamisen
- mahdollistavat myös erilaisten tuotteiden, myös täsmätuotteiden, valmistamisen ja hyvän asiakaspalvelun
- eivät tuota lankeavia tuotteita tai tuottavat niitä mahdollisimman vähän
- ovat integroituneita ja koko jalostus- ja arvoketjun kattavia – ainakin ajatuk-sellisesti
- ovat ICT:n tukemia, jossa tietovirtojen tuottaminen, hallinta ja tiedon hyväk-sikäyttö on nykyistä selvästi tehokkaampaa
- ovat energiatehokkaita ja kestäväen kehityksen mukaisia.

2.2 Nykyisten tuotantojärjestelmien haasteet

Puuraaka-aineen epähomogeenisuudesta johtuva lankeavuus on eräs sahateolli-suuden perusongelma. Lankeavuuden vaikutuksia voidaan eliminoida ja pienentää mittaustekniikalla (röntgen) ja asetteen älykkäällä optimoinnilla.

Sahateollisuuden tuotanto on tyypillistä kappaletavaratuotantoa. Nykyisen toi-mintatavan ja valmistuksen tyypillisiä piirteitä ovat:

- Jalostus- ja toimitusketjua – metsästä asiakkaalle – ei tarkastella kokonai-suutena.
- Toimitus- ja valmistusaika voi viedä viikkoja, jopa kuukausia.
- Puuraaka-ainevarastot, välivarastot ja tuotevarastot ovat suuria.
- Tuotannossa syntyy sekundäärisiä, lankeavia tuotteita, joilla on heikko kysyntä.
- Tuotanto ei ole joustavaa. Se tapahtuu putkimaisissa linjoissa, joissa peliva-ra on hyvin pientä.

- Tuotannossa korostetaan määriä ja kustannusten minimointia.
- Liiketoiminta ja tuotanto eivät ole millään tavoin itseoppivaa. Takaisinkytkentätietoa ei juuri synny eikä sitä näin ollen voida myöskään hyödyntää.
- Erilaiset informaatio- ja ohjausjärjestelmät eivät keskustele keskenään.
- Luotettavaa ja vähemmän luotettavaa mittaus- ym. dataa ja informaatiota on olemassa. Sitä käytetään kuitenkin vain paikallisesti. Sen jälkeen data hävietään. Dataa ei myöskään osata käyttää oikein. Tulevaisuudessa on mitattava kuitenkin enemmän.
- Tuoteominaisuudet vaihtelevat huomattavasti puuraaka-aineen epähomogeenisuudesta johtuen.
- Ei voida valmistaa täsmätuotteita, joilla olisi tietyt halutut ominaisuudet.
- Jalostus ei ole integroituna osana tuotantojärjestelmiä.
- Tukin pyöryksen onnistuminen on erittäin tärkeää sahauksen saannon kannalta

2.3 DigiPOS-järjestelmän tarve

Sahateollisuuden nykyiset tuotantolinjat ovat hyvin putkimaisia ja joustamattomia, osaksi kuitenkin pitkälle automatisoituja. Kustannustehokkuus on korostuneesti esillä. Tuotteet ovat pääosin bulkkituotteita, ja puun epähomogeenisuuden takia syntyy liiaksi sellaisia sekundäärisiä, ”lankeavia” tuotteita, joilla on heikko kysyntä. Puuraaka-aine ja tuotteet eivät sovi yhteen. Epähomogeenisen puumateriaalin käsittelyyn pitäisi kehittää tuotanto- ja ohjausmenetelmiä, joilla saataisiin sattuman vaikutusta ja sekundääristen tuotteiden määrää merkittävästi pienennettyä.

Eri vaiheissa puuteollisuuden jalostusketjuja mitataan hyvinkin paljon dataa, josta tuotettu informaatio käytetään kuitenkin vain paikallisesti ja hetkellisesti – sen jälkeen se häviää. Datan systemaattinen kerääminen, prosessointi edelleen informaatioksi ja tiedoksi ja linkittäminen toisiinsa esimerkiksi kappaleiden merkintätekniikan avulla yli tuotantovaiheiden mahdollistaa merkittävän parannuksen tuotantojärjestelmien ohjauksessa. Asiakkaille annetaan yleensä hyvin rajoitetusti tietoja toimitettavista tuotteista. Merkinnällä ja siihen liitettyllä informaatiolla voitaisiin parantaa asiakaspalvelua huomattavasti.

Toiminnan ohjaus voidaan pelkistetyksi jakaa kahteen tasoon: suunnittelutasoon ja ohjaustasoon. Tuotannon suunnittelussa tehdään kokonaissuunnitelma määrätulle ajanjaksolle, jonka pituus voi vaihdella muutamasta päivästä muutama viikkoon tai kuukauteen. Tuotannonsuunnittelusta siirretään ohjeet yksittäisille koneille ja prosesseille, joita niiden omat ohjausjärjestelmät ohjaavat. Kommunikaatiossa suunnittelutason ja ohjaustason välillä on huomattavaa kehittämisen tarvetta. Tuotannosta kerätään erilaisia tietoja lähinnä vain tilastointia varten. Mitään systemaattista palautetietoa ei kerätä – eikä sitä myöskään käytetä. Pa-

2. Tulevaisuuden sahajärjestelmät

lautteen saaminen on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää itseohjautuvuuden ja oppivuuden aikaansaamiseksi.

Puutuotteiden ominaisuuksilla on yleensä varsin suuri hajonta. Tästä syystä joudutaan jättämään aina tietty varmuusvara, ylimääräinen marginaali, jotta esimerkiksi puinen komponentti täyttäisi annetut lujuusvaatimukset. Älykäs tuotantotekniikka antaisi aivan uudet mahdollisuudet valmistaa täsmällisillä ominaisuuksilla varustettuja tuotteita. Nykyisissä prosesseissa tuotteen läpimenoaika metsästä asiakkaalle voi olla jopa kuukausia. Varastot erityisesti tuotannon alkupäässä ja kuivauksessa ovat suuret, ja siten varastojen kiertonopeus on hidas.

3. Digitaalinen tuoteprosessi

Puuraaka-aineen, välituotteiden ja lopputuotteiden digitaalisen kuvaamisen tavoitteena on parantaa merkittävästi eri toimijoiden välistä kommunikointia koko jalostus- ja toimitusketjussa tukista sahatavara tuotteeksi. Kehitetään järjestelmä puurunkojen, tukkien, sahatavaran ja rakentamisen komponenttien kuvaamiseksi. Tutkimuksessa otetaan huomioon loppukäyttäjän, tuotesuunnittelijan, sahatavaran jalostajan, sahatavaran toimittajan ja puukaupan tarpeet.

Tietotekniikan ja mittausmekaniikan kehittyessä ja yleistyessä monet asiat pitää voida esittää tai esitetään kuten mittaus tulokset digitaalisessa, numeerisessa muodossa, jolloin niitä on helppo käsitellä ja informaatiota siirtää paikasta toiseen. Tuotteen tai sen ominaisuuden digitaalinen esitystapa voi olla hyvin yksinkertainen paksuus x leveys x pituus x laatu. Mittaussovelluksissa digitaalinen informaatio on yleensä hyvin monipuolinen esimerkiksi komponentin lappeiden ja syrjien väri esitetään tiheänä ruudukkona.

3.1 Puuraaka-aineen, tuotteiden ja prosessien digitaalisen kuvaus

Perinteisesti sahatavara puuraaka-aine, tuotteet ja prosessit on kuvattu yleisellä tasolla ja monta kertaa myös verbaalisesti. Digitaalinen kuvaus mahdollistaa esimerkiksi tuotteiden ominaisuuksien tarkan, numeerisen kuvaamisen ja hyväksikäytön esimerkiksi prosessien ohjauksessa. Digitaalista tietoa on helppo siirtää paikasta toiseen. Digitaaliseen tietoon voidaan tarvittaessa liittää tekstimuodossa olevaa tietoa.

3.2 Puuraaka-aineen digitaalinen kuvaus

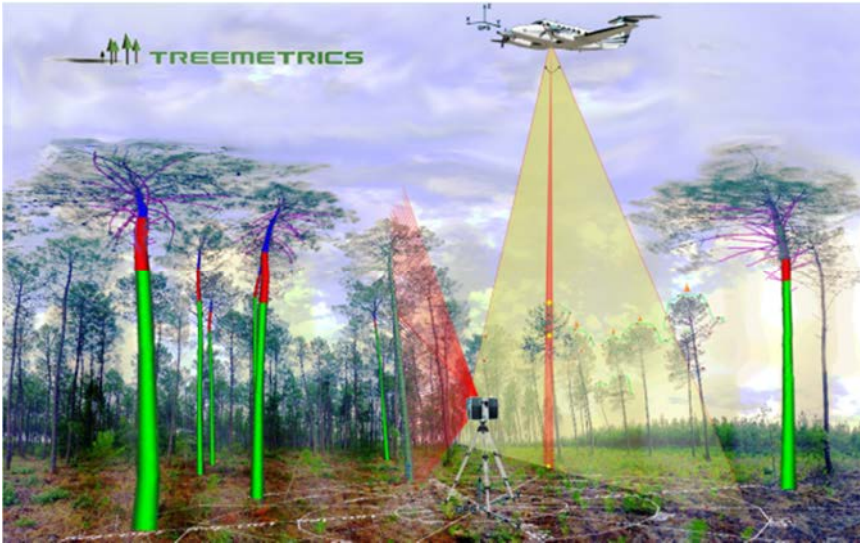
3.2.1 Leimikoiden digitaalinen kuvaus

Tehokkaasti toimivat puutuote arvoketjut edellyttävät mahdollisimman tarkkaa runko- tai kappalekohtaista tietoa aina leimikoiden suunnitteluvaiheesta lopputuotteeksi saakka. Esimerkiksi puunhankintaa suunniteltaessa tarvitaan erilaista lei-

mikkokohtaista tietoa saatavilla olevista puutavaralajeista, määristä ja laadusta. Puuraaka-aineen laatu voi vaihdella hyvinkin paljon rungosta riippuen, joka aiheuttaa haasteita puutuoteteollisuudelle tuotannon ohjauksessa. Huonoimmassa tilanteessa raaka-aine ei kelpaa sille suunniteltuun käyttöön, jolloin menetetään kannattavuutta. Puun laatuominaisuudet niin ulkoisesta kuin sisäisestä laadusta tulisi olla nykyistä tarkemmin tiedossa varsinkin, kun tuotteelle asetetaan tulevaisuudessa yhä enemmän laatuun, ulkonäköön ja muihin ominaisuuksiin liittyviä vaatimuksia. Mitä parempaa leimikkokohtaista tietoa on saatavilla, sitä paremmin korjuu voidaan suunnitella vastaamaan olemassa olevaa kysyntää, raaka-aine voidaan ohjata sille sopivaan käyttöön ja kannattavuus paranee koko arvoketjussa. Vastaavasti aktiivinen metsänomistaja pystyy suunnittelemaan tulevia toimenpiteitä sitä paremmin, mitä tarkempaa ja luotettavampaa tietoa on tarjolla.

Tällä hetkellä leimikkokohtaista ennakkotietoa puuston ominaisuuksista saadaan mm. inventoimalla, tilojen metsäsuunnitelmista ja puunhankintaorganisaatioiden omista järjestelmistä. Hitaan päivityssyklin vuoksi ongelmana on tiedon ajantasaisuus. Tarkin puustokohtainen ennakkotieto saadaan maastokäynneillä, mutta menetelmä on aikaa vievä ja kallis. Laserkeilaus on yksi kaukokartoituksen lupaavista menetelmistä ja siihen liittyvä teknologinen kehitys on edennyt 2000-luvulla nopeasti. Yksityismetsien inventoinnissa laserkeilaus aloitettiin vuonna 2010, jolloin yli kaksi miljoonaa hehtaaria inventointiin metsäsuunnittelun tarpeisiin (Holopainen et al. 2011). Muita kaukokartoituksen menetelmiä ovat perinteisesti metsien inventoinnissa käytetyt satelliitti- ja ilmakuvat, joiden tarkkuus ei kuitenkaan riitä leimikkotasoiseen tai yksittäisten puiden tarkasteluun, lukuun ottamatta suurimittakaavaisia ilmakuvia (Hyyppä et al. 2009; Holopainen 2011). Kuvia voidaan kuitenkin yhdistää laserkeilausaineistoon parantamaan tulkintatarkkuutta. Ilmakuvat ovat tyypillisesti joko hajapiste-, rasteri- tai vektorimuotoisia.

Lentokoneesta tehtävä ilmalaserkeilaus (Airborne Laser Scanning, ALS) sekä maastolaserkeilaus (Terrestrial Laser Scanning TLS) perustuvat laserkeilaimen lähettämään säteeseen (laserpulssiin), joka kohteen pintaan osuessaan heijastuu yhtenä tai useampana paluukaikuna takaisin. Kulunut aika kertoo kohteen etäisyyden ja kohteen koordinaatit tallennetaan GPS:n avulla. Havainnoista syntyy kolmiulotteinen pistepilvi (x-, y- ja z-koordinaatit), josta leimikko- ja puutunnuksia voidaan analysoida (kuva 1). Myös liikkuvaan alustaan (esim. auto, mönkijä) kiinnitetty lasertekniikka metsien inventoinnissa (Mobile Laser Scanning, MLS) on kasvavan kiinnostuksen kohteena, mutta toistaiseksi aiheesta on olemassa vähän tutkimustietoa.



Kuva 1. Lento- ja maastolaserkeilausmenetelmät (Treemetrics).

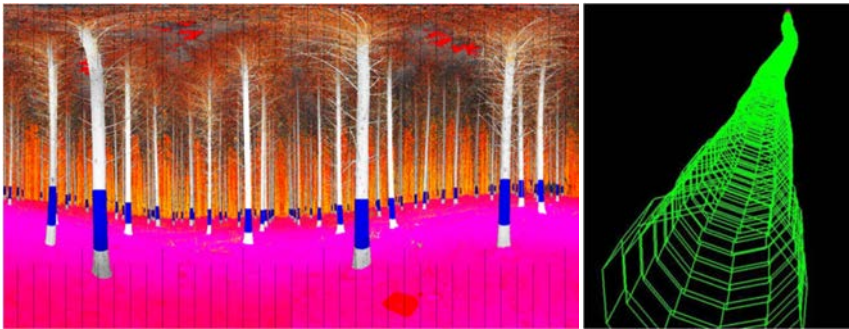
Laserskannausmenetelmillä voidaan tulkita joko alueiden tai yksittäisten puiden puustotunnuksia kuten puulaji, pituus, rinnankorkeusläpimitta, runkokäyrä ja latvuksen koko, oksaisuus, oksarajat sekä maaston pinnanmuotoja ja sijainti. Näiden perusteella voidaan mallintaa erilaisia suureita, kuten tilavuus, runkoluku, pohjapinta-ala (m^2/ha), puutavaralajijakauma ja biomassa. Tulkinta voidaan tehdä pelkästään pistepilvestä, mutta tavallisesti leimikko- tai puukohtaisessa tulkinnassa yhdistellään tarpeen mukaan maastomittaus- ilmakehän- ja lasermittausaineistoja tulkintatarkkuuden parantamiseksi. Menetelmän etuna on sen kustannustehokkuus, sillä varsinkin ALS-menetelmällä voidaan saada puustotietoa vaikeakulkuisilta ja laajoilta alueilta kustannustehokkaasti.

Eri laserkeilausmenetelmillä on omat vahvuudet ja heikkoudet mittaustietojen tuottamisessa, mutta yhteenvetona ALS-menetelmällä saadaan luotettavaa tietoa puun pituuksista, joskin tulos on yleensä aliarvio 0,5–1 m (Hyyppä et al. 2009). ALS-menetelmän heikkoutena on sen kyky erottaa eri latvuserroksia. TLS-menetelmällä voidaan puolestaan saada hyvinkin tarkkoja mittaustietoja rinnankorkeusläpimitoista. Tutkimuksessa Vastaranta et al. (2009) saavuttivat 4,5 %:n keskivirheen. Puulajin tunnistustarkkuus on vaihdellut 40 prosentista ylöspäin ja parhaimmillaan on päästy jopa 96 prosenttiin (Pitkänen et al. 2004; Peuhkurinen et al. 2007; Yu et al. 2011; Holmgren et al. 2008). Tutkimusten perusteella (Holopainen et al. 2011) näyttäisi kuitenkin siltä, että laserkeilausmenetelmät soveltuvat parhaiten kasvatus- ja hakkuukypsiin metsiin. Mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavat puuston ikä, rakenne ja näkyvyys. Näkyvyyttä voidaan parantaa mittaamalla TLS-koeala useammasta eri pisteestä, sillä yhdestä pisteestä kuvattuna puustosta saadaan kuvattua parhaassa tapauksessa korkeintaan 50 % (Vauhko-

3. Digitaalinen tuoteprosessi

nen 2013). Haittapuolena on tallennettavan pistemäärän kasvaminen ja datan työläämpi esikäsittely.

Kuvassa 2 on esitetty TLS-aineistosta saatuja tuloksia. Mahdollisuus muodostaa rungosta tarkkoja 3D-malleja on iso edistysaskel tulevaisuuden metsä- ja operatiiviselle suunnittelulle sekä tuotannonohjauksessa. Edellytyksenä on, että laserskannausdata on tarkkaa ja välittyy tehtaan ohjausjärjestelmiin. Tällöin hankinta, apteraus ja asetteet voidaan suunnitella optimaalisesti kysynnän mukaan. Tämä tukisi myös teollisuuden tavoitteita siirtää yhä suurempi osa puuvarastoitaa pystyvarantoihin. Tämänhetkiset menetelmät eivät kuitenkaan tuota tietoa puun sisäisistä ominaisuuksista. Jos perussahatavaran sijaan halutaan tuottaa korkeamman jalostusarvon tuotteita, tai jos tuotannon tehokkuutta halutaan ylipäättään parantaa ohjaamalla oikea raaka-aine oikeaan käyttöön, on tiedettävä puun sisäinen laatu. Tällaista laatutietoa voidaan tuottaa jo tällä hetkellä röntgenmittauksin vastaanottavalla laitoksella, mutta puu on tässä vaiheessa jo hakattu, katkottu ja toimitettu. Kun tukit ovat jo tehtaalla, valinnanvapautta on huomattavasti vähemmän. Mitä aiemmassa vaiheessa mahdollisimman kattava tieto puuraaka-aineesta on saatavilla, sitä tehokkaammin puun arvoketjut toimivat.



Kuva 2. Automaattinen puidentunnistus maastolaserskannauksella sekä automaattinen 3D-rungon muodostaminen (Treemetrics).

Laserkeilausmenetelmien vahvuuksia ovat niiden kyky tuottaa kustannustehokkaasti kolmiulotteisia malleja tutkittavista kohteista yksittäisten puiden tasolla ja paikannettavuus. Ongelmat liittyvät puolestaan katveeseen jääviin puihin sekä mittaustulosten tarkkuuteen, jotka tyypillisesti ovat aliarvioita (Vauhkonen et al. 2013). Tekniikan vielä edelleen kehittyessä ja kustannusten aletessa on kuitenkin hyvin todennäköistä, että laserkeilauksesta tulee yksi keskeisimmistä metsien inventoinnin menetelmistä tulevaisuudessa. Tavoitteena on, että leimikoista on olemassa tarkka ja ajantasainen puustotieto, joka olisi edullinen menetelmä puuhankinnan logistiikan ohjauksessa sekä apterauksen suunnittelussa. (Holopainen 2011).

Hakkuissa syntyy paljon erilaista puuraaka-aineeseen liittyvää, digitaalisessa muodossa olevaa, informaatiota. Kartan ja korjuuohjeen lisäksi korjuukoneille

lähetetään sahojen tilausten ja kysynnän perusteella laadittu puutavaralajikohtainen katkonnän ohjaustiedosto (APT-tiedosto). Tiedostoon on sisällytetty arvoja/tai jakaumamatriisit, joissa puutavaralajien tavoitejakauma on ilmoitettu antamalla kullekin latvaläpimita-pituus-yhdistelmälle joko suhteellinen arvo tai hinta. Hakkuukone katkoo rungot sille lähetetyn APT-matriisien mukaan, joissa puutavaralajien tavoitejakauma on ilmoitettu antamalla kullekin latvaläpimita-pituus-yhdistelmälle joko suhteellinen arvo tai hinta. Lisäksi katkontaa ohjaavat todelliset läpimitat ja runkokäyräennuste. Puun laatua hakkuukone ei pysty automaattisesti arvioimaan, vaan kuljettaja ohjaa katkontaa silmämääräisesti. Pääsääntöisesti laatuksiteerejä ovat tyvilaho, lenko ja mutkat. Hakkuukoneen runkokohtaiset tiedot tallentuvat STM-tiedostoksi, johon tallentuvat pölkkykohtaiset tiedot puutavaralajeista, latvaläpimitoista, pituuksista ja tilavuuksista. STM-tietoja hyödynnetään pääasiassa tutkimustarkoituksiin, katkontaohjeiden testaamiseen tai runkopankkien muodostamiseen (Uusitalo 2003). Yhteenvetotieto hakatusta puutavarasta tallentuu hakkuukoneen tietojärjestelmään PRD-tiedostoksi. Tiedosto sisältää puutavaralajikohtaisen informaation mm. hakatun puutavaran tilavuuksista ja kappalemääräistä latvaläpimita- ja pituusluokittain. Lisäksi tiedosto sisältää rinnankorkeusläpimitaluokittaiset runkolukusarjat (kohteen puuston runkolukumäärä puulajeittain ja läpimitaluokittain). Isoissa puunhankintaorganisaatioissa PRD-tiedosto lähetetään päivän päätteeksi metsäosaston suunnittelujärjestelmään varastokirjanpidon ajantasaisena pitämistä ja kuljetustensuunnittelua varten. Hakkuun päätteeksi lähetettävää PRD-tiedostoa käytetään mittaustodistusta varten. Hakkuukone voi lähettää kulkemansa reitin kuormatraktorille, minkä perusteella se optimoi lähikuljetusreitit. Datansiirto hakkuukoneen, kuormatraktorin ja metsäorganisaation välillä tapahtuu langattomasti GPS- ja GPRS-tekniikoita hyödyntäen. Korjuutraktori tallentaa järjestelmään varastojen sijaintipaikat ja ilmoittaa varastoihin kuljetetut puumäärät metsäosaston järjestelmiin. Kun erä on valmis kuljetettavaksi, optimoidaan reitti kaukokuljetusta varten. Kuljetusmääräykset lähetetään puutavara-autoille. Puutavara-auton lastauksen yhteydessä tehtävässä nippukaaviossa osoitetaan kuormassa olevat puutavaraerät. Nippukaavio lähetetään etukäteen vastaanottavalle mitta-asemalle GPRS-yhteyksin.

Tuotannon muuttuessa tulevaisuudessa yhä asiakaslähtöisemmäksi tehtaasettavat tiukat kriteerit raaka-ainetoimituksille niin laadun kuin toimitusaikataulun suhteen. Jotta puun arvoketjut voisivat toimia mahdollisimman tehokkaasti, tarvitaan järjestelmä, jonne arvoketjussa syntyvää informaatiota voidaan tallentaa ja siirtää kappaleen mukana ja josta ajantasainen informaatio on kaikkien arvoketjussa toimivien osapuolten käytössä. Järjestelmän on mahdollistettava asiakastarpeen välittyminen mahdollisimman aikaiseen jalostusketjun vaiheeseen – optimaalisessa tilanteessa jo leimikkosuunnitteluvaiheeseen. Samanaikaisesti järjestelmän on oltava kustannustehokas. Teknologia mahdollistaa tällaisen järjestelmän kehittämisen jo tällä hetkellä.

3.2.2 Runkojen digitaalinen kuvaus

Kohdassa 3.2.1 olevassa kuvassa 2 esitetään laserkeilauksella tuotettu digitaalinen runko, jossa rungon muoto esitetään monikulmioina. Rungon geometriassa voidaan havaita kohoumia, jotka indikoivat oksien läsnäolosta.



Kuva 3. Rungon katkaisukohtien optimaalinen määrittäminen edellyttää rungon tarkkaa digitaalista kuvausta sekä geometrian että puun sisäisten laatuominaisuuksien perusteella.

Kuvassa 3 nähdään kolme todellista runkoa katkaisulaitoksen poikittaiskuljettimella. Runkoasemalla rungot mitataan pitkittäiskuljettimella. Rungoista voidaan mitata pelkästään ulkoinen geometrinen muoto. Tämän profiilitiedon perusteella voidaan optimoida tukin katkaisukohtien paikat. Pelkästään profiilitietoon perustuva optimointi on tilavuusoptimointia ja käyttösuhteen minimointia. Tilavuusoptimointia voidaan käyttää, mikäli rungot ovat pituussuuntaan laadullisesti hyvin homogeenisia.

Arvon mukaisessa katkonnassa pyritään katkaisemaan rungot tukeiksi siten, että sahauksessa saadaan mahdollisimman hyvä laatu- ja siten myös arvosaanto. Laadun mukainen optimointi edellyttää mittausmenetelmiä, esim. röntgeniä, jolla voidaan nähdä myös rungon sisään. Rungon ja siten tukkien laatuominaisuudet määräävät yksiselitteisesti sahatavaran ja siten myös mahdollisten jalosteiden laadun ja arvon.

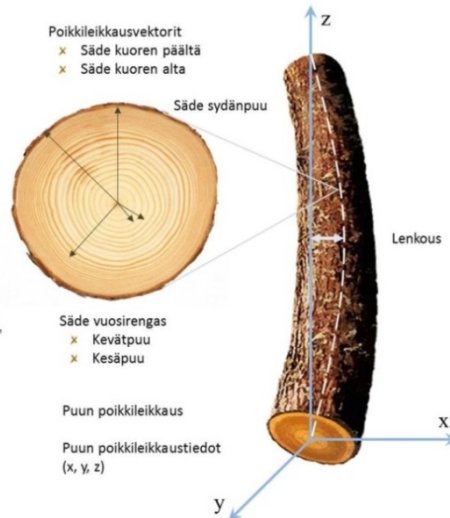
3.2.3 Tukkien digitaalinen kuvaus

Kuvassa 4 on esitetty tukin ominaisuuksia, joita voidaan kuvata digitaalisesti.

Digitaalinen tukki

Tukin ominaisuuskartta kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa tai napakoordinaatistossa:

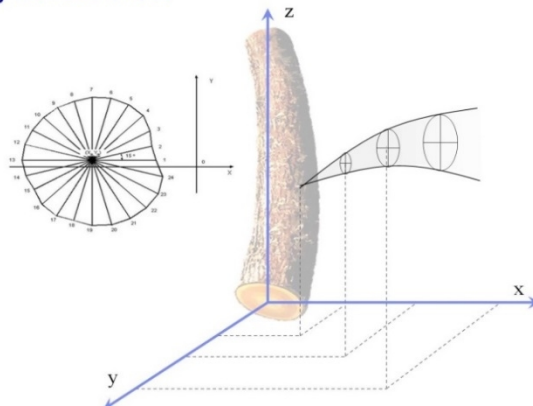
1. **Tukin ytimen sijainti** xyz-koordinaatistossa
2. **Tukin tarkka geometria:** tukin ytimestä lähtevien vektorien joukko
3. **Tukin sydänpuun geometria:** ytimestä lähtevien vektorien joukko
4. **Vuosirengasprofiili:** ytimestä lähtevien vektorien joukko
5. **Oksikkuus:** yksittäisten oksien sijainti, muoto, koko ja laatu
6. **Tiheysprofiili** tukin pituussuunnassa poikkileikkauksittain
7. **Kosteusprofiili** tukin pituussuunnassa poikkileikkauksittain
8. **Viat:** vian laatu esim. laho, vektorien joukko



Kuva 4. Tukin ja sen ominaisuuksien digitaalinen kuvaus.

Kuvassa 5 esitetään tukin geometrian ja oksien digitaalinen kuvaus.

Tukin geometria ja digitaaliset oksat



Kuva 5. Mitä tarkemmin tukki on kuvattu sitä paremmin se saadaan hyödynnettyä.

Tukin ominaisuuskartta kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa tai napakoordinaatistossa

1. Tukin ytimen sijainti xyz-koordinaatistossa
2. Tukin tarkka geometria: tukin ytimestä lähtevien vektorien joukko
3. Tukin sydänpuun geometria; ytimestä lähtevien vektorien joukko
4. Vuosirengasprofiili; ytimestä lähtevien vektorien joukko
5. Oksikkuus: yksittäisten oksien sijainti, muoto, koko ja laatu
6. Tiheysprofiili tukin pituussuunnassa poikkileikkauksittain
7. Kosteusprofiili tukin pituussuunnassa poikkileikkauksittain
8. Muut viat: vian laatu esim. laho, vektorien joukko

Tukkeja kuvaavat parametrit – Tukkipartta

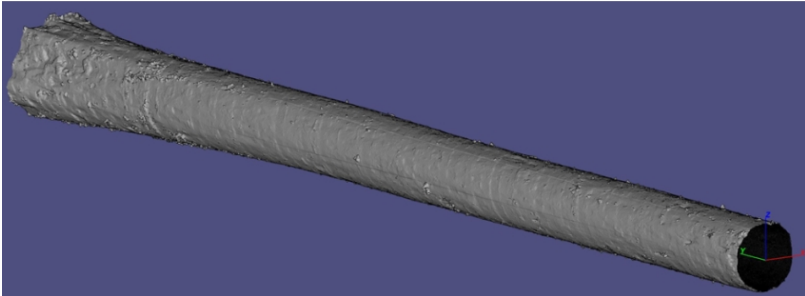
Geometriset parametrit

Latuuun liittyvät parametrit

tukin latvaläpimitta	tiheysprofiili
tukin pituus	kosteusprofiili
tilavuus	vuosirengasprofiili
latvatilavuus	yksittäisten oksien sijainti, muoto- ja
minimiläpimitta	laatuviat
keskiläpimitta	korot ja niiden sijainti puukartalla
maksimiläpimitta	lahot ja niiden sijainti puukartalla
suurin diagonaaliläpimitta	
lenkous	
maksimilenkouden paikka	
keskimääräinen kartiokkuus	
tyvikartiokkuus	
latvan soikeus	
tukin vaippapinnan kyhmyt	
3D-tukin muodon kuvaus	
suorakulmaisessa xyz-koordinaatistossa	
sydänpuun profiili	
kuoren paksuus	

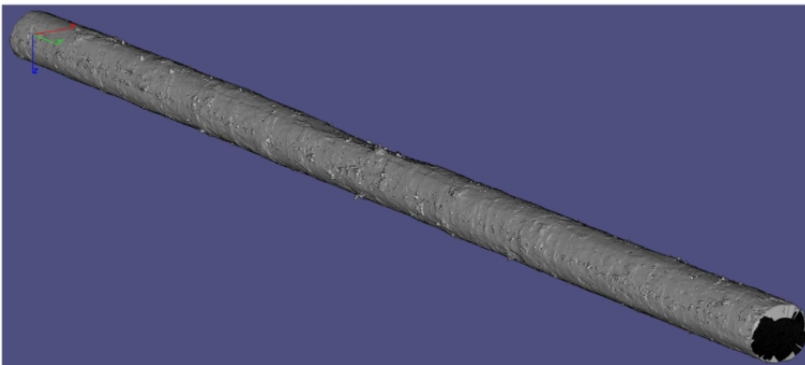
Kuvissa 6 ja 7 esitetään laserskannerilla mitattujen mänty- ja kuusitukkien pintamallit.

Laser-skannatun tukin pintamalli, mäntytukki no 31



Kuva 6. Laserskannerilla tuotettu mäntytukin tarkka pintamalli.

Laser-skannatun tukin pintamalli, kuusitukki no 56



Kuva 7. Laserskannerilla tuotettu kuusitukin tarkka pintamalli.

Tukin ja tuotteiden mittausjärjestelmille voidaan määrittää seuraavia tarpeita

1. Tarkat ja luotettavat mittausjärjestelmät, jotka tuottavat tarkan ominaisuuskartan tukin ja tuotteiden ominaisuuksista.
2. Tukin sisäisten ominaisuuksien mittaaminen kehittyneillä röntgenmittareilla ja algoritmeilla
3. Tukkien lajittelun optimointimenetelmät
4. Mittausjärjestelmissä pitäisi olla myös arvio tuloksen tai arvon luotettavuudesta tai todennäköisyydestä
5. Mittausjärjestelmien kalibrointiin ja arviointiin on kehitettävä menetelmiä.

3.3 Tuotteiden digitaalinen kuvaus

3.3.1 Sahatavaran digitaalinen kuvaus

Kuvassa 8 esitetään sahatavarakappaleen ominaisuuskartta digitaalisessa muodossa.



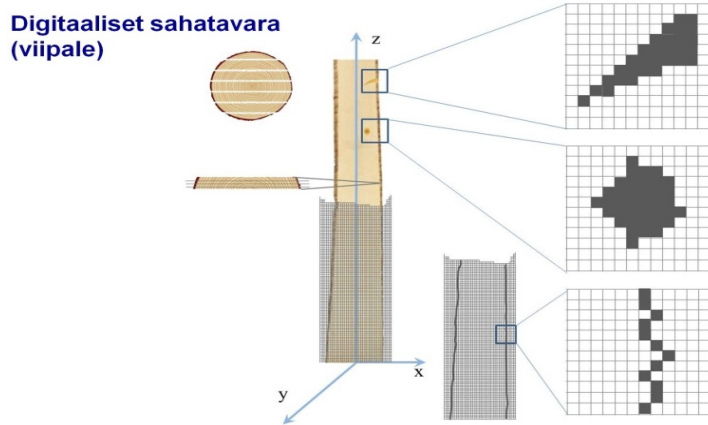
Kuva 8. Sahatavarakappaleen digitaalinen kuvaus.

Tarpeet ja vaatimukset sahatavaran kuvaamiselle

Sahatavarakappaleen yksilöllinen ominaisuuskartta kappalekohtaisesti määritettävissä kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa. Kappaleen yksi pituuden suuntainen särmä voi määrätä z-akselin sijainnin ja toinen lape liittyy mahdollisimman hyvin koordinaatiston yz-tasoon

1. Kappaleen ytimen sijainti xyz-koordinaatistossa
2. Kappaleen tarkka geometria: z-akselista lähtevien vektorien joukko
3. Tukin sydänpuun geometria; z-akselista lähtevien vektorien joukko
4. Vuosirengasprofiili; z-akselista lähtevien vektorien joukko
5. Oksikkuus: yksittäisten oksien sijainti, muoto, koko ja laatu
6. Tiheysprofiili kappaleen pituussuunnassa poikkileikkauksittain
7. Kosteusprofiili kappaleen pituussuunnassa poikkileikkauksittain
8. Muut viat: vian laatu esim. laho, vektorien joukko.

Kuvassa 9 esitetään sahatavara-*viipaleen* digitaalinen ominaisuuskartta.



Kuva 9. Läpisahtatun saheen (viipaleen) digitaalinen kuvaus.

Tarpeet ja vaatimukset särmättävän saheen kuvaamiselle jalostusta ajatellen

Sahatavarakappaleen yksilöllinen ominaisuuskartta kappalekohtaisesti määritettävässä kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa. Kappaleen yksi pituuden suuntainen särmä voi määrätä z-akselin sijainnin ja toinen lape liittyy mahdollisimman hyvin koordinaatiston yz-tasoon

1. Kappaleen ytimen sijainti xyz-koordinaatistossa
2. Kappaleen tarkka geometria: z-akselista lähtevien vektorien joukko
3. Tukin sydänpuun geometria; z-akselista lähtevien vektorien joukko
4. Vuosirengasprofiili; z-akselista lähtevien vektorien joukko
5. Oksikkuus: yksittäisten oksien sijainti, muoto, koko ja laatu
6. Tiheysprofiili kappaleen pituussuunnassa poikkileikkauksittain
7. Kosteusprofiili kappaleen pituussuunnassa poikkileikkauksittain
8. Muut viat: vian laatu esim. laho, vektorien joukko.

Kuvissa 10 ja 11 esitetään komponenttien valmistaminen sahatavarakappaleesta tai viipaleesta sekä komponentille asetettavia laatuvaatimuksia.

Komponenttien digitaalinen kuvaus



Kuva 10. Komponenteilla voi olla hyvin yksilölliset vaatimukset sekä geometristen että laadullisten ominaisuuksien suhteen.



Kuva 11. Komponentin keski-, reuna- ja päätyalueet, joilla voi olla erilaiset laatuvaatimukset.

Tarpeet ja vaatimukset komponenttien kuvaamiselle pitkällä tähtäimellä

Vaatimukset ovat samat mutta tarkemmat kuin sahatavaralle. Komponenteille voidaan asettaa vaatimuksia myös kappaleen keskialueelle, reuna-alueille ja kummallekin päätyalueelle.

Sahatavarakappaleen yksilöllinen ominaisuuskartta kappalekohtaisesti määrittävässä kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa. Kappaleen yksi pituuden suuntainen särmä voi määrätä z-akselin sijainnin ja toinen lape liittyy mahdollisimman hyvin koordinaatiston yz-tasoon

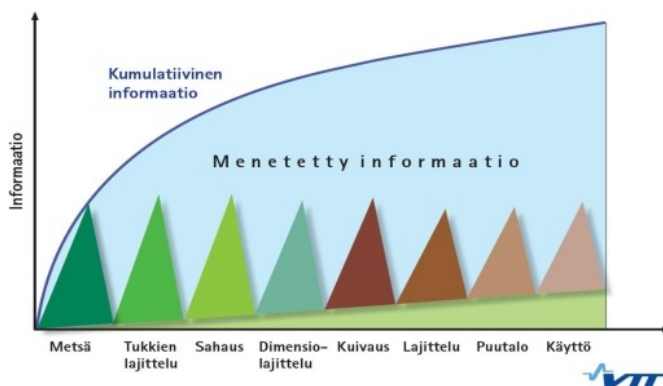
1. Kappaleen ytimen sijainti xyz-koordinaatistossa
2. Kappaleen tarkka geometria: z-akselista lähtevien vektorien joukko
3. Tukan sydänpuun geometria; z-akselista lähtevien vektorien joukko
4. Vuosirengasprofiili; z-akselista lähtevien vektorien joukko
5. Oksikkuus: yksittäisten oksien sijainti, muoto, koko ja laatu
6. Tiheysprofiili kappaleen pituussuunnassa poikkileikkauksittain
7. Kosteusprofiili kappaleen pituussuunnassa poikkileikkauksittain
8. Muut viat: vian laatu esim. laho, vektorien joukko.

4. Informaatiojärjestelmät

Digitaalisen tuoteprosessin yhtenä selkärankana ovat informaatiojärjestelmät, joissa dataa ja informaatiota siirretään prosessivaiheiden välillä ja jalostusketjujen eri toimijoiden välillä.

4.1 Menetetty informaatio

Kuvassa 12 esitetään periaatekuva jalostus- ja toimitusketjusta ja siitä, mitä ketjun eri vaiheissa kerätylle informaatiolle tapahtuu. Hakkuukoneen siirtyessä leimikolle tiedetään leimikon sijainti tarkasti. Koneen kuljettaja voi tehdä havaintoja maaperästä, leimikon yleisestä laadusta jne. Runkoja kaadettaessa ja katkottaessa mitataan rungon läpimittoja ja tehdään havaintoja rungon ja tukkien laadusta. Saatavilla olevan informaation määrä lisääntyy varsin nopeasti. Tukkikuorman tullessa sahalle juuri mitään edellä mainituista tiedoista ei ole tallella. Informaatioisältöä kuvaava suora suuntautuu jyrkästi alaspäin ja päättyy lähes nollassa. Tukkien lajittelussa mittaustietoa kertyy tukin läpimitoista, kartiokkuudesta, lenkoudesta, laadusta, tilavuudesta jne. eli niistä parametreista, joita tukeista jo kertaalleen oli metsässä jo mitattu.



Kuva 12. Informaatioisältö ja kumulatiivinen informaatio jalostusketjun eri vaiheissa.

Sen jälkeen kun tukki on pudotettu lajittelulaitoksen lokeroon, kaikki yksityiskohtaisesti mitattu tieto häviää, tiedetään vain tukkiluokka. Aivan samaan tapaan kuin metsässä myös tukkien lajittelussa ensin informaation sisältö kasvaa ja sitten se putoaa lähelle nollaa. Samalla tavalla tapahtuu kaikissa sahausprosessin vaiheissa: tietoa kertyy ja sitten se menetetään. Jatkojalostuksen ja loppukäyttäjien kannalta tilanne on täsmälleen samanlainen. Toimitetusta sahatavaraa tiedetään ainoastaan laatuluokka, dimensio ja yleensä pituusjakauma. Loppukäyttäjä joutuu omaa tarkoitustaan varten usein mittaamaan sellaista tietoa, joka on jo jossain muodossa ollut olemassa, mutta joka on jalostusketjussa menetetty.

Kuvaan 12 on piirretty myös kumulatiivinen informaation sisältö, jossa kaikki eri prosessivaiheissa kerätty, mitattu ja havaittu tieto on tallennettu. Valmiiseen sahatavarakappaleeseen liittyy siten huomattava informaation sisältö. Jos edes osa menetetyistä tiedoista olisi tallella, voitaisiin puhua informaatiointensiivisestä tuotteesta, ainakin verrattuna nykyisiin sahatavara tuotteisiin. Puun jalostusketjun kokonaisvaltaista hallintaa ja optimointia silmällä pitäen on kuitenkin erittäin tärkeää, että suuri osa menetetyistä informaatioista saataisiin pelastettua ja hyödynnettyä liiketoiminnassa.

4.2 Ohjauksen peruseriaatteet ja informaatiojärjestelmät

Puuraaka-aineen optimaalinen käyttö edellyttää sitä, että tuotteet ja puuraaka-aine sopivat mahdollisimman hyvin toisiinsa. Yhteensopimattomuus merkitsee auttamatta lankeavien tuotteiden, tuotteiden joilla ei ole kysyntää, syntymistä sahausprosessissa. Informaatioteknologia tarjoaa kuitenkin hyvät työkalut puuraaka-aineen ja tuotteiden yhteensopivuuden parantamiseksi. Olennaisia komponentteja uusissa järjestelmissä (kuva 13) ovat puun identifiointi, merkintä ja merkinnän tai tunnisteen lukeminen sekä syötetyn ja mitatun informaation tallennus ja käsittely siten, että saadaan tuotettua tehokasta ohjausinformaatiota. Merkintä muodostaa sillan jalostusketjun eri vaiheiden välille, koska sen avulla voidaan linkittää toisiinsa raaka-aineet, puolivalmisteet ja tuotteet sekä prosessien parametrien arvot. Merkintäjärjestelmien käytöllä pyritään sahayrityksen kannattavuuden parantamiseen tehostamalla informaation kulkua, suunnittelun tasoa, prosessin ohjausta, asiakaslähtöistä toimintaa, laadunohjausta, prosessireittien valintaa, prosessin kunnan valvontaa.

Merkintä on sahausprosessissa sahapuurunkoon, tukkiin, pelkkaan, sahatavara-aihioon tai tuoreeseen tai valmiiseen kuivaan sahatavaraan tehty merkki, joka on visuaalisesti tai automaattisesti havaittavissa tai luettavissa (kuva 13). Merkintään liittyy aina informaatiota, joka kertoo suoraan tai epäsuorasti ihmiselle tai informaatiojärjestelmälle jonkin olennaisen tiedon.

Merkintä tai tunnistus voi olla

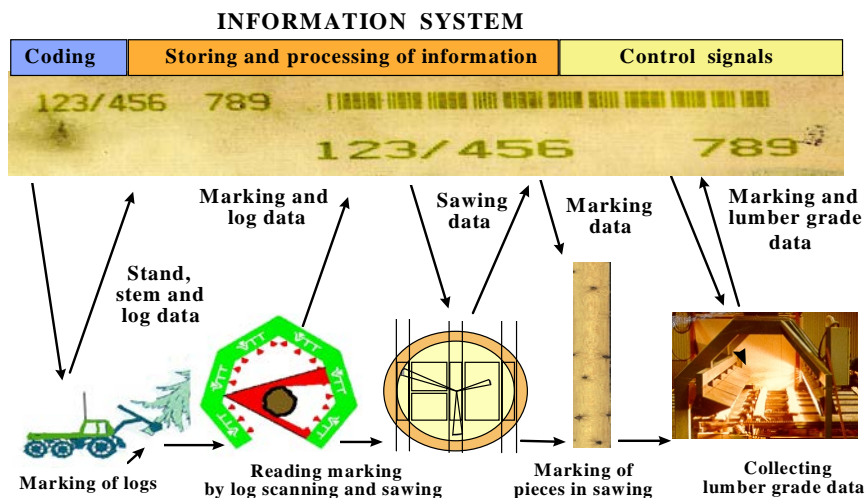
- kollektiivinen, jolloin tietty ryhmä kappaleita merkitään identtisellä koodilla
- yksilöllinen, jolloin jokaisella kappaleella on oma toisista poikkeava koodaus tai tunnistus
- kaikkiin kappaleisiin tehtävä

4. Informaatiojärjestelmät

- osaan kappaleista tehtävä.

Kollektiivinen merkintä tehdään määrätyle ryhmälle tai osaryhmälle kappaleista, joiden ominaisuudet ovat samat tai lähellä toisiaan. Esimerkiksi kaikki tyvitukit merkitään punaisella ympyrällä. Yksilöllinen merkintä kirjoitetaan kaikkiin kappaleisiin tai osaan niistä.

Olenaisena osana järjestelmää ovat tietokannat, jotka liittyvät puuraaka-aineeseen, hankinta-alueisiin, hakkuukoneisiin, puuraaka-aineen kuljetuksiin, tukkien lajitteluun, sahausprosessin eri vaiheisiin, tuotteisiin, markkina-alueisiin, asiakkaisiin jne. Järjestelmässä kerätään toiminnan suunnittelussa ja ohjauksessa tarvittavaa, hyödynnettävää tietoa. Mitattu tai muulla tavoin tuotettu data taltioidaan MRI-perustietokantaan. Samanaikaisesti generoidaan jalostusketjun vaiheittainen datan osoitekoodi. Koodi lajittelee, erottelee ja yhdistää tiedot toisistaan. MRI-tietokannat prosessoidaan ensin virheellisten datojen löytämiseksi ja eliminoinniseksi. Tämän jälkeen data prosessoidaan määriteltujen sääntöjen mukaan. Tuloksena syntyy jalostettu tietokanta suunnittelutoiminnassa käytettäväksi.

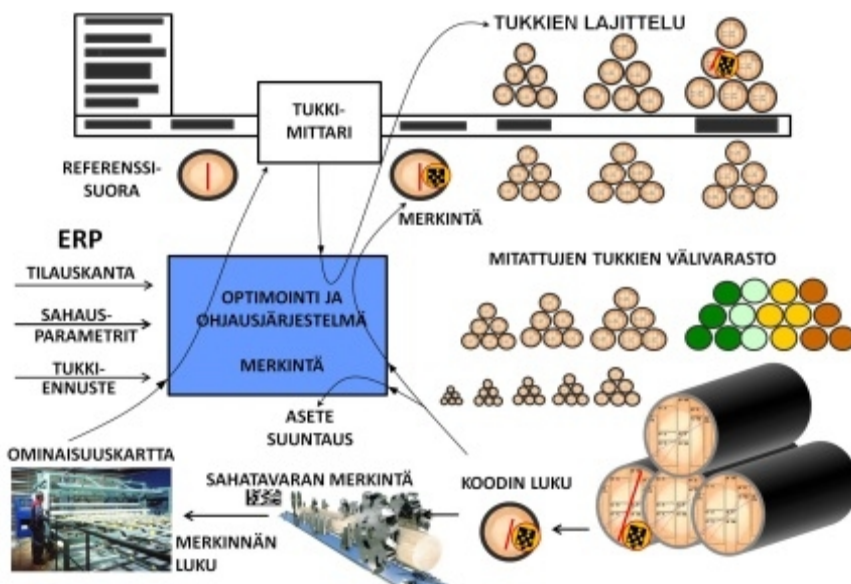


Kuva 13. Kappaleiden merkinnällä ja merkinnän luvulla voidaan linkittää dataa yhteen informaation tuottamiseksi ja hyväksikäyttämiseksi.

5. DigiPOS-konseptien kehittäminen

5.1 DigiPOS-järjestelmän periaatteellinen kuvaus

Seuraavassa kuvataan DigiPOS-järjestelmän peruskonsepti tukkien lajittelusta tuoreen sahatavaran lajitteluun (kuva 14).



Kuva 14. DigiPOS-järjestelmän periaatekuva.

DigiPOS-järjestelmän kuvaus

1. Tukki tulee tukkien lajittelulinjalle. Tukille annetaan sen identifioimiseksi ID-numero (TNO), joka tallioidaan DigiPOS-informaatiojärjestelmään (INFO).
2. Merkitään tukin päähän värimerkkauksella suora viiva, joka määrittelee tukille kolmiulotteisen xyz-koordinaatiston.

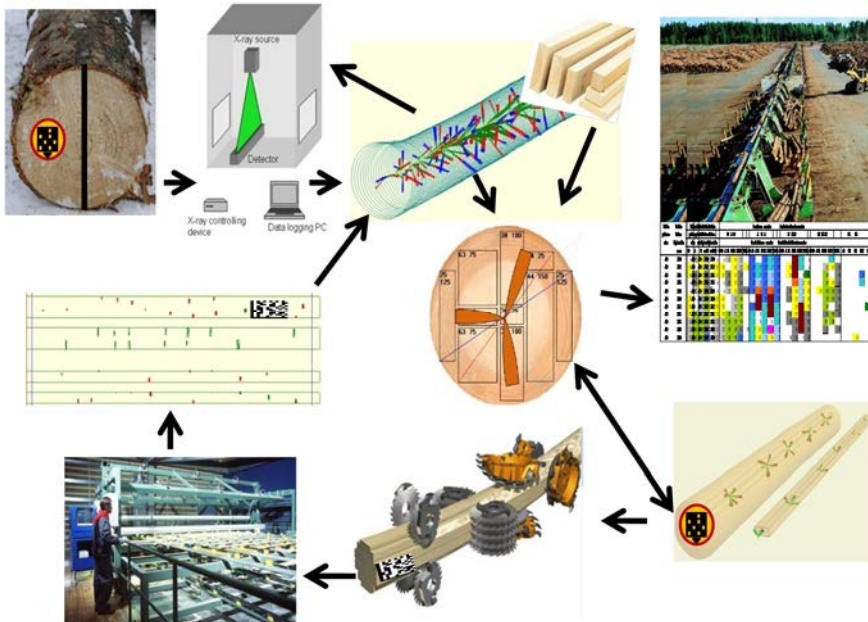
5. DigiPOS-konseptien kehittäminen

3. Tukki mitataan tukkimittarilla; tuloksena mittausdata, jonka perusteella määritetään simulointilaskennassa käytettävä matemaattinen virtuaalitikki, joka tallioidaan INFO:n tietokantaan osoitteeseen TNO.
4. Määritetään koodigeneraattorilla (KOGEN) tukin tunnistamistapa, joita ovat: merkintä, tukin mitattavissa olevat ominaisuudet tai merkintä + tukin ominaisuudet (merkinnän yksinkertaistamiseksi). KOGEN määrittää tunnistuskoodin (TKOD), joka liittää sen tukkiin (TNO).
5. Tilauskannan ja sahaustarpeiden (ERP) mukaan tukkien lajittelun optimointiohjelma laskee optimaalisen tukkien ryhmittelytavan tai osittaisen muutoksen käytössä olevaan luokitustapaan.
6. Tukkien mittaustulosten perusteella lasketaan sahauskeskittämisen simulointiohjelmalla ja sahamallilla, mihin tukkiryhmään tai sen alaryhmään tukki osoitetaan. Sahamalli yhdistää toisiinsa tukit, prosessiarvot ja tuotteet. Kun tukkien lajittelulokeroon on tullut tarvittava määrä tukkeja, tukit siirretään välivarastoon ja paikkaan, jossa ryhmä on identifioitavissa. Paikkakoodi ja sen sijainti määritellään informaatiojärjestelmässä.
7. Sahamalliohjelmalla lasketaan missä järjestyksessä tukkiryhmät otetaan sahauskeskittämiseen. Tukkiryhmä kuljetetaan sahaan syöttöön.
8. Tukin tullessa sahalinjalle, luetaan kameralla sen merkintä tai mitataan siitä ominaisuudet, joiden perusteella tukki on tunnistettavissa.
9. Vapautetaan tukin tunnus TNO uudelleenkäytettäväksi INFOssa.
10. Tunnisteen perusteella haetaan INFOsta tukin optimaalinen sahausasete sahakoneille, sekä pelkkasahalle että jakosahalle. Asete voi olla vakioasete koko tukkiryhmälle tai asete voi olla yksilöllinen jokaiselle tukille. Aseteissa voi olla kiinteä sydäntavaraosa mutta sivulautamallit voivat olla tukkikohtaisia, jolloin tukkiryhmien ominaisuudet ja sahakoneen ominaisuudet tukevat toisiaan.
11. Sahauksessa syntyneet kappaleet merkitään tai muuten tunnistetaan siten, että kaikki kappaleet voidaan liittää tiettyyn tukkiin sahatavaran tuorelajittelussa.
12. Tuorelajitteluun siirretään tukkien mittauksessa generoitujen virtuaalitikkien sahauskeskittämisen simuloinnissa saadut sahatavarakappaleiden vikakartat, joita voidaan hyödyntää tuorelajittelussa mittausten tukena.
13. Sahatavaran tuorelajittelussa mitataan kappaleiden ominaisuuskartat. Tunnisteen perustella kappaleet kohdistetaan tiettyyn tukkiin ja sahausasetteen teräväliin. Ominaisuuskartta siirretään INFOon.
14. Tuorelajittelun vikakarttoja hyödynnetään tukin mittauksen parametrien arvojen itseoppivassa määrittämisessä.

DigiPOS-järjestelmä kattaa sahausprosessin vaiheet tukkien lajittelusta sahaukseen ja edelleen sahatavaran tuorelajitteluun. Seuraavassa on lyhyt kuvaus järjestelmän toiminnoista.

Tukkien lajittelulaitoksella tukin päähän merkitään värillä ytimen kautta kulkeva suora viiva välittömästi ennen tukin mittareita (kuva 15). Viivan asema mitataan konenäköjärjestelmällä tukin kulkiessa mittausjärjestelmän läpi. Näin saadaan määritettyä tarkasti tukin kolmiulotteinen koordinaatisto sahausasetteen ja tukin pyöryksen ja pelkan suuntauksen optimoimiseksi. Tukkien lajittelulaitoksella mitataan tarkasti tukin geometria (3D-skanneri) ja optiona röntgenmittauksella sen sisäiset ominaisuudet, kuten oksat ja sydänpuu.

Tukit merkitään mittauksen yhteydessä tunnisteella, jonka perusteella kaikki tukit tai osa tukeista on identifioitavissa myöhemmin sahausvaiheessa. Identifioinnin tarve määräytyy sen mukaan mitä hyötyä merkinnästä on saatavissa. Hyöty riippuu lähinnä tukin ja tukkien ominaisuuksista mutta myös tuotevalikoimasta. Tunnisteena voidaan käyttää koodia, joka on tuotettu esimerkiksi väri- tai kemiallisella merkkauksella. Myös RFID-tunnistetta voidaan käyttää. Tukin yksilöllinen tunniste voi olla myös useamman menetelmän yhdistelmä, jossa esimerkiksi värimerkkaukseen liitetään tietoa, joka saadaan tukin ominaisuuksien mittauksen tuloksena. Tällaisen moniulotteisen tunnistuksen komponentteja voivat olla väriiviakoodin lisäksi esimerkiksi tukin latvaläpimitta, useammat läpimittahalkaisijat, kartiokkuus, lenkous, soikeus jne.



Kuva 15. DigiPOS-järjestelmän peruskomponentit.

5.2 Järjestelmälle asetettavat vaatimukset ja tavoitteet

Tarpeet ja vaatimukset DigiPOS-järjestelmän toimintaympäristölle

- Puulajit: mänty ja kuusi
- Raaka-aine luokat (tukin asema rungossa, laatu ja latvaläpimitta)
- Tuotteet: standardisahatavaraa, komponentit ja erikoissahatavaraa joko yhdessä tai erikseen
- Tuotantojärjestelmät: 1) Tukkien mittaus: tukin geometrian mittaus ja laadun mittaus esimerkiksi röntgenillä (ei välttämätön), 2) Tukkien lajittelu – riittävästi lajittelulokeroita ja lajittelupaikkoja. 3) Tukkivaraston hallinnan menettelmät. 4) Sahausmenetelmä: nelisahaus, profilointi ja läpisahaus.

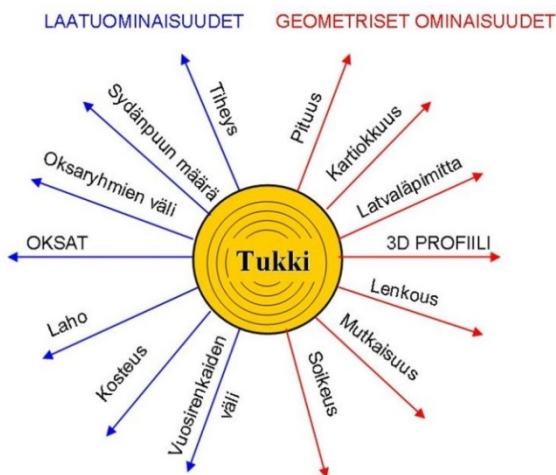
Kohdealueet: 1) tukkien lajittelusta sahaukseen, 2) tukkien lajittelusta tuorelajitteluun, 3) runkotermiinalista sahaukseen ja 4) runkotermiinalista tuorelajitteluun.

Tarpeet ja vaatimukset lyhyellä tähtäimellä

- Puuraaka-aineen, väljalosteiden ja tuotteiden kuvaus (MINIMI)
 - Puuraaka-aine ja tuotteet kuvataan sillä tarkkuudella, joka on saatavissa nykyisistä mittareista
- Tukin ja tuotteiden mittausjärjestelmät
 - Tukin ja tuotteiden mittausjärjestelmät ovat nykyisin käytettävissä olevia skannereita
- Tuotantokapasiteetille
 - Tukkien lajittelu saattaa tarvita lisätilaa ja tukkivaraston uudelleen organisoitua sekä muutoksia logistiikassa
 - Sahauskapasiteetille ei aseteta vaatimuksia eikä rajoituksia.
- Kannattavuus. Lisätuottojen on oltava suuremmat kuin järjestelmän aiheuttamat kustannukset.

5.3 Tukkien ominaisuudet ja niiden mittaus

Tukkien ominaisuudet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: geometrisiin ominaisuuksiin ja laatuominaisuuksiin. Kuvassa 16 esitetään tukin tärkeimmät geometriset ominaisuudet - latva latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus, lenkous, soikeus, mutkaisuus. Tukin geometria voidaan kuvata myös hyvin tarkasti, piste pisteeltä. Tukin geometrian perusteella määräytyy saatavan sahatavaran koko (paksuus x leveys x pituus), määrä. Kuvassa esitettäviä laatuominaisuuksia ovat mm. oksaisuus, oksaryhmien väli, sydänpuun määrä ja halkaisija, puun tiheys, laho, tiheys, kosteus ja vuosiluston paksuus. Laatuominaisuuksien perusteella määräytyy sahatavaran laatu ja siten sahauksen arvo. Kuvassa 16 esitetään tukin geometriset ja laatuominaisuudet tukin keskiöstä lähtevinä säteinä.



Kuva 16. Tukkien ominaisuuksien jako geometrisiin ominaisuuksiin ja laatuominaisuuksiin.

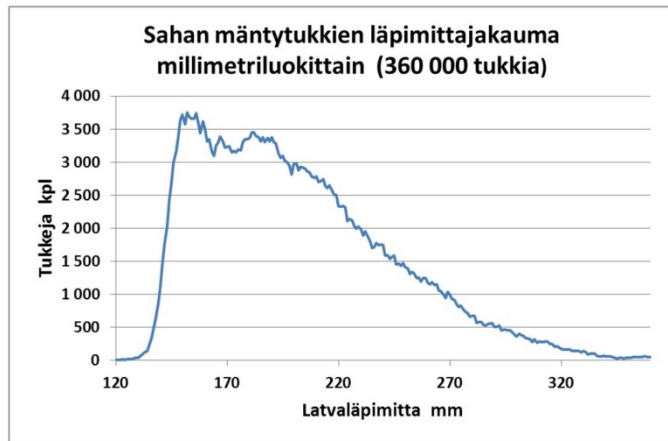


Kuva 17. Tukkien ominaisuudet ja mitattavat piirteet voivat vaihdella huomattavasti.

Osa tukeista on geometrialtaan lähes suoria sylintereitä tai katkaistuja kartioita. Sahausten kannalta nämä ovat parhaita. Tukan lenkous on kaarevuutta, mikä on otettava huomioon asetevalinnassa ja tukin tai pelkan suuntauksessa. Kuvan 17 vasemmalla olevassa tukissa on huomattava tyvilaajentuma. Tyvileikkauksen muoto on sahausten kannalta hankala vaikeuttaen sahausta, minkä takia tyvilaajentuma tavallisesti sievistetään pois. Tukkien tunnistuksen kannalta tyven muoto voi olla hyvin positiivinen tekijä.

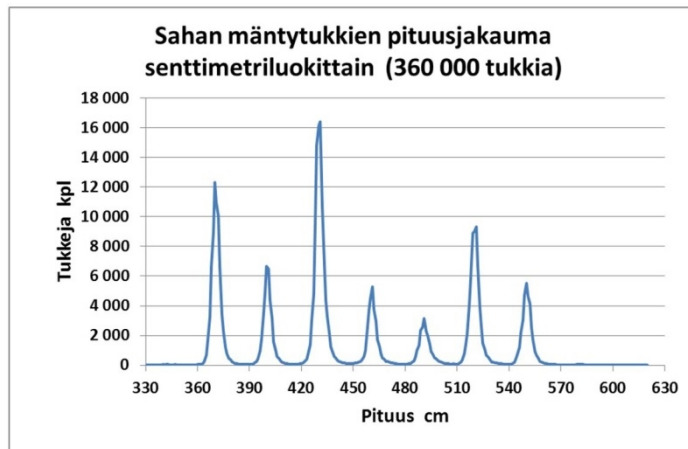
5.4 Teollisuuden tukkipankki

Tukkien tunnistamisen tutkimuksiin DigiPOS-projektissa saatiin teollisuudesta tutkijoiden käyttöön hyvin laaja 1 350 000 tukin – 360 000 mäntytukkia ja 995 000 kuusitukkia – teollisuudessa suoritettujen mitaustulokset, joissa on esitettyä tukki-kohtaisesti kaikki tärkeimmät tukkeja kuvaavat suureet. Kuvassa 18 esitetään aineiston tukkien latvaläpimitan jakauma, kuvassa 19 pituuden jakauma ja kuvassa 20 kartiokkuuden jakauma.



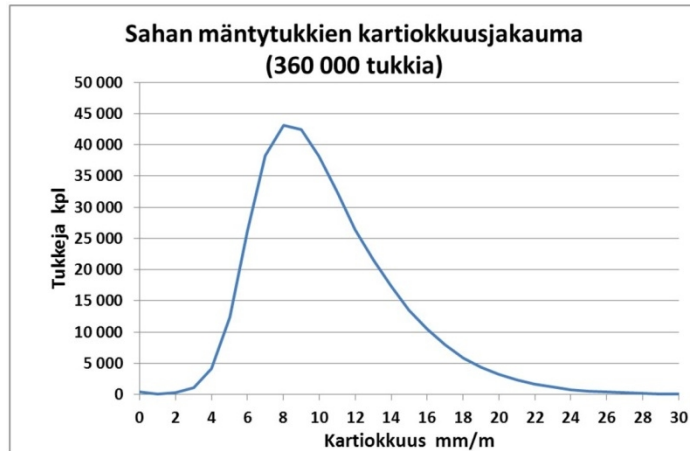
Kuva 18. Mäntytukkien latvaläpimitan jakauma. Tukkien kokonaismäärä on 360 000 tukkia.

Mäntytukkien latvaläpimita vaihtelee 120 mm:stä 350 mm:iin. Korkein piikki on latvaläpimitan 150 mm kohdalla. Kuvasta 18 nähdään, että paikallinen minimi sattuu latvaläpimitan 170 mm:n kohdalle. Tällainen paikallinen minimi on hyvin tavallinen, ja se johtuu tukkien katkontapituuksista ja apteerauksesta, jolla tarkoitetaan puurungon katkaisukohtien määräämistä. Apteeraus on erittäin tärkeä prosessivaihe, koska myöhemmissä prosessivaiheissa ei voida korjata apteerauksesta tehtyjä virheitä.



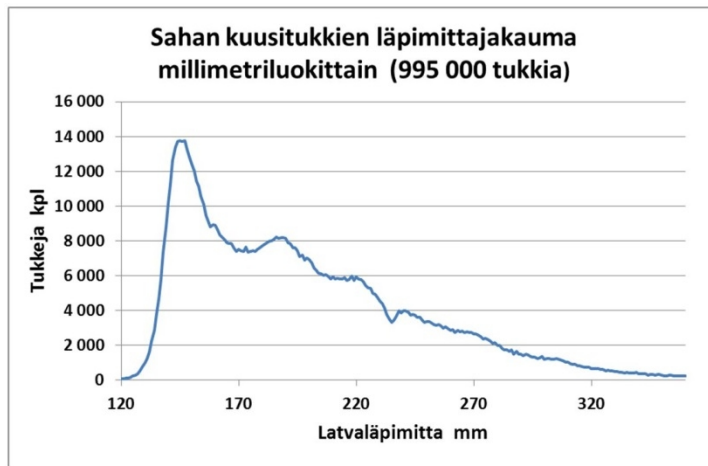
Kuva 19. Mäntytukkien pituusjakauma.

Mäntytukkien pituusjakaumassa nähdään hyvin paikallisia piikkejä, jotka johtuvat siitä, että sahatavaran tavoitepituus vaihtelee tavallisesti 300 cm:stä ja 600 cm:iin 30 cm:n portain. Tukin pituuteen jätetään yleensä noin 10 cm:n tasausvara sahatavaran katkaisua varten. Tämä on havaittavissa kuvasta 19. Kuvaajasta nähdään myös selvästi katkaistujen tukkien pituuksien hajonta. Tukkien pituuksien keskiarvo on yleensä noin 4,5 m. Pitkien tukkien osuus voi olla hyvinkin vähäinen, koska pitkiä tukkeja saadaan rungoista vain vähän.



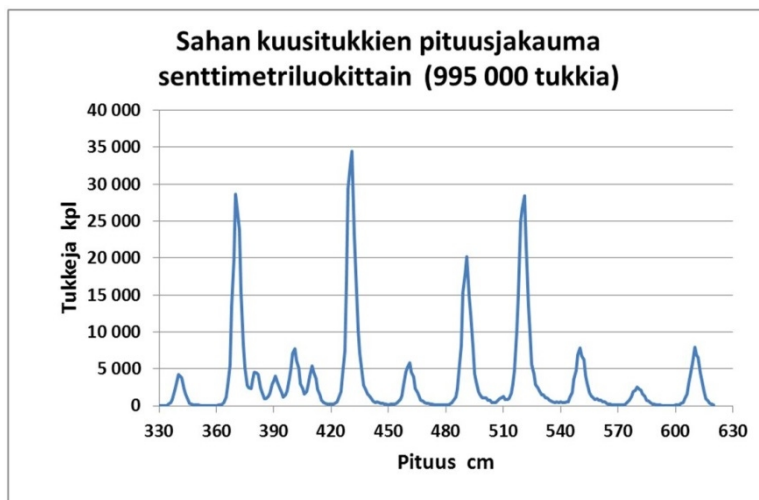
Kuva 20. Mäntytukkein kartiokkuuden (kapenemisen) jakauma.

Mäntytukkien kartiokkuuden jakaumasta kuvassa 20 nähdään, että kartiokkuus vaihtelee nolasta 30 mm/m keskiarvon ollessa noin 9 mm/m. Kuvaaja on selvästi toispuoleinen. Kartiokkuuden ollessa keskimääräistä pienempi jakauma on jyrkempi. Kartiokkuuden ollessa keskimääräistä suurempi jakauma on selvästi loivempi.



Kuva 21. Kuusitukkien läpimittajakauma. Tukkien kokonaismäärä 995 000 tukkia.

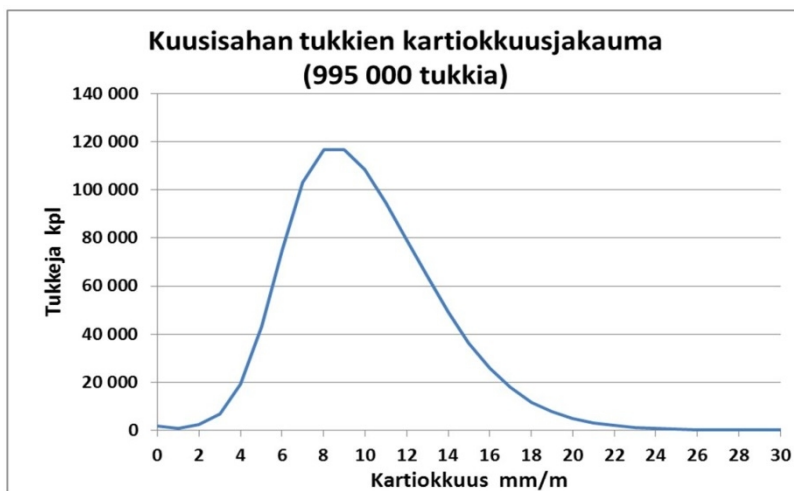
Kuvassa 21 esitetään mitattujen kuusitukkien latvaläpimitan jakauma, joka vaihtelee 120 mm:stä 350 mm:iin. Korkein piikki on latvaläpimitan 150 kohdalla. Paikallinen minimi on latvaläpimitan 170 mm kohdalle ja se johtuu runkojen apterauksesta ja katkonnasta. Tällainen paikallinen minimi on hyvin tavallinen.



Kuva 22. Kuusitukkien pituusjakauma. Tukkien kokonaismäärä 995 000 tukkia.

Kuusitukkien pituusjakaumassa nähdään hyvin paikallisia piikkejä, jotka johtuvat sahatavaran moduulipituuksista, jotka ovat 30 cm:n portain. Tukin pituuteen jäte-

tään kuitenkin aina noin 10 cm:n tasausvara, mikä on havaittavissa myös kuvan 22 kuvaajasta. Kuvaajasta nähdään myös selvästi katkaisun hajonta.



Kuva 23. Kuusitukkien kartiokkuusjakauma. Tukkien kokonaismäärä 995 000 tukkia.

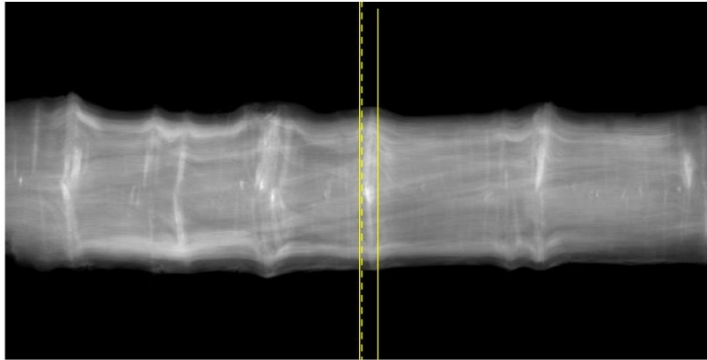
Kuusitukkien kartiokkuuden jakaumasta kuvassa 23 nähdään, että kartiokkuus vaihtelee nolasta 30 mm/m keskiarvon ollessa noin 9 mm/m. Kuvaaja on selvästi jyrkempi tukkien kartiokkuuden ollessa keskimääristä pienempi. Suurilla kartiokkuuden arvoilla jakauma on selvästi loivempi.

5.4.1 Tukkien röntgenmittaus

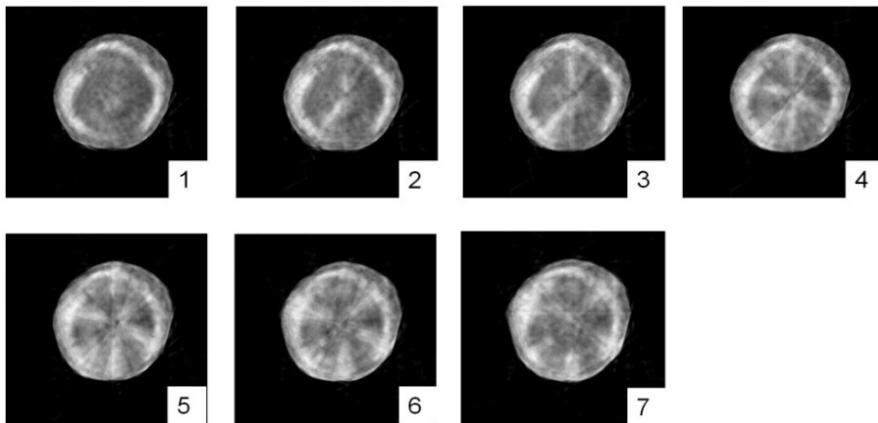
Tukkien röntgenmittauksella tuotetaan tietoa puun sisäisestä rakenteesta ja ominaisuuksista. Kun röntgensäde kulkee tukin läpi, sen vaimeneminen mitataan detektorilla (kuvat 24, 25 ja 26). Vaimenemisen voimakkuus riippuu siitä, kuinka pitkä on säteen kulkema matka puussa, miten tiheää tai miten kosteaa puuaines on. Kun oksat ovat muuta puuta tiheämpää, röntgenmittauksella voidaan saada tietoa puun rakenteesta, oksikkuudesta, oksien sijainnista, sydänpuun halkaisijasta, puun kosteudesta, lahovaurioista jne.

Röntgenmittausjärjestelmiä on käytössä noin kymmenellä suomalaisella sahalaitoksilla. Järjestelmät eroavat toisistaan mittaussuuntien perusteella. Mittaussuuntien lukumäärä vaihtelee yhdestä neljään. Mitä enemmän mittaussuuntia on, sitä paremmin voidaan tunnistaa erilaisia puun ominaisuuksia. Käytössä on myös spiraalimaisesti pyörivä CT-mittausjärjestelmä, joka tuottaa informaatiota useasta mittaussuunnasta. Röntgenmittauksesta saadut kokemukset ovat olleet positiivi-

sia. Kuvissa 24 ja 25 esitetään röntgenmittauksella tuotettuja rekonstruktioita sekä tukin pituussuunnassa että poikkisuunnassa.



Kuva 24. Tukien röntgenmittauksessa läpivalaistetaan tukki ja tuotetaan tietoa tukin sisäisestä rakenteesta.

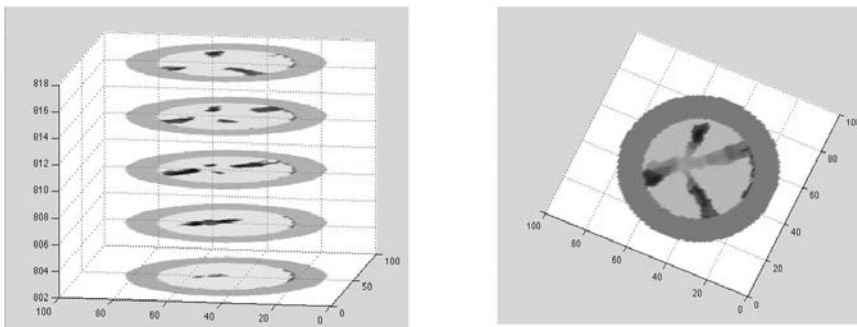


Kuva 25. Kuvasarja tukin poikkileikkauksista tuotetusta datasta.



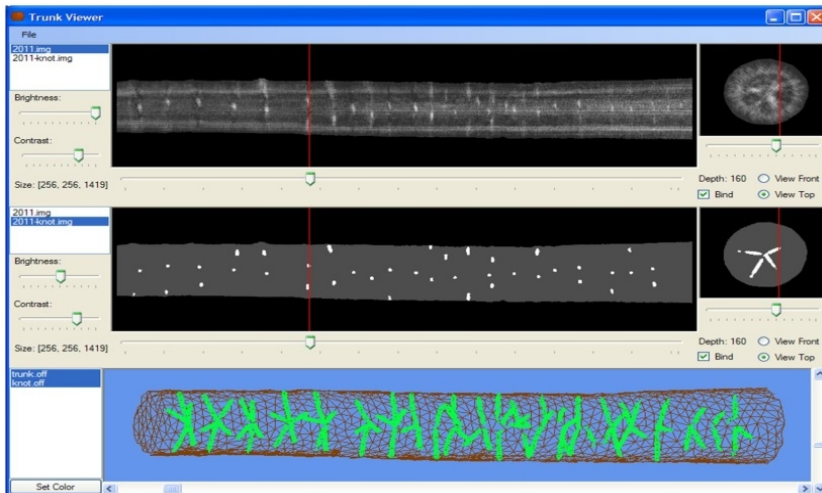
Kuva 26. VTT:n röntgenjärjestelmä tukkien ja sahatavaran sisäisten ominaisuuksien tarkaksi määrittämiseksi.

Osana Euroopan Unionin rahoittamaa Pinocchio projektia VTT kehitti kuvassa 26 esitetyn röntgen mittausjärjestelmän vaativiin tutkimuksiin. Laitteistossa tukki kiinnitetään pitkittäiskuljettimen osana oleviin karioihin ja kuljetetaan yksisuuntaisen röntgenin ohitse. Detektorilla mitataan röntgensäteen vaimennus. Tukki palautetaan kuljettimella takaisin lähtöasemaansa. Tämän Tukin pyörityskulmaa muutetaan ja tukki kuljetetaan uudelleen mittaukseen. Kun mittauksia toistetaan tukki saadaan kuvattua monesta suunnasta. Näin saadaan hyvin tarkka kuva tukista. Kuvassa 27 esitetään VTT:n järjestelmällä viisi tukin poikkileikkauksen rekonstruktioita, joissa näkyvät puussa olevat oksat. Liittämällä näitä poikkileikkauksuvia yhteen saadaan rekonstruoitua kolmiulotteinen tukin kuva (kuva 28).



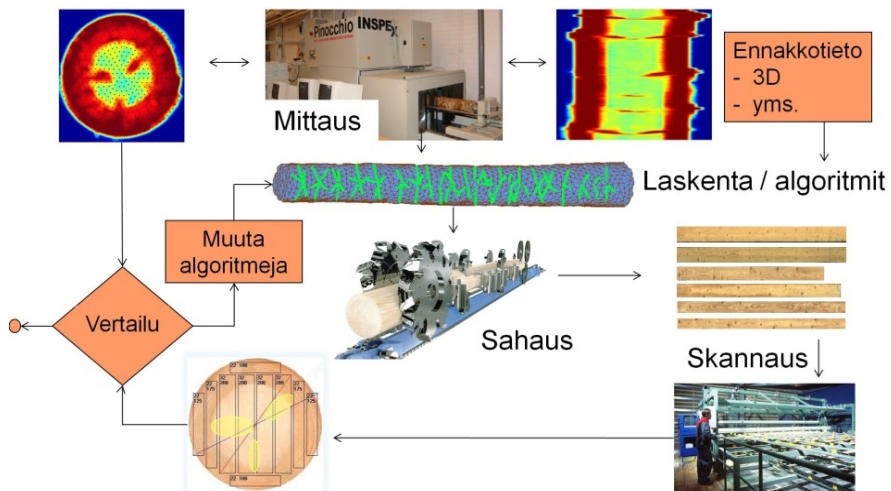
Kuva 27. Mitattu raaka-data prosessoidaan (vasemmalla). Tuloksena saadaan informaatiota tukin yksittäisistä oksista (oikealla) Tukista saadaan mitattua sitä tarkempaa dataa mitä useampaa mittaussuuntaa voidaan käyttää.

5. DigiPOS-konseptien kehittäminen



Kuva 28. Tukin yksittäisistä poikkileikkauksista voidaan muodostaa virtuaalinen tukki, jonka ominaisuudet ovat mahdollisimman lähellä mitattavan tukin ominaisuuksia.

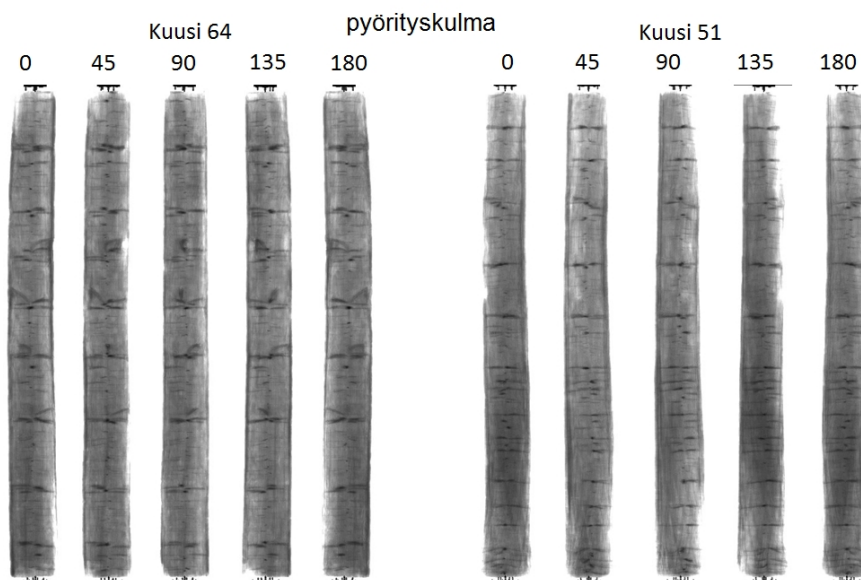
Kuvassa 29 esitetään järjestelmä röntgenmittauksen kehittämiseksi. Se perustuu siihen, että verrataan sahatavarasta suoritettuja mittauksia tukkiröntgenillä suoritettuihin mittauksiin. Mittauserojen perusteella muutetaan kokonaisjärjestelmän parametreja.



Kuva 29. Tukkien röntgenmittauksen kehittäminen.

Kuvassa 30 esitetään röntgenmittauksella tuotetut läpivalaisukuvat 45 asteen välein. Aikaisempien tutkimusten perusteella röntgenmittaussuuntia tulisi olla vähintään 6–8 kappaletta, jotta voitaisiin nähdä yksittäinen oksa tukin sisältä riittäväällä tarkkuudella.

Kuusitukkien (no 64 ja 51) röntgenkuvia 45 asteen välein



Kuva 30. Kaksi kuusitukia mitattuna röntgenillä 45 asteen välein.

5.5 Käytännön kokeet sahalla

Tutkimuksessa käytetty puumateriaali

Sahan edustajat valitsivat edustavat mänty- ja kuusileimikot, joista saatiin tutkimuksessa käytettävä tukkiaineisto.

- 12 mäntytukkirungosta katkaistiin yksi neljän tukin runko, kymmenen kolmen tukin runkoa ja yksi kahden tukin runko. Kaikkiaan saatiin 36 mäntytukkiä, joiden latvahalkaisija vaihteli 155 mm:n ja 350 mm:n välillä keskiarvon ollessa 239 mm.
- 12 kuusitukkirungosta katkaistiin kaksi neljän tukin runko ja kymmenen kolmen tukin runkoa. Kaikkiaan saatiin 36 kuusitukkiä, joiden latvahalkaisija vaihteli 170 mm:n ja 359 mm:n välillä keskiarvon ollessa 239 mm.

Tukkien pituus vaihteli 4,4 m:n ja 5,6 m:n välillä.

Pääsääntöisesti kustakin rungosta tehtiin yksi tyvitukki, yksi välitukki ja yksi latvatukki, poikkeuksena mäntyrunko 1 (2 tukkia), mäntyrunko 8 (4 tukkia) ja kuusi-rungot 2 ja 6 (4 tukkia). Tukkien läpimittaluokissa tähdättiin mittoihin 150–160 mm latvatukit, 200–210 mm välitukit ja 290–300 mm tyvitukit. Mitattavia tukkeja oli siten kaikkiaan 74 kappaletta. Tukkien alkuperäiset runkotiedot taltioitiin, jolloin tukeista voitiin rekonstruoida rungot jälkeensä mahdollisia analyysyjä varten.

Mittausten ja analyysien suorittaminen

Mittaukset toistettiin kolme kertaa. Mittareiden tulokset rekisteröitiin mahdollisimman tarkasti. Tukit ajettiin ensin kuorellisena 3D-mittarin läpi kolme kertaa ja sitten kuorinnan läpi ja kuorettomana kolme kertaa 2D-mittariin ja röntgenmittariin. Ensimmäisen mittauskierroksen jälkeen kuorinta otettiin pois käytöstä. Tukit merkittiin identifiointia varten ja tukin mittauksen aikaisen pyörähdyksen tutkimiseksi.

Käytännön kokeiden tarkoituksena on määrittää, kuinka suurta tukin mittausenaikainen liikkuminen on ja mitkä ovat tämän liikkumisen vaikutukset. Videokameralla kuvatuista tukkien päädyistä saadaan tietoa siitä, miten tukit käyttäytyvät mittaukseen mennessä. Lajitteluvalvomon monitoreista näkyvää raakakuvaa 3D-skannerin laserdetektoreista voitiin käyttää apuna tukin mahdollisen liikkumisen heilahtelun arviointiin. Seuraavissa kuvissa 31, 32 ja 33 nähdään tukkien merkitseminen ja tukin syöttö vastaanottokuljettimelle.

- Tukit oli merkitty metsässä koodilla, josta ilmeni rungon numero sekä tukin järjestysnumero rungon tyvestä lähtien.
- Tukit numeroitiin uudestaan tukkikentällä juoksevalla numerolla käyttäen sapluunaa ja spray-maalia
- Merkintä tehtiin tukin kumpaankin päähän. Merkkaussapluuna oli suunnattu siten että tukin orientaatio voitiin havainnoida tukin kulkiessa kuljettimella mittariin.



Kuva 31. Tukin merkitseminen kokeita varten.

- Kuljettimen yläpuolelle oli asennettu videokamera.
- Lisäksi tukit kuvattiin kameralla.
- Tukkien kulkujärjestys varmistettiin manuaalisella seurannalla.
- Tukin orientaatio voidaan havainnoida video- ja stillkuvista.



Kuva 32. Tukkien kulkujärjestyksen taltiointi 3D-vastaanottomittarilla.

- Kuljettimen yläpuolelle ennen mittareita oli asennettu videokamera.
- Tukin orientaatio voidaan havainnoida videovirrasta.
- Tukkien kulkujärjestys varmistettiin mittauksen jälkeen kuljettimelta otetuilla stillkuvilla.



Kuva 33. Tukin syöttö 2D- ja röntgenmittariin.

5.6 Tukkien ominaisuudet ja niiden mittaus

Sahalla, jolla tutkimuksia tehtiin, tukit mitattiin ensin 3D-vastaanottomittarilla ja sen jälkeen 2D- ja röntgenmittareilla, joilta saatavan informaation perusteella tukit lajiteltiin tukkiluokkiin. Mitattavat suureet esitetään taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. 3D-vastaanottomittarilla ja 2D- ja röntgenmittarilla mitattavat suuret.

3D-vastaanottomittari Mitattavat suuret		Lajittelumittarit (2D ja röntgen) Mitattavat suuret	
1	Tukkinumero	1	No
2	PituusMm	2	Varastolaatu
3	MitattuTilavuus	3	HalkaisijaLka
4	KartioLatva	4	PituusLka
5	KartioTyvi	5	2D halkaisija
6	KartioKoko	6	2D pituus
7	TyviEdella	7	2D tilavuus
8	SoikeusPros	8	2D kartiokkuus
9	LenkousPerMetri	9	2D lokero
10	LenkousMax	10	Tukin sijainti (1 = tyvi, 2 = keski, 3 = latva)
11	LenkousLiuku	11	Pituus mm
12	LenkoudenSuunta	12	Laatuindeksi (0.00–1.00)
13	LatvaHalkaisija	13	Kuoreton minimihalkaisija
14	TyviHalkaisija	14	Maksimi kuoreton halkaisija
15	TyviMaxHalkaisija	15	Tilavuus, kuoreton 1/10l
16	HalkTyvestaTaulu[0]	16	Oksaryhmien lukumäärä
17	HalkTyvestaTaulu[1]	17	Oksaryhmäväli keskimäärin
18	HalkTyvestaTaulu[2]	18	Oksaryhmäväli minimi
19	HalkTyvestaTaulu[3]	19	Oksaryhmäväli maksimi
20	HalkTyvestaTaulu[4]	20	Oksaryhmäväli hajonta
21	HalkTyvestaTaulu[5]	21	Oksaisuusindeksi (0.0–100)
22	knotPerM	22	Sydänpuu, minimihalkaisija
23	nylinder_grade	23	Sydänpuu, minimihalkaisijan paikka
24	parrun_lavistaja_mm	24	Maksimi kuorellinen halkaisija
25	tukki_numero	25	Tilavuus, kuorellinen
26	LatvaMinHalkaisija	26	Kartiokkuus
27	knot_count	27	Kartiokkuus, tyvi
28	knot_min_distance	28	TYHJÄ Parametri
29	knot_avr_distance	29	Vierasesineiden määrä
30	DiaMin0	30	Tyhjä/Laho
31	DiaMin1	31	Tiheys
32	DiaMin2	32	TiheysHajonta
33	DiaSuoraSov	33	OksaRyhMinLaatu
34	DiaSuuntaProj	34	OksaRyhKaLaatu
		35	OksaRyhLaHajinta
		36	Oksaindeksi / oksaryhmien lukumäärä
		37	Sydänpuu, maksimihalkaisija
		38	Lustopaksuus keskimäärin
		39	Oksaton pituus
		40	Liukuva oksaindeksi keskiarvo
		41	Liukuva oksaindeksi maksimi
		42	Sydänpuutiheys

5.7 Teollisuudessa suoritettujen tukkien mittausten tuloksia

Kuvassa 34 esitetään tuloksia yhden mäntytukin mittauksista, jossa tukki no 43 mitattiin kolmeen kertaan 3D-vastaanottomittarilla. Mittarilla saadaan dataa tukkien geometrisistä ominaisuuksista.

Mäntytukin no 43 mittausarvot 3D-vastaanottomittarilla

Parametrit	Ajokerta			Parametrit (jatkoa)	Ajokerta		
	1	2	3		1	2	3
PituusMm	5483	5470	5477	knotPerM	31	36	47
MitattuTilavuus	2024	1989	1987	nylinder_grade	1	1	1
KartioLatva	121	126	113	parrun_lavistaja_mm	0	0	0
KartioTyvi	47	55	76	tukki_numero	15	38	86
KartioKoko	87	90	89	latvaMinHalkaisija	190	187	189
TyviEdella	1	1	1	knot_count	18	21	27
SoikeusPros	96	96	97	knot_min_distance	50	50	50
LenkousPerMetri	12	7	19	knot_avr_distance	304	259	202
LenkousMax	0	0	0	DiaMin0	190	188	188
LenkousLiuku	84	151	93	DiaMin1	191	188	189
LenkoudenSuunta	1291	706	824	DiaMin2	192	188	189
LatvaHalkaisija	190	188	188	DiaSuoraSov	192	190	190
TyviHalkaisija	243	241	241	DiaSuuntaProj	192	191	192
TyviMaxHalkaisija	252	252	252				
HalkTyvestaTaulu[0]	233	234	232				
HalkTyvestaTaulu[1]	228	227	226				
HalkTyvestaTaulu[2]	224	220	218				
HalkTyvestaTaulu[3]	217	213	213				
HalkTyvestaTaulu[4]	207	205	206				
HalkTyvestaTaulu[5]	197	198	195				

Kuva 34. Tukin numero 43 mittaus tulokset 3D-vastaanottomittarilla. Esimerkki.

Kuvan 34 taulukosta nähdään, että ajokertojen välillä on enemmän tai vähemmän vaihteluita. Tukin pituutta mitattaessa suurin arvo on 5 483 mm ja pienin 5 470. Suurimman ja pienimmän arvon erotus on 13 mm.

Kuvassa 35 esitetään tulokset, kun edellä mainittu tukki no 43 on mitattu 2D-mittarilla ja röntgenmittarilla.

Mäntytukin no 43 mittausarvot 2D- ja röntgenmittarilla

Parametrit	Ajokerta			Parametrit (jatkoa)	Ajokerta		
	1	2	3		1	2	3
Painettu laatu	A	A	A	Sydänpuu, minimihalkaisijan paikka (14)	212	296	209
STJ-varastolaatu	B	C	B	Maksimi kuorellinen halkaisija (15)	236	235	233
STJ -Halkaisija[ka]	175	160	175	Tilavuus, kuorellinen (16)	1829	1800	1798
Opmes202 halkaisija	176	174	182	Kartiokkuus (17)	113	105	98
Opmes202 pituus	548	549	549	Kartiokkuus, tyvi (18)	94	118	89
Opmes 202 tilavuus	1870	1870	1880	TYHJÄ Parametri (19)	1	1	1
Opmes202 kartiokkuus	85	88	86	Tiheys (22)	808	801	801
Opmes202 lokero	3	22	3	TiheysHajonta (23)	40	41	38
Tukin sijainti (1=tyvi, 2, 3=latva) (1)	2	2	2	OksaRyhMinLaatu (24)	81	78	79
Pituus Mm (2)	5516	5506	5538	OksaRyhKaLaatu (25)	82	82	82
Laatuindeksi (0.00 – 1.00) (3)	100	100	100	OksaRyhLaHajinta (26)	1	2	2
Kuoreton minimihalkaisija (4)	180	182	182	Oksaindeksi / oksaryhmien lukum (27)	672	657	629
Maksimi kuoreton halkaisija (5)	234	231	230	Sydänpuu, maksimihalkaisija (28)	171	172	170
Tilavuus, kuoreton 1/10l (6)	1861	1831	1828	Lustopakkuus keskimäärin (29)	15	15	16
Oksaryhmien lukumäärä (7)	14	14	14	Oksaton pituus (30)	523	574	585
Oksaryhmävälil keskimäärin (8)	238	241	247	Liukuva oksaindeksi keskiarvo (31)	10	9	9
Oksaryhmävälil minimi (9)	102	117	112	Liukuva oksaindeksi maksimi (32)	17	15	14
Oksaryhmävälil maksimi (10)	307	319	302	Sydänpuutiheys (33)	574	555	572
Oksaryhmävälil hajonta (11)	70	63	58	Varalla 34			
Oksaisuusindeksi (0.0 – 100) (12)	94	92	88	Varalla 35			
Sydänpuu, minimihalkaisija (13)	115	108	114	Varalla 36			

Kuva 35. Tukkien lajittelu suoritetaan 2D- ja röntgenmittarilta saadun datan perusteella.

Kuvista 34 ja 35 nähdään, että saman ominaisuuden mittauksissa on aina enemmän tai vähemmän vaihteluita. Tuloksista voidaan päätellä, että mittareiden kalibrointi on kiinnitettävä huomiota ja kalibrointi on tehtävä riittävän usein ja systemaattisesti.

5.8 Tukkien mittauksen tarkkuus

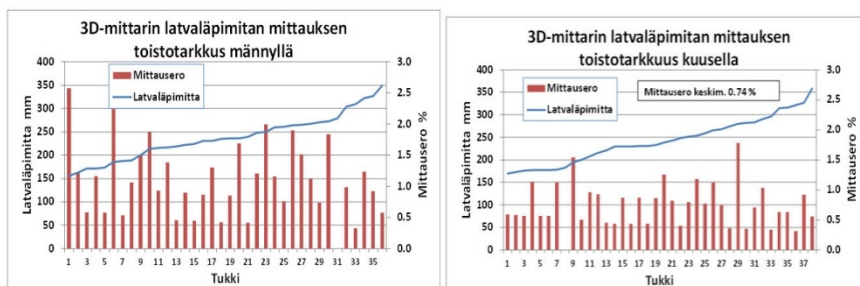
Tukkien mittauksen tarkkuutta ja toistettavuutta tutkittiin kuljettamalla sama tukki kolmeen kertaan 3D-vastaanottomittarin läpi ja rekisteröimällä tulokset. Toistotarkkuuden mittarina käytetään vaihteluväliä ja mittauseroa, joka on suurimman ja pienimmän mittauseron ero jaettuna kolmen mittauksen keskiarvolla prosentteina ilmaistuna.

$$\text{Vaihteluväli} = \text{Suurin arvo} - \text{Pienin arvo}$$

$$\text{Mittausero [\%]} = 100 * \frac{(\text{Suurin arvo} - \text{Pienin arvo})}{\text{Keskiarvo}}$$

5.8.1 3D-vastaanottomittarin mittaustarkkuus ja toistettavuus

Kuvissa 36 ja 37 esitetään 3D-vastaanottomittarin latvaläpimitan mittauksen toistotarkkuus männyllä ja kuusella. Punainen pylväs kuvaa yksittäisen tukin mittausero-eroarvoa. Tukit on lajiteltu latvaläpimitan mukaan suuruusjärjestykseen. Männyllä latvaläpimita vaihteli 155 mm:n ja 345 mm:n välillä. Kuusella vastaavat arvot ovat 150 mm ja 360 mm.

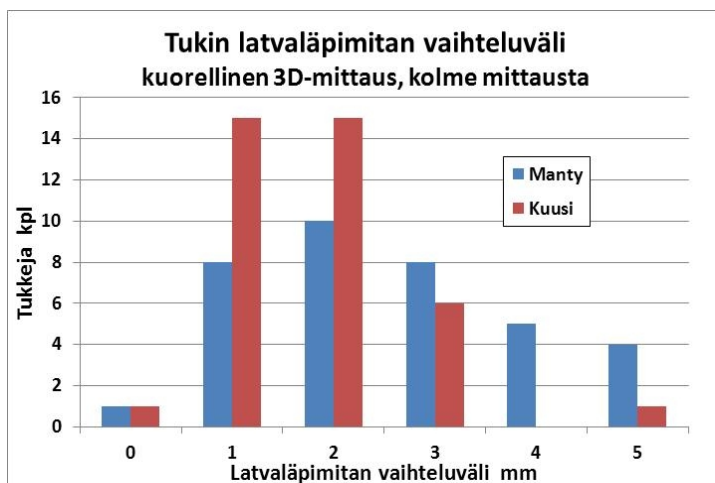


Kuvat 36 vasemmalla ja 37 oikealla. 3D-vastaanottomittarin latvaläpimitan mittauksen toistotarkkuus männyllä ja kuusella. Punainen pylväs kuvaa yksittäisen tukin mittausero-eroarvoa. Tukit on lajiteltu latvaläpimitan mukaan suuruusjärjestykseen.

Kuvista 36 ja 37 nähdään, että latvaläpimitan mittauksen vaihtelut ovat varsin suuria. Pienimmillään mittausero on 0,4 % sekä männyllä että kuusella. Männyllä kohdalla suurin arvo 2,4 % ja kuusen kohdalla 1,8 %. Mittauseron vaihtelut ovat

varsin suuria. Männyn kohdalla latvaläpimitan suureneminen näyttää vaikuttavan jossain määrin mittauseron arvoihin.

Kuvassa 38 esitetään tukin latvaläpimitan vaihteluväli sekä männylle että kuuselle. Kummallakin puulajilla yksi tukki on ollut sellainen, että kaikki kolme mittauskertaa ovat tuottaneet täsmälleen saman mittausarvon. Suurimmat vaihteluvälin arvot ovat jopa 5 mm. Vaihteluvälin jakauma on toispuolinen Gaussin käyrä, jonka vasen puoli on jyrkkä ja oikea puoli varsin loiva. Keskimääräinen latvaläpimitan mittausarvon ero on noin 1,5 mm.



Kuva 38. Saman tukin latvaläpimitan kolmessa mittauksessa saatu vaihteluvälin jakauma.

Taulukossa 2 esitetään 3D-vastaanottomittarin toistotarkkuuden tulokset männylle ja kuuselle kaikille tukkien mittauksessa saatavalle 27 tukkia kuvaavalle paramet-rille. Mittaustulokset esitetään mittaustarkkuuden mukaisessa paremmuusjärjes-tyksessä. Taulukossa esitetään lisäksi männyn ja kuusen mittausarvojen erotus.

Taulukko 2. 3D-vastaanottomittarin toistotarkkuus eri mittaussuureille.

Vastaanottomittarin (3D) mittaustarkkuus			
Mitattava suure	Mittausero %		Erotus
	Mänty	Kuusi	%-yks
Pituus mm	0.2	0.2	0.0
HalkTyvestaTaulu[4]	0.8	0.7	0.1
HalkTyvestaTaulu[1]	0.9	0.6	0.3
HalkTyvestaTaulu[2]	0.9	0.7	0.2
HalkTyvestaTaulu[3]	0.9	0.8	0.1
HalkTyvestaTaulu[5]	0.9	0.6	0.3
DiaMin1	0.9	0.7	0.2
DiaMin2	0.9	0.7	0.2
HalkTyvestaTaulu[0]	1.0	0.7	0.3
LatvaHalkaisija	1.1	0.7	0.4
DiaMin0	1.1	0.7	0.4
TyviHalkaisija	1.2	1.0	0.2
DiaSuoraSov	1.2	0.7	0.5
MitattuTilavuus	1.4	1.1	0.3
LatvaMinHalkaisija	1.4	0.9	0.5
SoikeusPros	2.3	2.2	0.1
TyviMaxHalkaisija	3.3	2.0	1.3
KartioKoko	8.6	6.2	2.4
KartioLatva	18.6	19.8	-1.2
knot_min_distance	18.7	36.8	-18.1
KartioTyvi	20.0	17.3	2.7
knot_count	22.0	28.4	-6.4
knot_avr_distance	22.6	29.0	-6.4
knotPerM	24.0	30.8	-6.8
LenkousLiuku	NA	NA	NA
LenkousPerMetri	NA	NA	NA
LenkoudenSuunta	NA	NA	NA

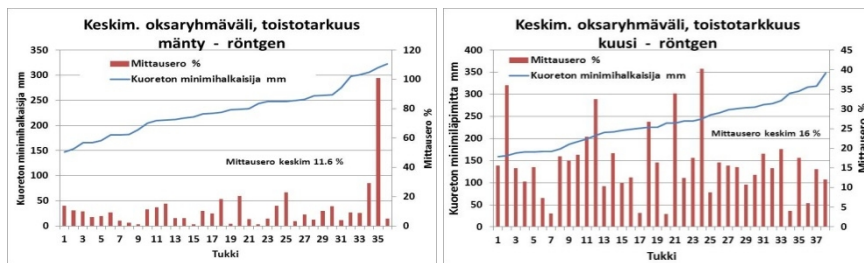
Mittaustarkkuudeltaan kaikkein tarkimmin mitattavaksi suureksi osoittautuu tukin pituus. Sekä männyllä että kuusella pituuden mittausero on 0,2 %. Tätä arvoa on pidettävä erittäin hyvänä. Toiseksi tarkimmin mitattavaksi suureksi tyvihalkaisija, jonka arvot männyn kohdalla ovat 0,8 ja 0,9 %. Kuusen kohdalla arvot vaihtelevat 0,6 %:n 0,8 %:n välillä. Myös latvahalkaisija voidaan mitata varsin luotettavasti. Myös tukin tilavuuden mittauksissa päästään hyviin arvoihin. Männyllä mittausero 1,4 % ja kuusella 1,1 %. Erittäin ongelmalliseksi mitattaviksi tukkeja kuvaaviksi

parametreiksi osoittautuvat kartiokkuus, lenkous ja lenkouden suunta, joissa erot voivat olla suurimmillaan useita kymmeniä prosentteja. Myös oksiin liittyvät suu- reiden mittauksissa hyvä toistettavuus on vaikeasti toteutettavissa. Kuusella oksi- en mittauksen hallinta on vaativampaa kuin männyn kohdalla.

5.8.2 Sahan lajittelumittareiden (2D- ja röntgen) mittaustarkkuus

Röntgenmittauksen tarkkuutta tutkittiin mittaamalla tukit kolmeen kertaan. Vertai- lusuurena käytettiin toistotarkkuutta. Sahan lajittelumittareiden (2D-mittari ja rönt- genmittari) raportissa tutkittavat tukin ominaisuutta kuvaavat suuret esitetään yhdellä tunnusluvulla. Tulokset esitetään kuvissa 39–42 puulajeittain tukit latvalä- pimitan mukaan lajiteltuna. Kuvissa vaaka-akselina on tukin järjestysnumero.

Tukkiraaka-aineen keskimääräisellä oksaryhmävälillä on suuri merkitys kompo- nenttituotannon kannattavuudelle. Kun oksaryhmien välin ollessa riittävän suuri, männyn oksaisesta välitukista saadaan oksakohdat poistamalla oksattomia sahei- ta, joista sormijatkamalla liittämällä saadaan pitkiä oksattomia tankoja. Yksi tär- keimmistä tukkien röntgenmittauksesta saatavista eduista on mahdollisuus lajitella komponenttituotantoon soveltuvat tukit erilleen. Kuvassa 39 esitetään männyn ja kuusen röntgenmittauksen tuottaman keskimääräisen oksaryhmävälin toistotark- kuus mitatulla tukkiaineistolla. Mittausero männyllä on keskimäärin 11,6 prosent- tia. Kolmea tukkia lukuun ottamatta mittausero on alle kaksikymmentä prosenttia. On oletettavaa, että suurilla oksattomilla tyvitukeilla oksaryhmien havaitseminen tuottaa vaikeuksia. Suurimmat mittauserot ovat tukeilla, joiden latvaläpimitta on yli 300 mm. Kuusella oksaryhmien havaitseminen on vaikeampaa kuin männyllä. Mittausero tukkiaineistolla oli keskimäärin 16 prosenttia, mikä on lähes 50 prosent- tia suurempi kuin männyllä.



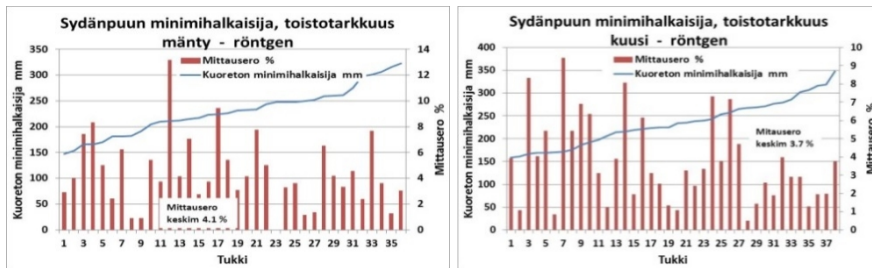
Kuva 39. Keskimääräinen oksaryhmävälin mittauksen toistettavuus männyllä ja kuusella.

Sydänpuuta sisältävää sahatavaraa ja komponentteja käytetään säänkestävyyttä vaativiin tuotteisiin, esim. ikkunoihin. Koska sydänpuun vesipitoisuus on huomatta- vasti pintapuuta pienempi, röntgenmittauksella voidaan helposti määrittää tukin sydänpuun määrä. Kuvissa 40 ja 41 on esitetty röntgenmittauksella saatu tukin sydänpuun minimihalkaisijan toistotarkkuus. Männyllä mittausero on keskimäärin

5. DigiPOS-konseptien kehittäminen

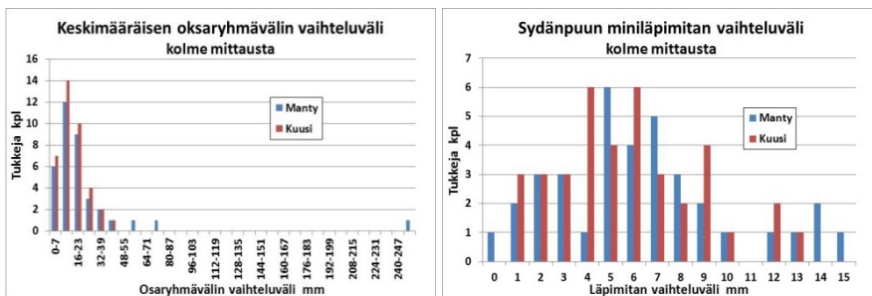
4,1 prosenttia, mikä on varsin hyvä arvo. Kuusella toistotarkkuus on 3,7 prosenttia. Röntgenmittaus soveltuu erittäin hyvin suuren sydänpuuosuuden sisältävien tukkien lajittelemiseksi omaksi tukkiluokaksi.

Kuvasta 40 nähdään sydänpuun minimihalkaisijan toistotarkkuus vaihtelee varsin paljon, männyllä 1 ja 13 prosentin välillä. Vastaavat arvot kuusella ovat 0,5 ja 9,5 prosentin välillä. Kuusitukki on siten mäntytukkia helpommin mitattavissa. Näyttää siltä, että tukin halkaisijan suureneminen parantaisi hiukan mittaustarkkuutta.



Kuvat 40 ja 41. Sydänpuun minimihalkaisijan mittausten toistettavuus männyllä ja kuusella.

Keskimääräinen oksaryhmävälän (kuva 42) jakauma on vasemmalle jyrkkä ja oikealle loivasti laskeutuva, joka männyn kohdalla ulottuu yli 250 mm:n latvaläpimitaan. Mäntytukki on kuusitukkia haastavampi mitattava. Keskimääräinen vaihteluväli on noin 15 mm. Tukin sydänpuun läpimitan vaihteluvälin kuvaaja (kuva 43) on lähellä normaalijakaumaa. Se ulottuu kuusella 13 mm ja männyllä 15 mm läpimitaan. Yhdellä mäntytukilla kaikki mittauserot olivat samoja.



Kuvat 42 ja 43. Oksaryhmävälän vaihteluvälin jakauma ja sydänpuun minimiläpimitan vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.

Taulukossa 3 esitetään tuloksia 2D- ja röntgenmittauksen toistotarkkuudesta.

Taulukko 3. Lajittelumittareiden (2D- ja röntgen) mittausten toistotarkkuus tukin eri mittaussuureille.

Lajittelumittarin (2D) ja röntgenmittarin toistotarkkuus			
Mitattava suure	Mittausero %		Erotus
	Mänty	Kuusi	%-yks
2D pituus	0.2	0.2	0.0
Tiheys (22)	1.0	2.2	-1.2
Pituus mm (2)	1.6	1.8	-0.2
Sydänpuutiheys (33)	2.0	2.7	-0.7
2D halkaisija	2.2	2.7	-0.5
2D tilavuus	2.3	3.5	-1.2
Maksimi kuoreton halkaisija (5)	2.8	3.1	-0.3
Maksimi kuorellinen halkaisija	2.8	3.4	-0.6
Tilavuus, kuoreton 1/10l (6)	3.5	4.7	-1.2
Tilavuus, kuorellinen (16)	3.5	4.9	-1.4
Kuoreton minimihalkaisija (4)	3.6	2.9	0.7
Sydänpuu, minimihalkaisija (13)	4.4	3.7	0.7
OksaRyhKaLaatu (25)	4.6	4.9	-0.3
Sydänpuu, maksimihalkaisija (2)	4.9	4.3	0.6
Tukin sijainti (1 = tyvi, 2 = kesk)	6.0	9.5	-3.5
Lustopaksuus keskimäärin (29)	7.0	8.6	-1.6
Oksaryhmien lukumäärä (7)	7.3	10.2	-2.9
Oksaisuusindeksi (0.0–100)	10.7	7.1	3.6
Oksaton pituus (30)	10.7	41.3	-30.6
Oksaryhmäväli keskimäärin (8)	11.6	16.0	-4.4
Oksaindeksi / oksaryhmien luku	13.3	11.6	1.7
Liukuva oksaindeksi keskiarvo	14.0	3.9	10.1
TiheysHajonta (23)	15.0	13.5	1.5
Oksaryhmäväli maksimi (10)	15.5	31.0	-15.5
Liukuva oksaindeksi maksimi (3)	18.4	11.4	7.0
2D kartiokkuus	19.2	16.2	3.0
Oksaryhmäväli hajonta (11)	24.0	24.8	-0.8
OksaRyhMinLaatu (24)	27.4	26.6	0.8
Laatuindeksi (0.00–1.00) (3)	28.2	21.6	6.6
Kartiokkuus (17)	36.0	28.3	7.7
2D lokero	44.7	11.8	32.9
OksaRyhLaHajinta (26)	55.3	25.8	29.5
Kartiokkuus, tyvi (18)	55.4	68.5	-13.1
Oksaryhmäväli minimi (9)	85.5	157.9	-72.4
Sydänpuu, minimihalkaisijan pa	107.0	75.1	31.9

5. DigiPOS-konseptien kehittäminen

Myös lajittelumittarin kohdalla mittaustarkkuudeltaan kaikkein tarkimmin mitattavaksi suureeksi osoittautuu tukin pituus. Sekä männyllä että kuusella mittausero on 0,2 %. Myös latvahalkaisija voidaan mitata varsin luotettavasti samoin kuin tukin tilavuus.

Erittäin ongelmallisiksi mitattaviksi tukkeja kuvaavaksi suureiksi osoittautuu kartiokkuus ja sydänpuun minimihalkaisija. Myös oksiin liittyvät suureet ovat vaikeasti mitattavissa. Kuusella oksien hallinta on vaativampaa kuin männyn kohdalla.

6. DigiPOS-järjestelmän komponentit

Kuvassa 44 esitetyssä tilanteessa tukkien tunnistaminen voisi teoriassa tapahtua yhden tai useamman tunnisteiden – tukkimittarilla mitattu arvo (t) – avulla. Tunnisteena voi olla kaikkiaan kuusi erilaista mitta-arvoa: latvaläpimita, pituus, kartiokkuus, lenkous, soikeus ja tilavuus. Kuvan alaosaan olevassa ruudukossa esitetään sinisellä ruudulla, mitä erilaisuutta (tunnistetta) käytetään. Yhden tunnisteiden tapauksessa – tilanne kuvan 1 äärimmäisenä vasemmalla oleva osa – kaikkien tukkien mitta-arvojen pitää poiketa toisistaan, jotta tunnistus voisi tapahtua sataprosenttisesti. Kuvasta nähdään, että kaikilla tukeilla on latvaläpimitaltaan vähintään yksi pari, jolla on sama tukin latvaläpimitan arvo. Näin ollen latvaläpimittaa ei voida käyttää yksin kuvan esittämän tukkierän tukkien tunnistuksessa. Kaikkien muiden tunnistimien kohdalla joitakin tukkeja voidaan erotella toisistaan yhden mitatun ominaisuuden perusteella. Parhain tunniste on tukin tilavuus. Sen kohdalla tunnistus voisi tapahtua 34 tukin (17 % tukeista) kohdalla.

Mitattavien suureiden, tunnisteiden, lukumäärää lisättäessä yhdestä kahteen, tunnistus onnistuu paremmin. Parhaimmillaan tunnistusprosentti on noin 90 ja huonoimmillaan noin 20 prosenttia. Parhaiten tunnistus onnistuu kombinaatioilla

- latvaläpimita – soikeus
- pituus – tilavuus
- kartiokkuus – tilavuus
- soikeus – tilavuus.

Huonoin yhdistelmä on kartiokkuus – lenkous, jolla vain 20 prosenttia tukeista on tunnistettavissa.

Kun tunnisteiden lukumäärä lisätään kolmeen, päästään huomattavan hyvään tunnistustarkkuuteen. Huonoimmillaankin tunnistustarkkuus on noin 80 prosenttia ja parhaimmillaan kaikki tukit on voitu tunnistaa. Sadan prosentin tunnistukseen päästään kombinaatioilla

- latvaläpimita – kartiokkuus – tilavuus
- pituus – soikeus – tilavuus
- kartiokkuus – soikeus – tilavuus.

Huonoin tulos saatiin yhdistelmällä

- läpimita – kartiokkuus – lenkous.

Jos mitattavia suureita on neljä, on erittäin harvinaista että kahdessa tai useammassa tukissa olisivat kaikki neljä mitattavaa arvoa täysin samat. Käytännössä kaikki tukit voidaan identifioida neljän tunnisteiden tapauksessa. Viiden ja kuuden tunnisteiden tapauksessa kaikki 200 mäntytukkia on voitu tunnistaa.

6. DigiPOS-järjestelmän komponentit

Huonoin yhdistelmä on läpimitta – lenkous, jolla vain vajaa 20 prosenttia tukeista on voitu tunnistaa.

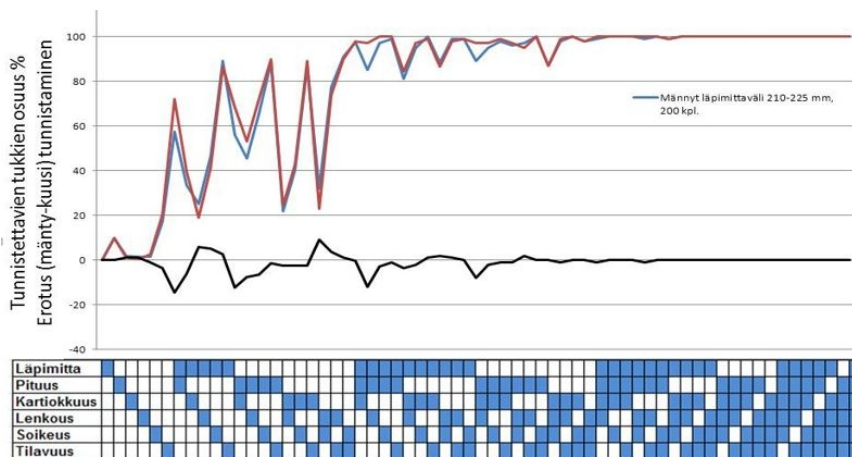
Kun tunnistaiden lukumäärä lisätään kolmeen, päästään huomattavan hyvään tunnistustarkkuuteen. Huonoimmillaankin tunnistustarkkuus on noin 85 prosenttia ja parhaimmillaan kaikki tukit on voitu tunnistaa. 100 prosentin tunnistukseen päästään kombinaatioilla

- latvaläpimitta – pituus – soikeus
- latvaläpimitta – pituus – tilavuus
- pituus – soikeus – tilavuus
- kartiokkuus – soikeus – tilavuus.

Huonoin tulos, tunnistustarkkuus 85 %, saatiin yhdistelmällä

- läpimitta – kartiokkuus – lenkous.

Neljän, viiden ja kuuden tunnisteen tapauksissa kaikki tukit on voitu tunnistaa ja erotella toisistaan.



Kuva 46. Latvaläpimitaltaan 210–225 mm mänty- ja kuusitukkien tunnistusosuus tukkimittarin tuottaman latvaläpimitta-, pituus-, kartiokkuus-, lenkous-, soikeus- ja tilavuusdatan perusteella. Kuvassa esitetään myös tunnistusprosenttien erotus mänty miinus kuusi. Vertailtavien tukkien lukumäärä on 200 kpl.

Kuvassa 46 verrataan mänty- ja kuusitukkien tunnistuksen eroa. Tunnistuskäyrät kulkevat varsin lähellä toisiaan. Kuvasta nähdään, että tunnistusprosentti pienenee sitä jyrkemmin mitä pienemmästä tunnistemäärästä on kysymys. Tunnistusprosentti on lähes 100 %, kun mitattavien suureiden määrä on 5 tai 6. Mitattavien suureiden määrän ollessa 3 tai 5 tunnistusprosentti on myös korkea,

6. DigiPOS-järjestelmän komponentit

- pituus – soikeus – tilavuus
- läpimitta – pituus – soikeus
- läpimitta – soikeus – tilavuus.

Kun tunnistamisessa käytetään neljää ominaisuutta, päästään noin 90 prosentin tunnistustarkkuuteen. Huonoimmillaan tunnistettavuus on noin 65 prosenttia. Paras tulos, 97 prosenttia saavutetaan yhdistelmällä:

- läpimitta – pituus – soikeus – tilavuus.

Kun tukkien mitattavissa olevien ominaisuuksien määrää lisätään viiteen, tunnistaminen onnistuu noin 98–99 prosentin varmuudella. Kun käytetään kuutta tunnistetta, onnistumistarkkuus on 100 prosenttia.

Mitattavien suureiden, tunnisteiden, lukumäärää lisätessä tunnistus onnistuu paremmin ja paremmin. Parhaimmillaan tunnistusprosentti on noin 90 ja huonoimmillaan noin 20 prosenttia kun käytetään kahta tunnistetta. Parhaiten tunnistus onnistuu kombinaatioilla

- latvaläpimitta – soikeus
- pituus – tilavuus
- kartiokkuus – tilavuus
- soikeus – tilavuus.

Huonoin yhdistelmä on kartiokkuus – lenkous, jolla vain 20 prosenttia tukeista on tunnistettavissa.

Kun tunnisteiden lukumäärä lisätään kolmeen, päästään huomattavan hyvään potentiaaliseen tunnistustarkkuuteen. Huonoimmillaankin tunnistustarkkuus on noin 80 prosenttia ja parhaimmillaan kaikki tukit on voitu tunnistaa. 100 prosentin tunnistukseen päästään kombinaatioilla

- latvaläpimitta – kartiokkuus – tilavuus
- pituus – soikeus – tilavuus
- kartiokkuus – soikeus – tilavuus.

Huonoin tulos saatiin yhdistelmällä

- läpimitta – kartiokkuus – lenkous.

Jos mitattavia suureita on neljä, on erittäin harvinaista että kahdessa tai useammassa tukissa olisivat kaikki neljä mitattavaa arvoa täysin samat. Käytännössä kaikki tukit voidaan identifioida neljän tunnisteiden tapauksessa.

Tunnistusprosentti on lähes 100 %, kun mitattavien suureiden määrä on 5. Kun mitattavien suureiden määrä on 4, tunnistusprosentti on varsin korkea, noin 90 %.

Männyn ja kuusen välistä erotusta kuvaavat käyrät kulkevat varsin hyvin yhdessä. Tietyissä kohdissa kuusi on mäntyä paremmin tunnistettavissa. Toisissa paikoissa tilanne on päinvastoin. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, ettei puulajeilla ole juurikaan eroja tunnistuksen tarkkuudessa.

Tutkimuksen tuloksista voidaan vetää se johtopäätös että, vertailtavien tukkien eräköko vaikuttaa hyvin ratkaisevasti ominaisuuksien hajontaan ja siten myös mittaustuloksiin ja tukkien yksilölliseen tunnistettavuuteen. Mitä pienempi on tukkiryhmä, jonka ominaisuudet vaihtelevat mahdollisimman paljon, sitä varmemmin yksittäinen tukki on tunnistettavissa.

Parhaimmat tunnistukset poikkeavat hiukan männyn ja kuusen välillä. Parhaimmat tunnistustulokset saadaan, kun mukana on erilaiset kombinaatiot latvaläpimitasta, pituudesta, kartiokkuudesta, soikeudesta ja tilavuudesta. Ainoastaan lenkous jää parhaiden tunnistimien ulkopuolelle.

Mitä pienempi on tukkiryhmä, sitä varmemmin tukkien yksilöllinen tunnistaminen onnistuu.

6.2 Tukkien tunnistaminen

Tukkien lajittelulaitoksella suoritettujen mittausten perusteella saadaan määrättyä tukin DNA-luku tukkilajittelussa, joka perustuu tukista mitattuihin arvoihin. Tukkilajittelussa mitattuja DNA-arvoja verrataan sahalinjalla mitattuihin DNA-arvoihin.

DELTA(ID 1) = Tukki (Lajittelu, No, ID 1) – Tukki (Linja, No, ID 1)

DELTA(ID 2) = Tukki (Lajittelu, No, ID 2) – Tukki (Linja, No, ID 2)

DELTA(ID 3) = Tukki (Lajittelu, No, ID 3) – Tukki (Linja, No, ID 3)

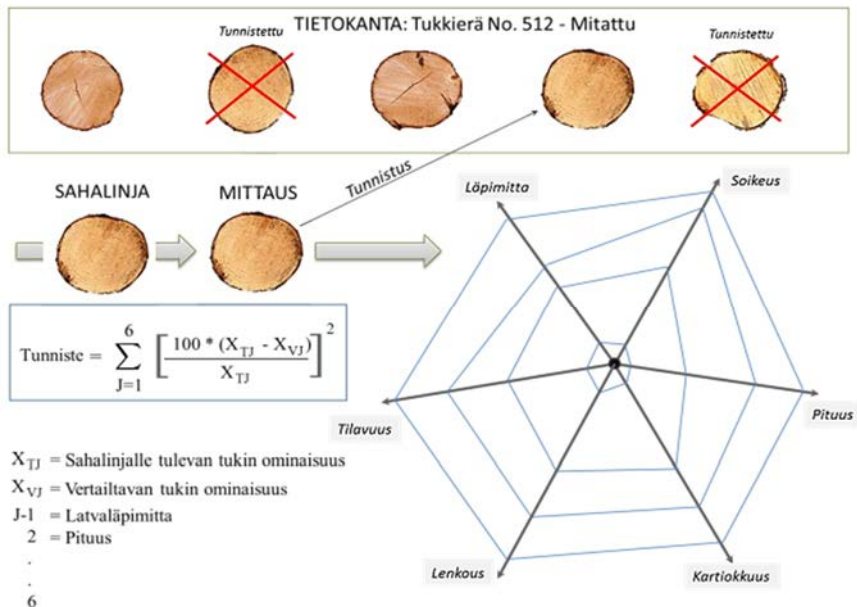
DELTA(ID 4) = Tukki (Lajittelu, No, ID 4) – Tukki (Linja, No, ID 4)

DELTA(ID 5) = Tukki (Lajittelu, No, ID 5) – Tukki (Linja, No, ID 5)

DELTA(ID 6) = Tukki (Lajittelu, No, ID 6) – Tukki (Linja, No, ID 6)

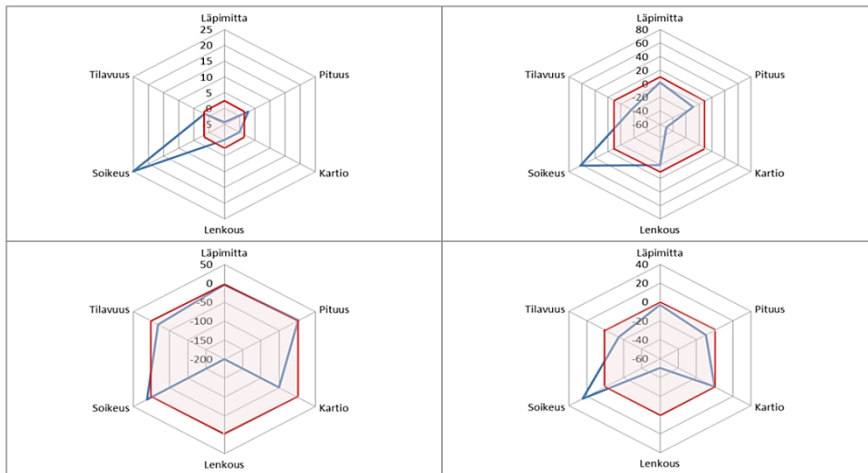
ID 1 = latvaläpimita, 2 = pituus, 3 = kartiokkuus, 4 = lenkous, 5 = soikeus, 6 = tilavuus

Tukin tunnistamisen periaate esitetään kuvissa 50 ja 51. Sahaan tulevan tukkierän DNA-arvot on määriteltävä tukkien lajittelussa. Kun tukki saapuu sahalinjalle, mitataan kysessä olevan tukin DNA-arvot, joita verrataan ryhmän niiden tukkien DNA-arvoihin. Kun löydetään tukkiryhmästä se tukki, jonka DNA-arvot ovat lähinnä, on löydetty oikea tukki.



Kuva 50. Periaatekuva tukkien tunnistamisesta. Tukin eri ominaisuuksille voidaan antaa myös painoarvo. Kaavassa olevaa potenssia voidaan myös muuttaa tarvittaessa.

Kuvassa 51 esitetään vertailutilanne, jossa sahalinjalle tulevan tukin ominaisuuksia verrataan neljän tukin ominaisuuksiin, jotka on mitattu tukkien lajittelulaitoksella. Vertailtavia ominaisuuksia ovat tukin latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus, lenkous, soikeus ja tilavuus. Mikäli kaikki sahalinjalla mitattavan tukin ominaisuudet ovat täysin samat kuin tukkien lajittelussa mitatun tukin ominaisuudet ovat samat tapahtuu täydellinen tunnistus. Useimmissa tapauksissa vertailtavien tukkien ominaisuudet poikkeavat toisistaan enemmän tai vähemmän. Silloin haetaan "lähimmän naapurin" ratkaisu, jossa ominaisuuksien erot poikkeavat mahdollisimman vähän toisistaan.



Kuva 51. Sahalinjalle tulevan tukin ominaisuuksien vertailu tukkierän tukkien ominaisuuksiin. Mitä pienempi tunnisteiden arvo on sitä todennäköisemmin vertailtava tukki on sama kuin tukkien lajittelussa mitattu tukki. Kuvan tapauksessa vastintukki ylhäällä vasemmalla on löytynyt.

Tunnistuksen suoritusta havainnollistetaan kuvissa 52 ja 53, joissa tunnisteiden lukumäärä on neljä ja kuusi

Tunnistusesimerkki kahden mittauskerran välillä

Tukin 22 vertailuarvot

Mittauskierroksen 1 tukin 22 arvojen vertailu kierroksen 2 arvoihin. Vertailuunon laskenta		
Toinen mittauskierros	Vertailu arvo	Pienin arvo valinta
Tukki 1	3932,36	
Tukki 2	1052,73	
Tukki 3	1275,01	
Tukki 4	2200,37	
Tukki 5	9948,50	
Tukki 6	1567,53	
Tukki 7	2477,57	
Tukki 8	1743,26	
Tukki 9	3215,13	
Tukki 10	1,26	X
Tukki 11	2555,40	
Tukki 12	704,50	
Tukki 13	3758,74	
Tukki 14	479,77	
Tukki 15	2443,67	
Tukki 16	831,56	
Tukki 17	1358,87	
Tukki 18	1055,68	
Tukki 19	781,57	
Tukki 20	769,66	
Tukki 21	1161,29	
Tukki 22	7087,83	
Tukki 23	4386,29	
Tukki 24	4584,79	
Tukki 25	1973,43	
Tukki 26	561,95	
Tukki 27	1625,86	
Tukki 28	380,03	
Tukki 29	2260,05	
Tukki 30	3768,43	
Tukki 31	176,95	
Tukki 32	426,58	
Tukki 33	5899,16	
Tukki 34	183,20	
Tukki 35	7416,31	
Tukki 36	1338,70	

Vertailun tulos

Kierros 1	Kierros 2
1	35
2	18
3	15
4	7
5	29
6	11
7	5
8	9
9	4
10	26
11	22
12	82
13	33
14	12
15	9
16	9
17	2
18	84
19	14
20	18
21	1
22	10
23	8
24	16
25	20
26	24
27	28
28	23
29	21
30	36
31	81
32	30
33	24
34	37
35	25
36	18

Tunnistusprosentti 91,7

Tunnistamisesimerkissä mukana neljä ominaisuutta:

- Pitäus
- Tilavuus
- Latvaläpimitta
- Tyviläpimitta

Tunnistamisprosentti 91,7

Kartiokkuuden ja lenkouden huomioon ottaminen huonontaa tunnistettavuutta

Tunnistekaavaan mukaan painotuskertoimet

Kierroksen 1 tukkia no. 22 vastaa parhaiten kierroksen 2 tukki no. 10

Kuva 52. Tunnistusesimerkki.

Esimerkkejä: tukin tunnistus eri kierrosten välillä

3D-mittari: kuuteen ominaisuuteen perustuva tunnistus (halkaisijat tyvestä 1-6)

3D-mittarin tunnistustarkkuuksia eri kierrosten välillä				
KIERROS	KIERROS	TUNNISTAMINEN	TUNNISTUSOSUUS	VÄÄRÄT TUNNISTUKSET
1	2	36/36	100 %	
1	3	34/36	94.44 %	21=15 ja 33=17
2	3	35/36	97.22 %	21=15

Röntgenmittari: kuuteen ominaisuuteen perustuva tunnistus

- Pituus, minimihalkaisija, maksimi halkaisija, kuoreton tilavuus, sydänosuuden minimiläpimitta ja tukin tiheys.

Röntgenmittarin tunnistustarkkuuksia eri kierrosten välillä				
KIERROS	KIERROS	TUNNISTAMINEN	TUNNISTUSOSUUS	VÄÄRÄT TUNNISTUKSET
1	2	35/36	97.22 %	22=13
1	3	35/36	97.22 %	19=13
2	3	35/36	97.22 %	13=35

* lievää kuorintaa tapahtui kierrosten välillä

Kuva 53. Tunnistusesimerkki.

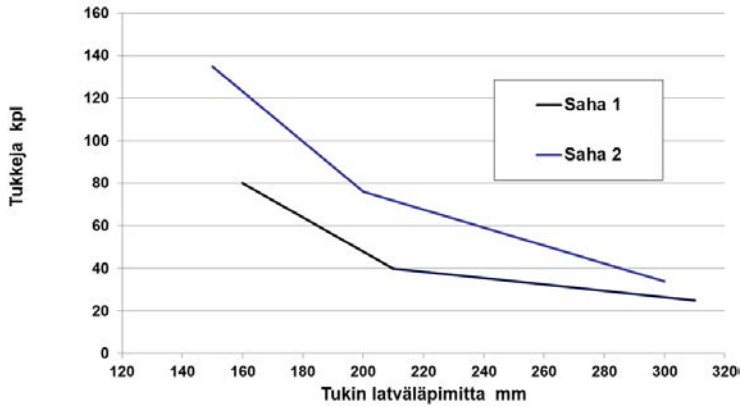
6.3 Tukkien ryhmittelyn optimointi

Tukkien lajittelussa, joka useimmissa tapauksissa tapahtuu esimerkiksi latvaläpimitan mukaan, pyritään muodostamaan homogeenisiä ryhmiä, tukkiluokkia, jotka sitten sahataan samalla sahausasetteella. Näin tukit voidaan kuljettaa sahakoneeseen hyvinkin pienellä välimatkalla tukin syöttösuunnassa. Jos sahataan lajittelemattomia tukkeja, sahausasetetta voidaan joutua muuttamaan tukkikohtaisesti, mikä saattaa merkitä jopa 30 prosentin menetystä tuotantokyvyyssä.

Tukkien lajittelulaitoksen lokeromäärä näyttelee hyvin merkittävää osaa tukkien lajittelussa. Yhden uuden lokeron lisääminen parantaa sahausksen saantoa sitä enemmän mitä pienemmästä lokeromäärästä on kysymys. Lisälokeron tuottaman sahausksen rahallisen tuloksen paranemisen on katettava lokeron hankinnan kustannukset.

Kuvassa 54 esitetään yhteen tukkiluokkaan mahtuvien tukkien kappalemäärä tukin latvaläpimitan funktiona kahdella suomalaisella sahalla. Latvaläpimitaltaan 150 mm olevia pieniä tukkeja lokeroon mahtuu sahalla 1 135 kappaletta. Vastaava arvo sahalla 2 on 80 kappaletta. Lokeromäärää lisättäessä tukkien määrä pienenee aluksi jyrkemmin kuin suuremmilla tukkiläpimitoilla. Tukkikoon ollessa 300 mm tukkeja mahtuu lokeroon noin 30 kappaletta.

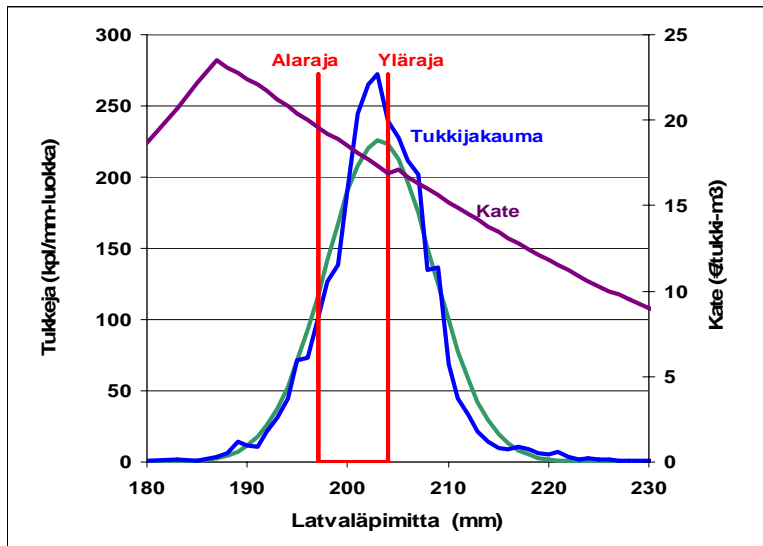
Tukkimäärä lajittelulaitoksen lokerossa tukin läpimitan funktiona



Kuva 54. Tukkien lajittelulaitoksen yhteen lokeroon kerralla lajiteltujen tukkien lukumäärä kahdella sahalla.

Tukkien lajittelusta käytetään seuraavassa nimitystä tukkien ryhmittely siksi, että saapuvasta tukkivirrasta voidaan poimia täsmälleen haluttu ryhmä tukkeja samaan aikaan sahattavaksi. Tukkien ryhmittely sahausta varten voidaan tehdä periaatteessa seuraavilla tavoilla tai niiden yhdistelmillä

- Lajittelemattomien tukkien sahaus ja yksilöllinen sahaus (pelkka- ja läpi-sahaus)
- Lajitellun puun sahaus, jossa sivulautojen paksuutta voidaan muuttaa
- Perinteinen latväläpimittaan perustuva tukkien luokitus
- Asetepohjainen lajittelu
- Tuotepohjainen lajittelu
- Poimintalajittelu.



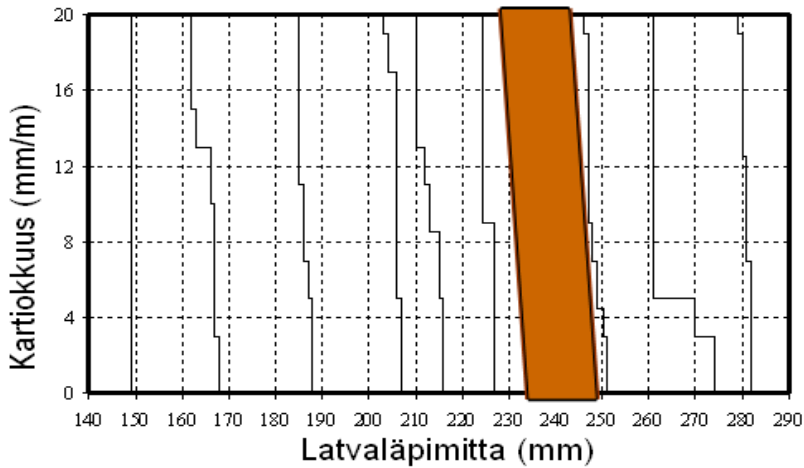
Kuva 55. Tukkien jakautuminen millimetrituokittain tukkiluokassa.

Tukit lajitellaan Suomessa pääsääntöisesti kuoripäällisinä. Kuoren paksuus voi vaihdella huomattavasti. Tästä aiheutuu epätarkkuutta kuorettoman latvaläpimitan määrittämiseen. Mittausta häiritsevät talvella mahdollinen lumi tai jää tukin pinnalla. Irronneet kuorikielekkeet voivat häiritä mittausta. Mittausvirhettä aiheuttaa myös kuljettimien tärinä ja tukin liikahtelu kuljettimella mittauksen aikana.

Mittausvirheiden vuoksi tukkiluokkaan tulee aina optimaalisen sahauskannalta liian pieniä ja liian suuria tukkeja. Sahaustuloksen kannalta liian pienet tukit ovat hyvin haitallisia syntyvien vajaasärmäisten sahatavaroiden vuoksi. Tämän vuoksi läpimittaluokkien nimelliset alarajat pyritään asettamaan luokkien sahausasetteiden minimiläpimitoihin nähden siten, että alimittaisten tukkien määrä pysyy kohtuullisena.

Kuvassa 55 on esitetty tukkiluokkarajojen määräytyminen. Tukkijakauma on todellinen tukkijakauma, joka on syntynyt tukkilajittelijalle asetettujen läpimittarajojen mukaan. Luokkaan on tullut mittausvirheiden takia huomattavasti ali- ja ylimittäisiä tukkeja. Sahausluokan rajat on asetettu siten, että alimittaisia tulee huomattavasti vähemmän kuin ylimittäisiä. Sahauskannan arvosanto on myös esitetty läpimitan funktiona. Lisäksi tukkijakaumaan on sovitettu normaalijakauma.

Puun muototekijät vaikuttavat tukista saatavaan sahaustulokseen latvaläpimitan lisäksi. Kartiokas tukki voidaan sahata pienemmässä tukkiluokassa. Lenkous ja soikeus taas huonontavat sahaustulosta, ja lenko tai soikea tukki tulisi sahata suuremmassa luokassa, jolloin suurentunut läpimitta korjaa näitä muotovikoja.



Kuva 56. Tukkiluokkien rajat, joissa tukin kartiokkuus otetaan huomioon. Tukki kannattaa sahata "ylemmässä" tukkiluokassa, jos kartiokkuus on suuri ja "alemmassa" jos kartiokkuus on pieni. Tukin lenkous vaikuttaa päinvastaiseen suuntaan.

Korjattu lajitteluläpimitta $D_{\text{lajittelu}}$ voidaan määrittää esimerkiksi seuraavalla tavalla:

$$D_{\text{lajittelu}} = D_{\text{latva}} + \Delta D_{\text{kartio}} + \Delta D_{\text{lenkous}} + \Delta D_{\text{soikeus}} \quad (1)$$

$D_{\text{lajittelu}}$	lajitteluläpimitta
D_{latva}	tukin latvaläpimitta
ΔD_{kartio}	kartiokkuuskorjaus
$\Delta D_{\text{lenkous}}$	lenkouskorjaus
$\Delta D_{\text{soikeus}}$	soikeuskorjaus

Korjaustekijät voidaan kuvata esimerkiksi toisen asteen polynomeilla:

$$\Delta D_{\text{kartio}} = A_K * KARTIO^2 + B_K * KARTIO + C_K \quad (2)$$

$$\Delta D_{\text{lenkous}} = A_L * LENKOUS^2 + B_L * LENKOUS + C_L \quad (3)$$

$$\Delta D_{\text{soikeus}} = A_S * SOIKEUS^2 + B_S * SOIKEUS + C_S \quad (4)$$

$KARTIO$	tukin kartiokkuus (mm/m)
$LENKOUS$	tukin lenkous (mm/m)
$SOIKEUS$	tukin soikeus (mm)
A, B, C	toisen asteen funktion kertoimet

Kuvassa 56 on esitetty kartiokkuuden vaikutus tukkiluokkarajojen määräytymiseen. Samaan tukkiluokkaan voi tulla läpimitaltaan pieniä tukkeja, joiden kartiok-

kuus on suuri. Esimerkiksi luokkaan 188–207 voidaan lajitella tukki, jonka latvaläpimitta on 185 mm edellyttäen, että sen kartiokkuus on suurempi kuin 11 mm/m.

6.3.1 Asetteiden mukainen lajittelu

Lajittelu voidaan myös suorittaa asetekohtaisesti, jolloin tukkiluokan sahauskassa suunnitellaan käytettäväksi yhtä tai useampia asetteita. Tukkiluokalle voi olla pääasete ja joitakin vara-asetteita. Ainakin pääasetteen rakenne voidaan huomioida luokittelussa, esimerkiksi pelkan korkeudella on merkitystä. Luokittelussa huomioidaan koko asete lautoineen. Asetekohtainen lajittelu pohjautuu aina tilauskantaa tai myynnin tarpeeseen. Asetekohtaisessa lajittelussa voidaan ottaa myös yksityiskohtaisesti tuotekertymä, joka sitten projisoidaan tukkitarpeeseen. Asetteen mukainen lajittelu edellyttää hyvin laadukasta tukkien mittausta, mittausvirheiden huomioimista ja sahalinjan ominaisuuksien, esimerkiksi tukinsuuntaustarkkuuden, tuntemista. Olennaisena asiana on myös sahalinjan joustavuus, ts. onko sahalinja muuttuva-asetteinen vai ei. Asetepohjainen lajittelu edellyttää aina älykäästä sahaussimulaattoria tukkiluokan määrittelyssä. Tukkimittari tuottaa mittatiedon tukista simulaattorille, joka saa sahatavaraerittelyn ja tuotantotilanteen sahan informaatiojärjestelmästä. Näiden reaaliaikaisten tietojen perusteella simulaattori päättää tukkiluokan. Asetepohjaiseen lajitteluun tulisi aina liittää dynamiikkaa. Tämä tarkoittaa sitä, että luokitusta voidaan muuttaa jatkuvasti, tarpeen vaatiessa, vaikka jokaisen tukin jälkeen. Lajittelutavan implementointi edellyttää tehokkaita menetelmiä tuotannon suunnittelussa ja optimoinnissa myös lyhyellä aikajänteellä.

6.3.2 Tuotteen mukainen lajittelu

Tuotteen mukaisessa lajittelussa haetaan määrätylle tuotteelle tai tuoteryhmälle, pääsääntöisesti sydäntavaralle, sopivin mahdollinen tukkiluokka. Tilaukannasta tai myynnin tarpeesta johtuen samalle tuotteelle voidaan allokoita useita eri tukkiluokkia. Luokkien määrittely alkaa aina sahamallin optimoinnilla, jossa yhdistetään toisiinsa myynnin tarpeet ja ennustetut, käytettävissä olevat tukit. Näin saadaan tuotettua perusratkaisu tukeista ja asetteista, joista saadaan sahattua kysytyt tuotteet mahdollisimman hyvällä kokonaiskatteella. Tuotteen mukainen lajittelu edellyttää hyvin laadukasta tukkien mittausta, mittausvirheiden huomioimista ja sahalinjan ominaisuuksien, esimerkiksi tukinsuuntaustarkkuuden tuntemista. Olennaisena asiana on myös sahalinjan joustavuus, ts. onko sahalinja muuttuva-asetteinen vai ei. Tukkimittari tuottaa mittatiedon tukista simulaattorille, joka saa sahatavaraerittelyn ja tuotantotilanteen sahan informaatiojärjestelmästä. Näiden reaaliaikaisten tietojen perusteella simulaattori päättää tukkiluokan. Asetepohjaiseen lajitteluun tulisi aina liittää dynamiikkaa. Tämä tarkoittaa sitä, että luokitusta voidaan muuttaa jatkuvasti, tarpeen vaatiessa vaikka jokaisen tukin jälkeen. Lajittelutavan implementointi edellyttää tehokkaita menetelmiä tuotannon suunnittelussa ja optimoinnissa myös lyhyellä aikajänteellä. Esimerkinä tuotepohjaisesta lajittelusta on liimapuussa käytettävän sahatavaran lajittelu.

6.3.3 Poimintalajittelu

Poimintalajittelussa poimitaan tukkisumasta ne yksittäiset tukit, jotka sopivat mahdollisimman hyvin määrätyn tuotteen tai asetteen sauhukseen. Nämä tukit muodostavat tukkiryhmän tai tukkiluokan. Tukit voidaan valita optimaalisesti läpimitan, kartiokkuuden, lenkouden ja soikeuden mukaan huomioiden asetteen rakenne, pelkan korkeus yms. tai ne voidaan poimia kaiken sen mittaustiedon perusteella, jota tukeista on mitattu. Tällaista poimittua tukkiluokkaa ei voida kuvata millään yksinkertaisella tavalla. Tukkimittari tuottaa mittatiedon tukista simulaattorille, joka saa sahatavaraerittelyn ja tuotantotilanteen sahan informaatiojärjestelmästä. Näiden reaaliaikaisten tietojen perusteella simulaattori päättää tukkiluokan.

Tukin pituus dm	Tukin latva- läpimitta mm	Lenkous mm/m																											
		0				4				8				12				16											
		Kartiokkuus mm/m																											
		0	4	8	12	16	0	4	8	12	16	0	4	8	12	16	0	4	8	12	16								
49	250		4	12	11	12	17		17	7	17			4	7	4				7									
49	252		11		11	12	11	17	7	17	7	17	11		4	7	4			12	11	15							
49	254		11	15	11	15	17	7	17	2	17	11		4	6	5			16		15				17				
49	256		4	15	11	15	17	2	17	2	17			1	2	11			16	11	15				7				
49	258		4	12	11	15	15	17	1	17	1	17			15	11	2	11			11	16	16	15					
49	260		11		12	16			4	17	4	17			15	11	2	11			16	16	15						
49	262		11		12	16	17		4	7	4	7			11		4	11			16		15					5	
49	264		11	16	12	16	7	9	7	4	7			15	11	4	15			15	16	15							
49	266		12	16	16	16	7	9	7	11	7			15	15	4	15				16								
49	268		12	16	16	15	16	7	11	7	9	2			15	4	15			15		15							
49	270		12	16	16	17	7	11	2	11	2			16	15	1	15									11			

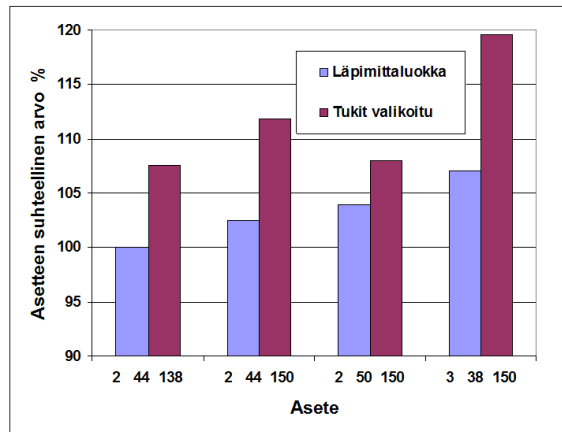
Kuva 57. Tukkiluokalle 250–270 mm on ollut käytössä 17 erilaista asetetta. Sahan toimittamista tukkitiedoista on haettu 4 900 mm pitkille tukeille paras asete kahden millimetrin latvaläpimittavälein, jotka on edelleen jaettu viiteen lenkousluokkaan 0, 4, 8, 12 ja 16 mm/m. Kukin läpimitta-lenkousluokka jaettiin edelleen viiteen kartiokkuusluokkaan 0, 4, 8, 12 ja 16 mm/m.

Kuvassa 57 esitetään, miten 490 cm:n pituiselle tukille tukkiluokassa 250–270 mm on haettu eri lenkous- ja kartiokkuusluokittain optimaalinen asete 17 mahdollisen asetteen joukosta. Kuvasta nähdään, ettei määrätyle sahausasetteelle ole rajattua yhtenäistä aluetta, vaan asetteen paremmuus poimii tukkeja sieltä ja täältä. Kaikilla käytetyillä parametriarvoilla, latvaläpimitta, kartiokkuus ja lenkous, on vaikutusta sahausasetteen valinnassa. Esimerkiksi asetetta numero 11 (keltainen väri kuvassa 57) kannattaa käyttää koko latvaläpimitta-alueen 250–270 mm:n sahausissa, vähiten kuitenkin jos lenkouden arvo on 4 mm/m tai 16 mm/m. Lenkouden arvolla 4 mm/m kannattaa sahausissa käyttää asetteita numerot 7 ja 17. Jos lenkous on 16 mm/m, kannattaa hakea sahausasete, joka ei ole tutkittujen asetteiden joukossa.

Kuvissa 58 ja 59 esitetään kahdessa läpimittaluokassa ja neljällä aseteella saatava sahausarvosanto sekä perinteisellä latvaläpimittaan perustuvalla lajittelulla että tukkien yksilölliseen poimintaan perustuvalla lajittelulla. Kaikissa tapauksissa poimintaan perustuva lajittelu on tuottanut selvästi paremman sa-

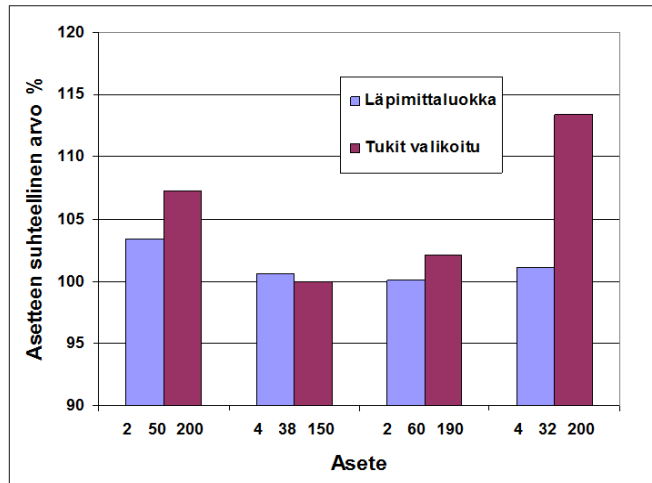
haustuloksen. Suurimmillaan ero on noussut noin 10 prosenttiin. Pienimmillään ero on 0 prosenttia ja keskimäärin 4 prosenttia.

Perinteisen ja poimintalajittelun vertailu tukkiluokka 206-214 mm



Kuva 58. Perinteisellä tukkien lajittelulla ja tukkien yksilölliseen poimintaan perustuvalla lajittelulla saatava sahauksen arvosanto tukkiluokassa, johon kuuluvien tukkien latvaläpimitta vaihtelee 206 mm:stä 214 mm:iin.

Perinteisen ja poimintalajittelun vertailu tukkiluokka 256-264 mm



Kuva 59. Perinteisellä tukkien lajittelulla ja tukkien yksilölliseen poimintaan perustuvalla lajittelulla saatava sahauksen arvosanto tukkiluokassa, johon kuuluvien tukkien latvaläpimitta vaihtelee 256 mm:stä 264 mm:iin.

6.3.4 Yhdistelmäajittelu

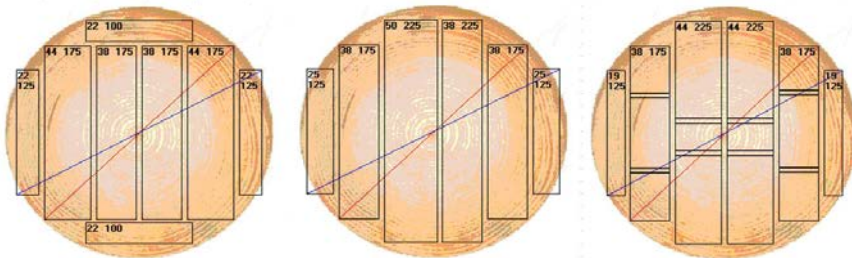
Eräkohtaisesta sahausesta yksilölliseen sahauseseen. Edellä mainittuja lajittelutapoja voidaan tarvittaessa yhdistellä. Voidaan esimerkiksi käyttää tukin muototekijöillä korjattua latvaläpimittalajittelua peruslajitteluna, ja vain määrätuille tuotteille haetaan sumasta tukit poimintalajittelulla. Tukkien lajittelulaitoksella on aina rajallinen määrä tukkiluokkia. Tukkien lajittelun peruskysymyksenä on, millä tavoin alokoidaan lokerot eri lajittelutapojen käyttöön.

6.3.5 Online-tukkien mittaus ja lajittelu

Online-lajittelussa tukit mitataan hyvin tarkasti ja merkitään tunnisteella yksilöllisesti niin, että tukit ovat yksilöinä tunnistettavissa myöhemmin. Mitattu tieto tallennetaan merkinnän perusteella tietokantaan. Välittömästi ennen mittausta tukkien päihin piirretään automaattisesti viivat, jotka muodostavat koordinaatiston yhdessä tukin pituusakselin kanssa tukin mittaustuloksille. Mittaustulosten perusteella tukit varastoidaan siten, että ne ovat yksilöinä poimittavissa sahauseräksi juuri oikeaan aikaan. Jokaisen tukin paikka on tiedettävä reaaliaikaisesti tunnisteiden avulla.

6.4 Sahausasetteen ja tukin pyörityksen optimointi

Kuvassa 60 esitetään pohjoismaisessa sahausessa käytettävät tyypilliset sahausasetteet. Pelkkasahaussessa, joka on yleisin sahausmenetelmä, sahataan ensimmäisessä pelkkasahausvaiheessa tukista ensin paksu pelkka (parru), joka sitten jakosahausvaiheessa jaetaan paksuiksi sydäntavarakappaleiksi. Molemmissa sahausvaiheissa saadaan tukin ja pelkan sivuilta vajaasärmäistä sahatavaraa, joka särmätään optimoituun leveyteen.



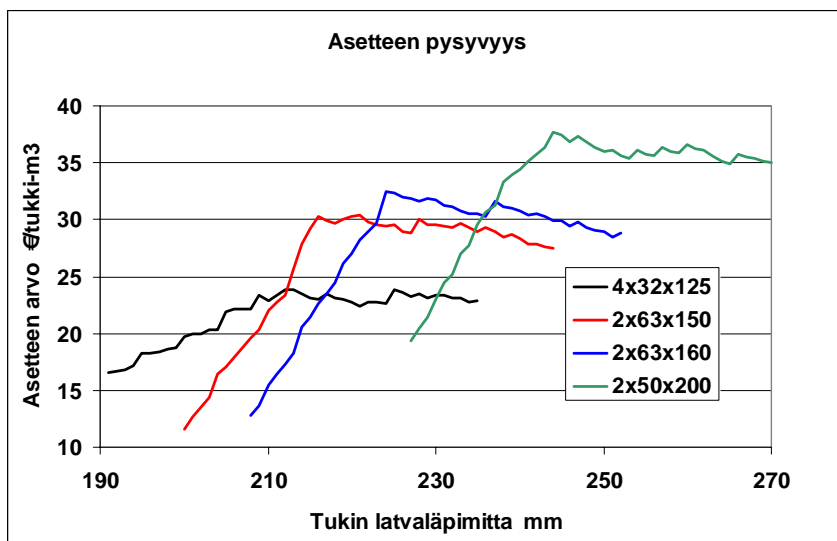
Kuva 60. Tyypilliset sahausasetteet: pelkkasahaus, läpisahaus ja komponenttisahaus.

Läpisahaussessa tukki sahataan paksuiksi ja ohuiksi viipaleiksi, jotka sitten särmätään haluttuun leveyteen. Komponenttisahaus on läpisahauksen kehittyneempi versio.

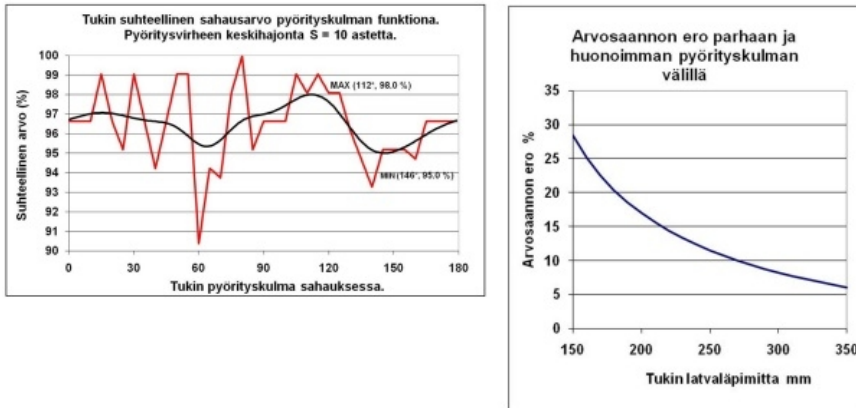
versio, jossa viipaleet särmätään useammiksi kappaleiksi, joilla voi olla hyvin yksityiskohtaiset dimensio- ja laatuvaatimukset.

Kuvassa 60 kuvaa asetteen rahallista arvoa tilanteissa, joissa eri asetteilla on sahattu erikokoisia tukkeja. Kaikkien asetteiden kohdalla arvoaanto riippuu tukin latvaläpimitasta suunnilleen samalla tavalla. Jokaiselle sahausasetteelle on löydettävissä maksimaalisen arvon antava tukkikoko – latvaläpimita. Jos tukin latvaläpimita pienenee tästä optimaalisesta latvaläpimitasta, arvoaanto putoaa hyvin rajusti. Tukki tulee liian pieneksi asetteeseen nähden. Jos latvaläpimita suurenee optimaalisesta, arvoaanto pienenee loivasti polveillen.

Kuvan 61 tapauksessa kaikille esitetyille asetteille on löydettävissä optimaalinen tukkien latvaläpimita-alue. Esimerkiksi asetteen ollessa 2 x 63 x 150 tukin minimilatvaläpimita on 213 mm ja maksimilatvaläpimita 224 mm. Asetteen pysyvyyskäyrät osoittavat hyvin selvästi, ettei minimilatvaläpimittaa tulisi alittaa. Optimaalisen läpimita-alueen yläraja voidaan ylittää, koska arvonmenetykset eivät ole kovin suuria. Tukkien lajittelun optimoinnin ongelmana on löytää tukkiluokille sellaiset rajat, jotka antavat sahausessa parhaan mahdollisen tuloksen kokonaisuden kannalta.



Kuva 61. Sahausasetteen arvo tukin latvaläpimitan ja sahausasetteen funktiona.



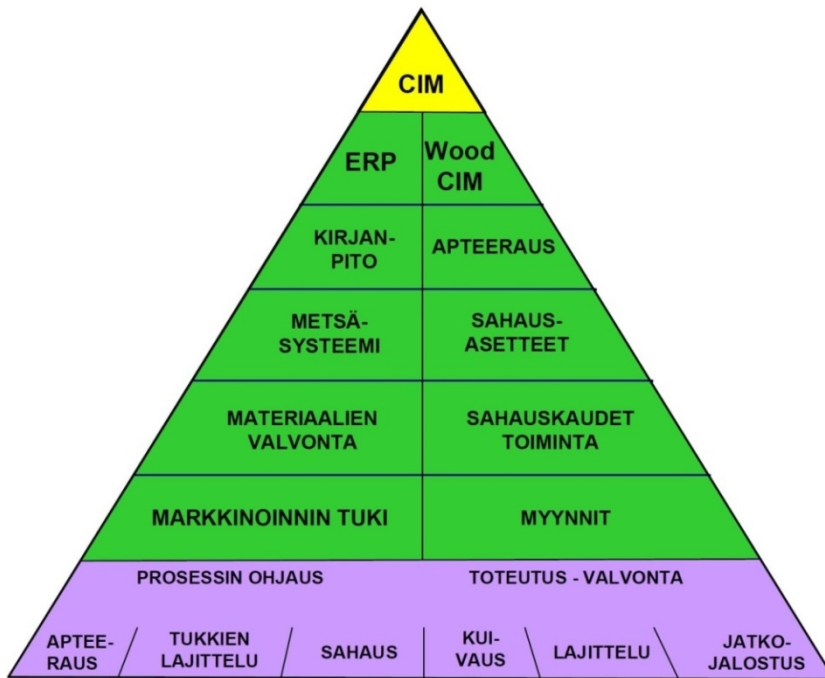
Kuva 62. Tukista saatava arvosuhteiden ero riippuu paljon tukin pyörityskulmasta.

Sahauksessa saatavan arvosuhteiden kannalta oikea tukin pyörityskulma on sahausasetteen ohella erittäin merkityksellinen. Kuvan 62 vasemmanpuoleinen kuva esittää arvosuhteiden ja pyörityskulman välistä riippuvuutta. Kuvasta nähdään, miten herkästi arvosuhteiden reagoi pieneenkin pyörityskulman muutokseen. Parhaimman ja huonoimman suhteellisen arvosuhteiden ero on lähes 10 prosenttia. Kuvaajan pomppiminen johtuu siitä, että tukissa olevat oksat sijoittuvat eri tavalla sahatavarakappaleisiin. Oksien sijainnilla on merkittävä rooli sahatavaran laadutuksessa ja siten arvossa: jos oksa sijoittuu kappaleen syrjään, laatu on huonompi verrattuna siihen, että oksa olisi kappaleen lappeessa.

Kuvan 62 oikea puoli esittää arvosuhteiden eroa parhaimman ja huonoimman pyörityskulman välillä. Kun tukin latvaläpimitta on 150 mm, arvosuhteiden ero on lähes 30 prosenttia. Latvaläpimitan suuressa arvosuhteiden ero pienenee paraabelin kaaren muotoisesti siten, että tukkiin ollessa 350 mm, arvosuhteiden ero on noin 6 prosenttia.

6.5 Informaatiojärjestelmät

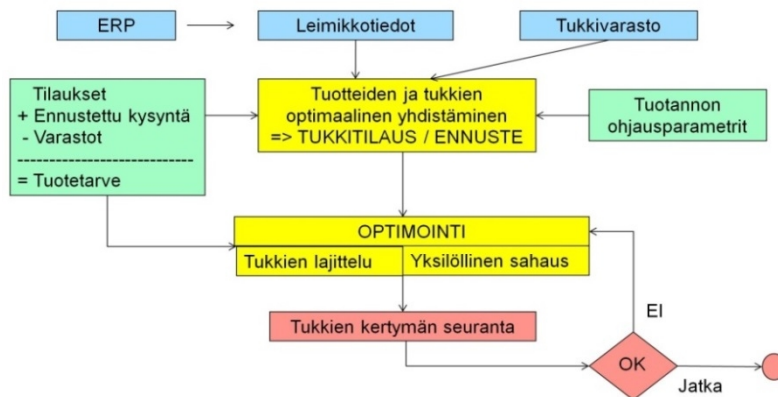
Informaatiojärjestelmät näyttävät tärkeää osaa DigiPOS-järjestelmän käytössä. Sahan kokonaisvaltainen järjestelmä esitetään kuvassa 63.



Kuva 63. Sahayrityksen informaatiojärjestelmän osa-alueet: prosessin ohjaus, ERP, toiminnan optimointi ja CIM, joka hallitsee informaatiovirtoja eri osien välillä.

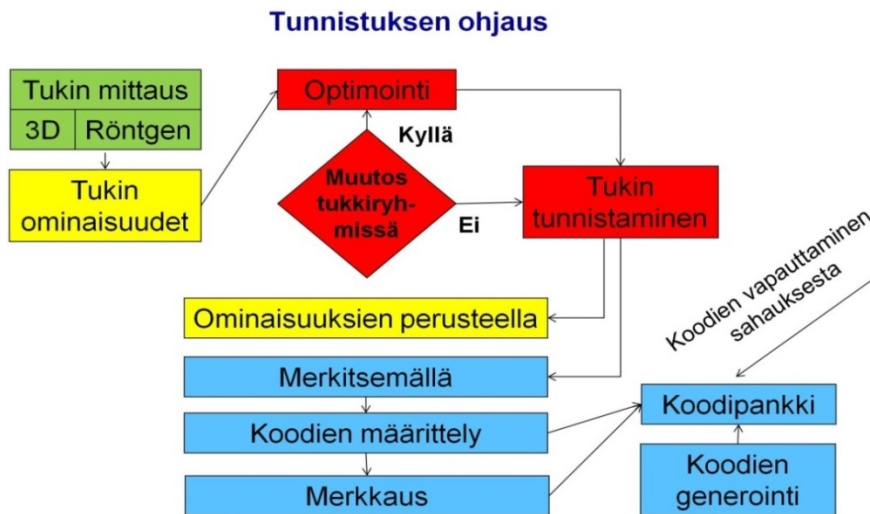
DigiPOS-järjestelmän soveltamisen kannalta tärkeimmät osat ovat optimointijärjestelmät ja ERP, jonka kautta saadaan tiedot optimoinnin perustaksi.

Tukkiryhmien ja sahausksen optimointi



Kuva 64. Periaatekuva DigiPOS-järjestelmän tukemasta tukkiryhmiä ja sahausksen optimoinnista.

Sahausten optimointi (kuva 64) sisältää kaksi perusvaihetta: tukkien ryhmittely (luokituksen) ja sahausasetteen optimoinnin. ERP-järjestelmästä saadaan tiedot tukkivarastosta, tilauskannasta ja ennustetusta tuotetarpeesta. Näiden perusteella voidaan laskea tukkitilaus puun hankintaan. Metsäosasto voi ostaa ja hakata leimikot, joista optimaalisesti katkotut tukit tuttavat parhaan mahdollisen, tilauskannan mukaisen sahaustuloksen.



Kuva 65. Tukkien DNA-tunnistukseen ja merkitsemiseen perustuvan tunnistuksen ohjaus.

Tukkien lajittelussa suoritettavat ominaisuuksien mittaukset esim. 3D ja/tai röntgen muodostavat datan, johon tukkien tunnistaminen perustuu (kuva 65). Ennen tukkien mittausta on määritettävä koordinaatisto, jossa tukki voidaan kuvata xyz-koordinaatistossa siten, että sahalinjalla voidaan mitata täsmälleen samoja tukkeja kuvaavia arvoja kun tukkien lajittelussa. Koordinaatisto voi perustua tukin päähän piirrettävään suoraan viivaan tai se voi olla tukin ominaisuuksien perusteella laskeutuva suora. Jokaiselle tukkiryhmälle on annettava ryhmäkohtainen tunniste, jonka tukkien lajittelulaitoksen operaattori määrää.

Tukit voidaan merkitä automaattisesti kirjoitetulla koodilla tai RFID-tagilla niiden tunnistamiseksi. Tällöin koodi sisältää tukkiryhmän tunnuksen ja yksittäisen tukin tunnusteen. Järjestelmä edellyttää ICT-pohjaista koodien tunnistusgeneraattoria ja koodipankkia, johon tunnisteet on tallioitu. Tunniste luetaan sahalinjalla automaattisesti.

Tukkien lajittelulaitoksella tukki mitataan tarkasti. Optimointiohjelmalla laskeetaan tukille paras mahdollinen sahausasete ja tukin optimaalinen pyörityskulma. Operaattorin antaman lähtöarvotiedon ja ryhmittelyjärjestelmän tuottaman tiedon perusteella tukki kuljetetaan oikeaan lajittelulokeroon.

Kun tukki tulee sahalinjalle, tukkia kuvaavat ominaisuustiedot otetaan esille samoin kuin optimaalista asetetta ja pyörityskulmaa koskevat tiedot tukin tunnisteen perusteella. Nämä tiedot siirretään automaattisesti sahakoneiden ohjausparametreiksi.

6.6 DigiPOS-järjestelmän implementointi käytäntöön

DigiPOS-järjestelmän implementointi edellyttää teollisen järjestelmän kehittämistä ja kaupallistamista. Se edellyttää järjestelmän komponenttien kehittämistä ja integrointia järjestelmätuotteeksi. Järjestelmä edellyttää teollisuuskokeita.

Järjestelmän tehokas käyttö edellyttää sitä, että se on reaaliaikaisesti liitetty järjestelmän toimittajan tietojärjestelmään, jolloin käyttäjä saa jatkuvaa tukea DigiPOS-järjestelmän käytössä, huollossa ja ajan tasalla pitämisessä.

6.7 DigiPOS-järjestelmän taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät

DigiPOS-järjestelmän arvioinnissa pitää ottaa huomioon

- Arvosaannon parannus
- Tuottavuus
- Käyttösuhde (sivutuotteiden määrä)
- Kaupallisen järjestelmän investointikustannukset
- Järjestelmän käyttökustannukset
- Käyttäjätystävällisyys
- Joustavuus, erilaiset puuraaka-ainefraktiot

6.7.1 DigiPOS-järjestelmällä saavutettavat hyödyt

- Tuotantolinjassa ei tarvitse mitata tukkia uudelleen kun se on kerran mitattu tukkien lajittelulaitoksella.
- Tukin tiedot tallennetaan informaatiojärjestelmään, josta ne ovat hyödynnettävissä sahakoneen ohjauksessa.
- Saadaan aina muodostettua tilauskannan mukaiset tukkiryhmit sahausta varten.
- Tukkiluokkien yhdistäminen. Tukkien siirto luokasta toiseen. Logistiikka ja tukkivarastojen hallinta.
- Tukkiluokille ja tukkiryhmillä voidaan laskea uudet asetteen, jos siihen on tarvetta.

- Tukkien lajittelun optimointi. Tukkien lajittelu voidaan tehdä joustavasti: perinteinen läpimittalajittelu, tukin kartiokkuus/lenkous korjattu läpimittalajittelu, tuotepohjainen lajittelu, asetepohjainen lajittelu, poimintalajittelu
- Eteenpäin siirrettävä tieto – tukin mittauksesta tuorelajittelusta – parantaa tuorelajittelun tarkkuutta ja pidemmällä tähtäyksellä myös loppulajittelun tarkkuutta. Tietoa voidaan käyttää hyväksi myös kuivauskuormien suunnittelussa.
- Takaisinkytkentätieto – tuorelajittelijalta tukkien mittaukseen – voidaan hyödyntää tukkimittarin parametrien säätämisessä. Itseoppiva järjestelmä.
- Sahaustuloksen parannus: arvosanto ja käyttösuhde
- Asiakaslähtöisyys paranee. Voidaan toimittaa täsmätoimituksia. Asiakaskohtaisia ja yksilöllisiä eriä.
- Takaisinkytkennän tieto parantaa tuotannon hallintaa, kun suunnittelujärjestelmiin saadaan systemaattisesti kerättyä ja prosessoitua tietoa – jatkuva "koesahaus".
- Arvosaaannon ja tilavuussaannon paraneminen
 - tukkien optimaalinen lajittelu
 - sahausasetteen optimointi
 - tukin pyörityskulman optimointi
 - tukin ja pelkan asemoinnin ja suuntauksen optimointi
- Tilavuussaannon paraneminen.

6.7.2 Kustannukset

- Älykäs informaatiojärjestelmä, joka kattaa jalostusketjun osat tukkien lajittelusta sahauskeeseen tai tukkien lajittelusta tuorelajitteluun.
- Informaatiojärjestelmän linkittäminen sahan muihin informaatio- ja suunnittelujärjestelmiin.
- Informaatiojärjestelmän linkittäminen koneiden ohjaukseen.
- Tukkien ja saheiden merkintäjärjestelmät ja merkinnän lukemisen järjestelmät
- Kappaleiden merkintä aiheuttaa kustannuksia.
- Tukkikentän ja logistiikan muutokset saattavat aiheuttaa kustannuksia.

6.7.3 Muut näkökohdat

- Kannattavuus ja siihen vaikuttavat tekijät
 - komponenttien sahaus

6. DigiPOS-järjestelmän komponentit

- asiakastuotteiden sahaus
- tuotevalikoiman kokonaisvaltainen hallinta
- Tuotevalikoiman hallinta
 - komponenttien sahaus
 - asiakastuotteiden sahaus
 - tuotevalikoiman kokonaisvaltainen hallinta
- Kapasiteetin hallinta
 - läpimenoaikojen pienentäminen
 - asiakastuotteiden sahaus
 - tuotevalikoiman kokonaisvaltainen hallinta
- ICT-tuettu tuotanto- ja liiketoiminta
 - komponenttien sahaus
 - asiakastuotteiden sahaus
 - tuotevalikoiman kokonaisvaltainen hallinta.

7. Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että voidaan määrittellä konsepti ICT-pohjaiseksi järjestelmäksi, jossa

1. tukkien lajittelulaitoksella mitataan tukit tarkasti siten, että fyysisistä tukeista voidaan muodostaa matemaattiset virtuaaliset tukit määrittelyssä suorakulmaisessa xyz-koordinaatistossa
2. tukkien mittauksen perusteella voidaan määrittää ne yksittäisen tukin tunnukset (DNA), joita voidaan käyttää tukin tunnistuksessa sen saapuessa sahalinjalle. DNA-tunnus liittyy toisiinsa virtuaalitukin ja todellisen mitatun tukin
3. tuotetarpeen perusteella voidaan optimoida tukkiryhmiä rajat siten, että saadaan mahdollisimman hyvä vastaavuus tuotetarpeen ja käytettävissä olevien tukkien välille
4. lasketaan yksittäiselle tukille optimaalinen sahausasete ja tukin pyörityskulma. Tunnisteen perusteella taltioidaan optimointitiedot informaatiojärjestelmään
5. tukit kuljetetaan automaattisesti siihen lajittelulaitoksen lokeroon, joka on varattu ao. ryhmälle
6. kun lokero on tullut täyteen tai kun riittävä määrä tukkeja on saatu, tukkiryhmä kuljetetaan sille varattuun varastopaikkaan
7. tuotannon suunnittelujärjestelmällä lasketaan optimaalinen tuotannon ajoitus ja tukkiryhmää kerrallaan otetaan sahaukseen
8. tukin tullessa sahalinjalle mitataan tukin ominaisuudet ja määritetään sen DNA, jonka perusteella haetaan tukin optimaalinen asete ja pyörityskulma; ohjearvot siirretään sahakoneen ohjaukseen
9. suoritetaan sahaus.

Järjestelmäkonseptin tukkien tunnistusosan toimivuus testattiin käytännön olosuhteissa. Tulokset ovat lupaavia.

7. Tulosten tarkastelu

Tutkimus osoitti selvästi, että tukit ovat yksilöllisesti tunnistettavissa mitattavien ominaisuuksiensa perusteella. Tunnistettavuus riippuu hyvin paljon siitä, miten monta tukkia on yhdessä tukki-ryhmässä. Mitä enemmän tukkeja on ryhmässä sitä enemmän tarvitaan tunnusominaisuuksia.

Tunnistettavuuden kannalta hyviä ominaisuuksia ovat:

1. pituus
2. latvaläpimitta
3. tyviläpimitta
4. halkaisijat tyvestä taulukko (halkaisijat tyvestä lähtien määrätyn välimatkoin)
5. tilavuus
6. tiheys.

Tunnistettavuuden kannalta huonoja ominaisuuksia ovat:

1. lenkous
2. kartiokkuus
3. soikeus
4. oksamäärä.

Ominaisuuksia, joita ei voi käyttää on useita.

8. Jatkotoimenpiteet

Tutkimuksessa voitiin suorittaa teollisuuskokeita vain rajoitetusti. Analysoituja mäntytukkeja oli 38 kappaletta ja kuusitukkeja 34 kappaletta. Nämä määrät ovat varsin pieniä yhdellä sahalla sahattaviin tukkimääriin suhteutettuna. Paljon laajemmät tutkimukset ovat tärkeitä tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Tutkimusaineistoa pitäisi saada eri puolelta Suomea.

Tutkimuksen tulokset ovat lupaavia. Teollisen järjestelmän kehittäminen vaatii kuitenkin tulosten tarkistamista laajamittaisin teollisuuskokein. Erityisen tärkeää tämä on tunnistusjärjestelmien soveltamisen kohdalla, koska runkojen ja tukkien ominaisuudet vaihtelevat puun hankinta-aluekohtaisesti.

Tukin mittaustarkkuuteen ja sen kehittämiseen on panostettava, koska mittauksen tarkkuudesta riippuu järjestelmän käyttökelpoisuus. Tukkimittarien kohdalla on kehitettävä myös menetelmiä, joilla voidaan tehokkaasti kalibroida mittareita.

Näyttää siltä, että tukkien tunnistamiseksi sahalinjalla pitäisi kehittää uusia mittarisovelluksia.

Jotta DigiPOS-järjestelmän konsepti saadaan siirretyksi todelliseksi järjestelmäksi, pitäisi suorittaa järjestelmän komponenttien yksityiskohtainen suunnittelu. Komponentit pitäisi integroida kokonaisuuksiksi ja testata käytännön olosuhteissa. Järjestelmä pitäisi implementoida käytännön olosuhteisiin ja suorittaa laajamittaiset koeajot. Kokemusten perusteella tulisi toteuttaa tarpeelliset muutokset.

9. Yhteenveto

Tutkimuksessa kehitettiin DigiPOS-järjestelmäkonsepti, joka muodostuu seuraavista elementeistä:

1. Tilauskannan ja sahaustarpeiden (ERP) mukaan lasketaan optimaalinen tukkien ryhmittelytapa tai osittainen muutos käytössä olevaan luokitustapaan.
2. Tukki tulee tukkien lajittelulinjalle. Tukin päähän merkitään suora viiva, joka määrittelee tukille kolmiulotteisen xyz-koordinaatiston. Koordinaatisto voidaan määrittää myös tukin ominaisuuksien, esimerkiksi soikeuden tai lenkouden suunnan, perusteella. Jos tukki on kuitenkin hyvin pyöreä ja suora, tätä määrittäytapaa ei voida käyttää.
3. Tukki mitataan tukkimittarilla. Tuloksena on mittaustulokset, jonka perusteella määritetään simulointilaskennassa käytettävä matemaattinen virtuaalitukki, joka tallioidaan DigiPOS-informaatiojärjestelmään.
4. Tukin tunnistamiseksi määritetään sen tunnistus-DNA, joka on joukko mitattavissa olevia tukkia kuvaavia suureita, kuten latvaläpimitta, tyviläpimitta, pituus, tilavuus ja kartiokkuus.
5. Tukkien mittaustulosten perusteella lasketaan mihin tukkiryhmään tai sen alaryhmään tukki osoitetaan. Kun tukkien lajittelulokeroon on tullut tarvittava määrä tukkeja, ne siirretään väliavarastoon ja paikkaan, jossa ryhmä on identifioitavissa. Paikkakoodi ja sen sijainti määritellään informaatiojärjestelmässä.
6. Lasketaan, missä järjestyksessä tukkiryhmit otetaan sahaukseen. Tukkiryhmä kuljetetaan sahaan syöttöön.
7. Kun tukki tulee sahalinjalle, tukkimittarilla mitataan siitä ominaisuudet, joiden perusteella tukki on tunnistettavissa.
8. Tunnisteen perusteella haetaan informaatiojärjestelmästä tukin optimaalinen pyörittäjä sekä sahausasetteet kaikille sahakoneille. Asete voi olla vakioasete koko tukkiryhmälle tai se voi olla yksilöllinen jokaiselle tukille. Aseteissa voi olla kiinteä sydäntavaraosa mutta sivulautamallit voivat olla

tukkikohtaisia, jolloin tukkiryhmien ominaisuudet ja sahakoneen ominaisuudet tukevat toisiaan.

9. Sahauksessa syntyneet kappaleet mitataan tuorelajittelussa. Laadullinen ja määrällinen sahaustulos rekisteröidään ja taltioidaan informaatiojärjestelmään. Tulosennustetta verrataan toteutuneeseen tulokseen. Vertailun tulos muodostaa perustan sahausken säätöparametrien muutokselle ja järjestelmän itseoppivuudelle.

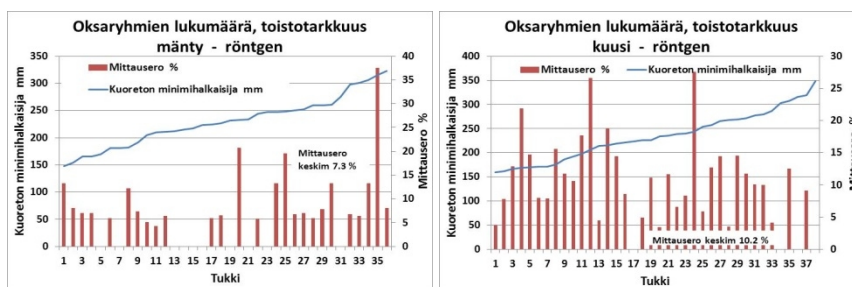
Kirjallisuusviitteet ja muuta kirjallisuutta

- Holmgren, J., Persson, Å. & Söderman, U. 2008. Species identification of individual trees by combining high resolution LiDAR data with multi-spectral images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, s. 1537–1552.
- Holopainen, M. 2011. Metsänarviointi ja laserkeilaus. Maanmittauspäivät 17.3.2011, Pori. Helsingin yliopisto ja Aalto-yliopisto.
- Holopainen, M., Hyypä, J., Vastaranta, M. & Hyypä, H. 2011. laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. *The Photogrammetric Journal of Finland*, Vol. 22, No. 3, s. 128–149.
- Hyypä, J., Holopainen, M., Vastaranta, M. & Puttonen, E. 2009. Yksittäisten puiden mittausta ja muutosten seuranta laserkeilauksella. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2009. Metsäntutkimuslaitos. Saatavilla: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff094361.pdf>.
- Pajuoja, H. & Hämäläinen, J. 2012. kohti tehokkaampaa puunhuoltoa. Puutavara-logistiikka 2020 – kehittämisvisio ja T&K-ohjelma. Metsäteho. Saatavilla: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote_03_2012_Esitys_Kohti_tehokkaampaa_puunhuoltoa_Pajuoja_Hamalainen.pdf.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M., Malinen, J., Pitkänen, J. & Packalén, P. 2007. Pre-harvest measurement of marked stands using airborne laser scanning. *Forest Science*, Vol. 53, No. 6, s. 653–661.
- Pitkänen, J., Maltamo, M., Hyypä, J. & Yu, X. 2004. Adaptive methods for individual tree detection on airborne laser based canopy height model. In: Theis, M., Koch, B., Spiecker, H. & Weinacker, H. (eds.). *Proceedings of ISPRS working group VIII/2: Laser-scanners for Forest and Landscape Assessment*. University of Freiburg, Germany. S. 187–191.
- Stängle, S., Bruchert, F., Heikkilä, A., Usenius, A., Usenius, T. & Sauter, U. Increased yield in sawmills by using X-ray computed tomography for determination of wood defects in hardwood species. To be left for publishing in *Annals of Forest Science*. Joint publication from FlexWood project.
- Usenius, A. 2007a. Adaptive and flexible production systems for woodworking industry. *Proceedings Abstract. IUFRO All Division 5 Conference, Oct 29 – Nov 2, 2007. Taipei Taiwan*.

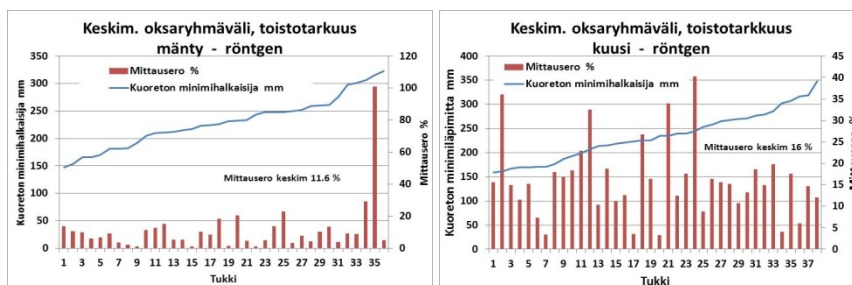
- Usenius, A. 2007b. Puutuoteteollisuuden jalostusketjujen optimointi metsästä tuotteeksi (Optimisation of conversion chains in wood products industry – from the forest to the end products). Suomen operaatiotutkimusseura (Finnish Operations research Society) INFORS 1/2007. S. 20–29.
- Usenius, A., Heikkilä, A. & Usenius, T. 2012a. Optimisation of production planning and process control supported by scanning of internal roundwood properties. Proceedings of 2012 IUFRO conference, July 8–13 Estoril, Portugal.
- Usenius, A., Heikkilä, A. & Usenius, T. 2012b. VTT:n WoodCIM®-ohjelmisto saha-teollisuuden tutkimukseen ja toiminnan suunnitteluun. Tähtäimenä arvonn lisäys. Puumies No. 1, s. 34–35.
- Usenius, A., Heikkilä, A., Usenius, T. & Makkonen, M. 2012. Kulkeeko data tukinn mukana? Puumies No. 4, s. 24–25.
- Usenius, A., Heikkilä, A., Usenius, T. & Makkonen, M. 2012. Optimisation of production planning and process control supported by scanning of internal round wood properties. Abstract in the Proceedings of 2012 IUFRO Conference, July 8–13 Estoril Portugal. Left for publishing in Canadian Journal for Forestry 24(24).
- Usenius, A. & Song, T. 2005. Optimal Model system for optimal allocation of wood raw material throughout conversion chains. In: Nepveu, G. (ed.). Proceedings of IUFRO WP S5.01-04 Fifth Workshop 'Connection between forest resources and wood quality: Modelling approaches and simulation software'. Waiheke Island Resort, Auckland, November 20–26, 2005, New Zealand, 2005. (in print).
- Usenius, A., Song, T. & Heikkilä, A. 2007. Optimization of activities throughout the wood supply chain. Proceedings International Scientific Conference on Hardwood Processing. September 24–26, 2007 Quebec City, Canada. S. 199–205.
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Metsälehti Kustannus. Helsinki ISBN 952-5118-58-4 (nid). S. 230.
- Vastaranta, M., Melkas, T., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyypä, J. & Hyypä, H. 2008. Comparison of different laserbased methods to measure stem diameter. In: Hill, R., Rossette, J. & Suárez, J. 2008. Silvilaser 2008 proceedings. S. 606–615.

- Vastaranta, M., Melkas, T., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyypä, J. & Hyypä, H. 2009. Laser-Based Field Measurements in Tree-Level Forest Data Acquisition. *The Photogrammetric Journal of Finland*.
- Vauhkonen, J., Kankare, V., Tanhuanpää, T., Holopainen, M. & Vastaranta, M. 2013. Puuston runkolukusarjan ja laatutunnusten mittaus kaukokartoituksella. Esiselvitys ja käytännön testi. *Metsätehon raportti 223*. Verkkojulkaisu, ISSN 1796-2374. Vantaa.
- Yu, X., Hyypä, J., Vastaranta, M. & Holopainen, M. 2011. Predicting individual tree attributes from airborne laser point clouds based on random forest technique. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 66, s. 28–37.

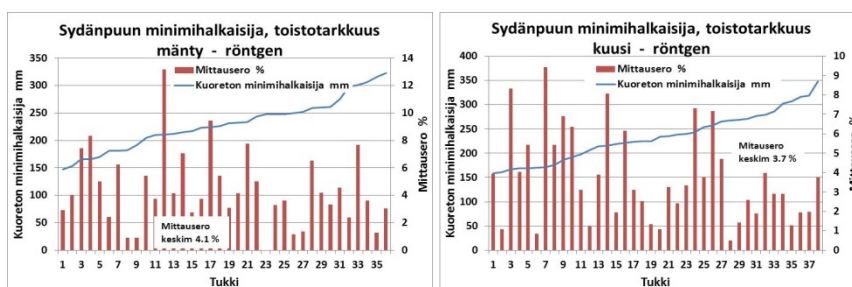
Liite A: Tukkimittausten toistotarkkuus



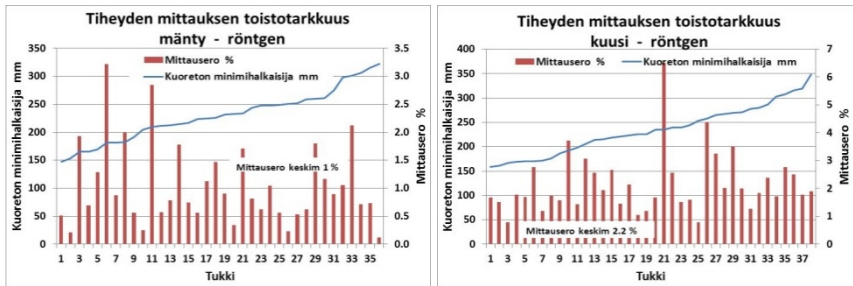
Kuva A1. Röntgenmittarin havaitsemien oksaryhmien lukumäärän kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella. Tukit on lajiteltu latvaläpimitan mukaan suuruusjärjestykseen.



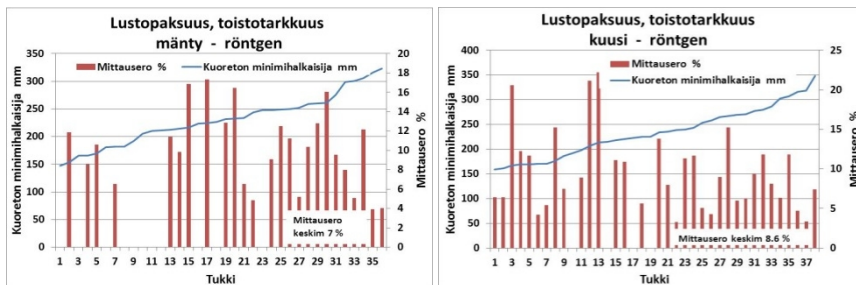
Kuva A2. Röntgenmittarin määrittämän keskimääräisen oksaryhmävälän kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



Kuva A3. Röntgenmittarin määrittämän sydänpuun minimihalkaisijan kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



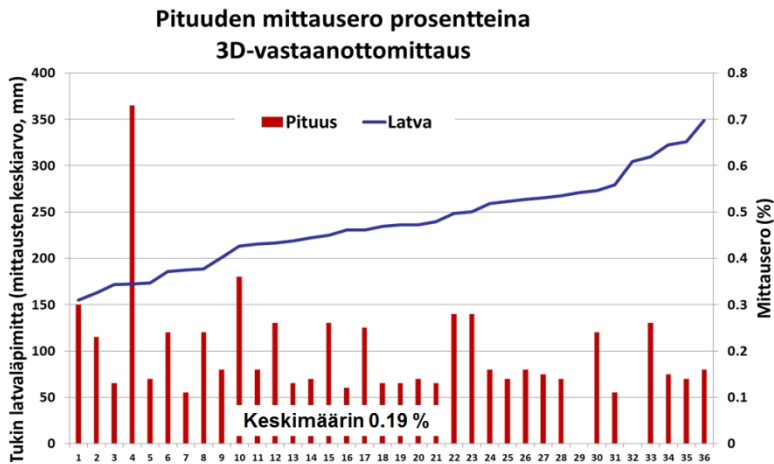
Kuva A4. Röntgenmittarin määrittämän puuaineen tiheyden kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



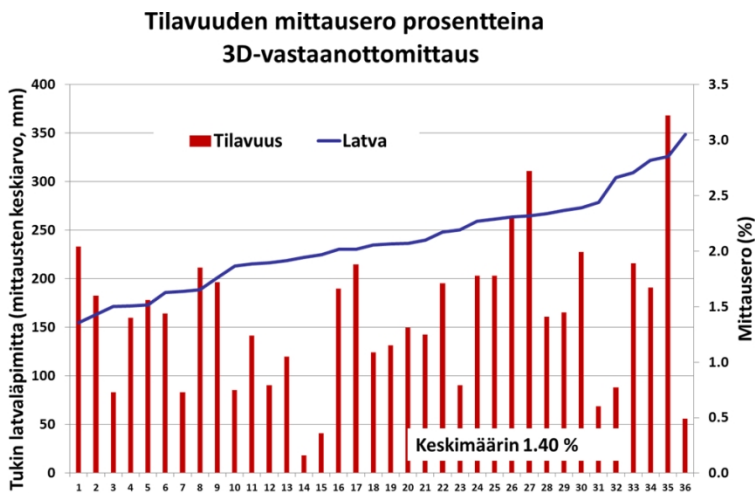
Kuva A5. Röntgenmittarin määrittämän lustopaksuuden kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



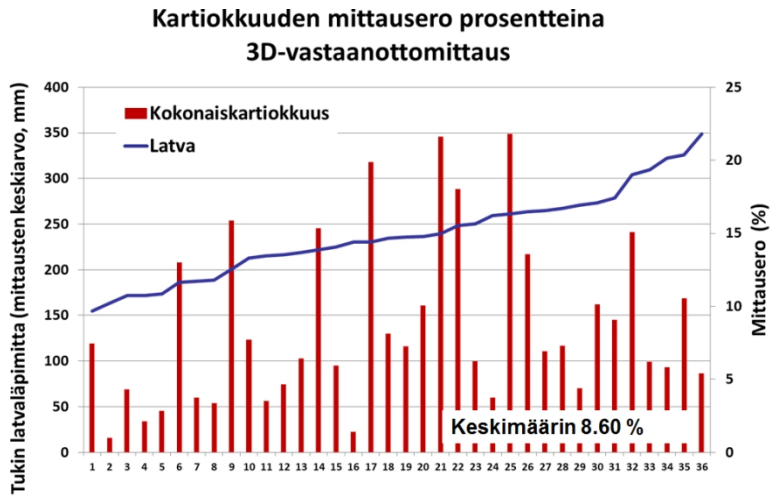
Kuva A6. 3D-vastaanottomittarin määrittämän latvaläpimitan kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella. Tukat lajiteltu latvaläpimitan mukaan suurusjärjestykseen.



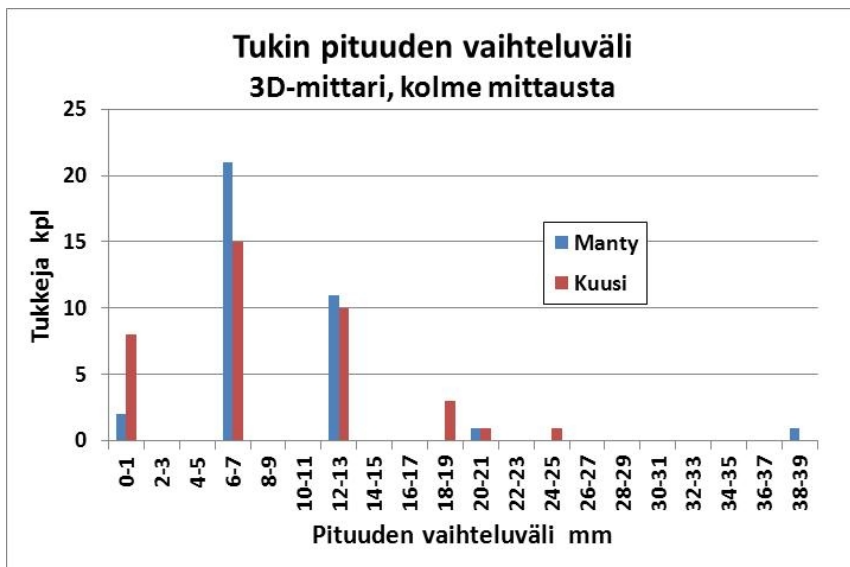
Kuva A7. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tukin pituuden kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



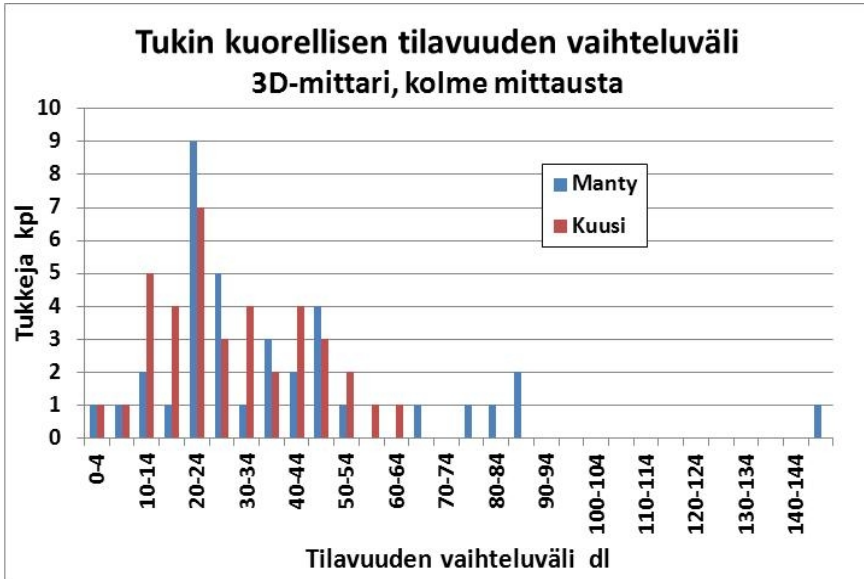
Kuva A8. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tilavuuden kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



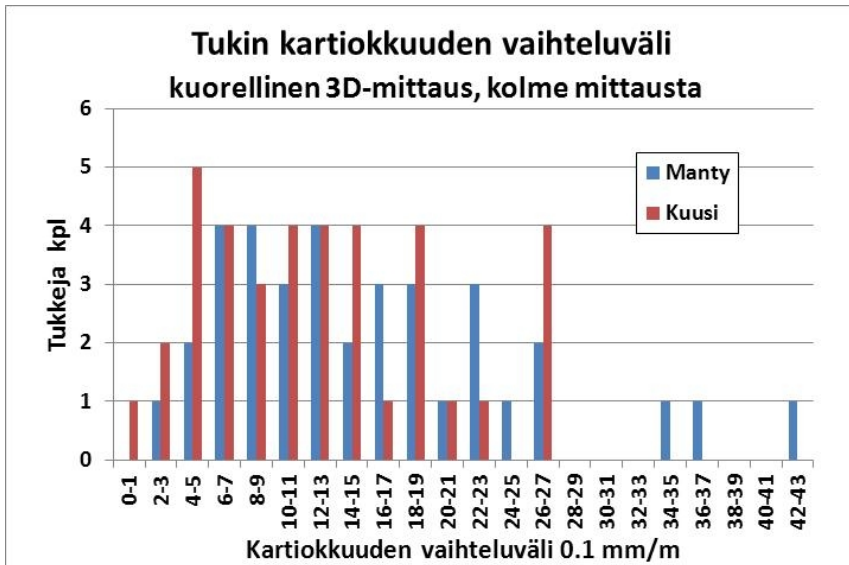
Kuva A9. 3D-vastaanottomittarin määrittämän kartiokkuuden kolmen mittauksen toistotarkkuus tukeittain männyllä ja kuusella.



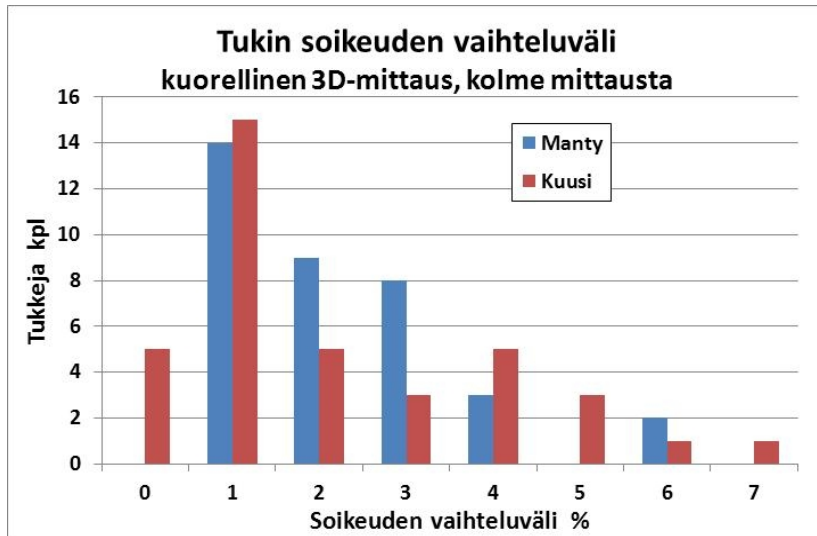
Kuva A10. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tukin pituuden kolmen mittauskeron vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



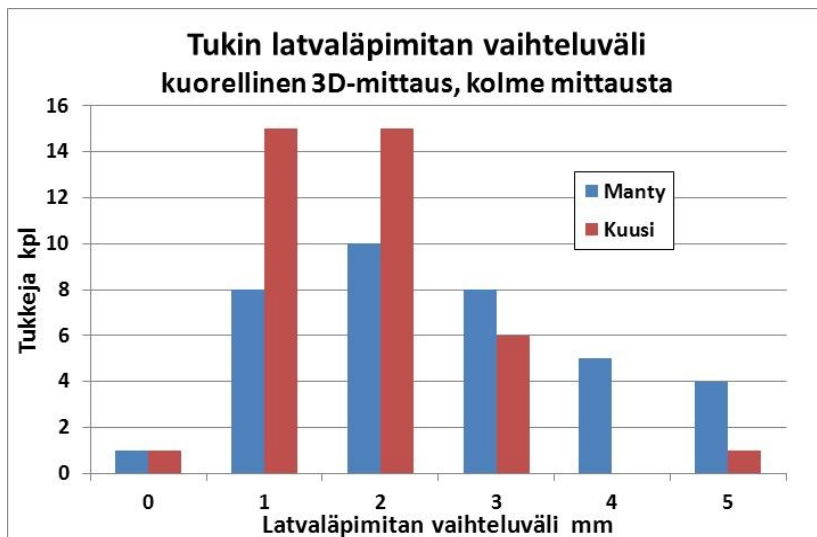
Kuva A11. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tukin kuorellisen tilavuuden kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



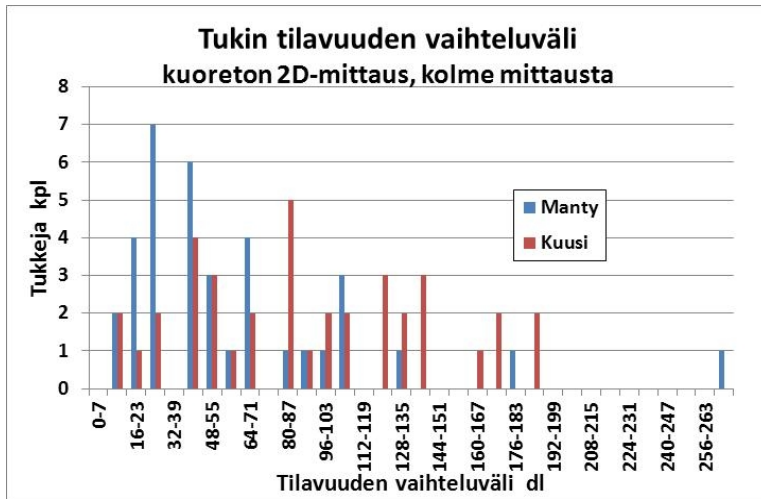
Kuva A12. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tukin kartiokkuuden kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



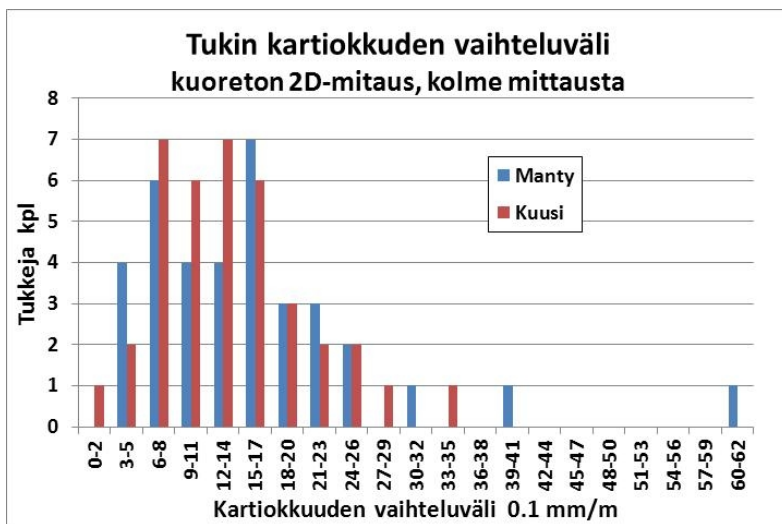
Kuva A13. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tukin soikeuden kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



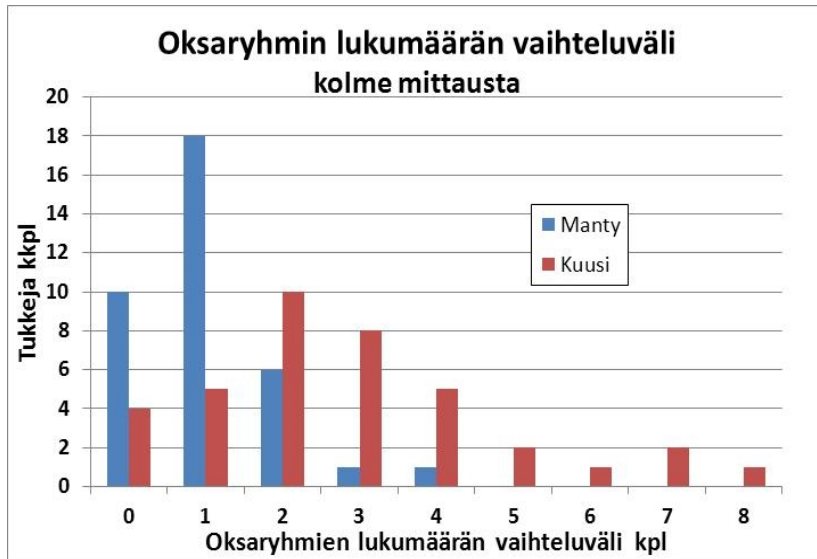
Kuva A14. 3D-vastaanottomittarin määrittämän tukin latvaläpimitan kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



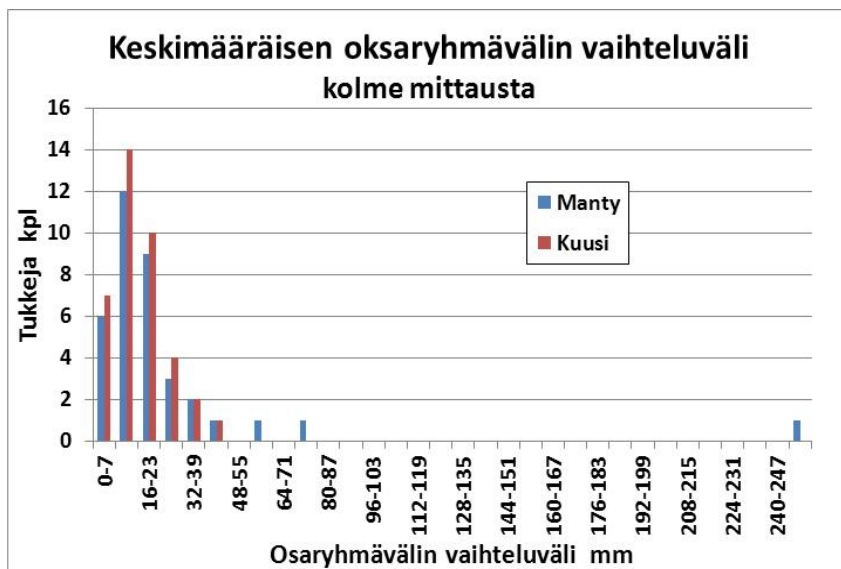
Kuva A15. 2D-mittarin määrittämän tukin kuorettoman tilavuuden kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



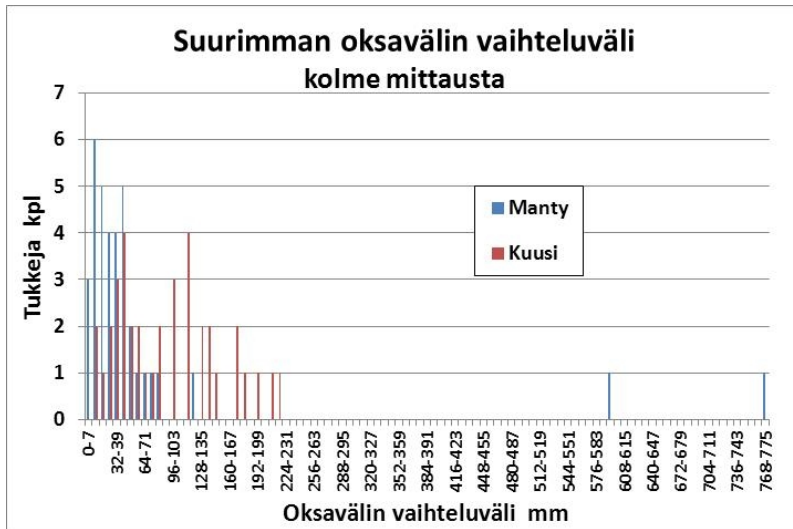
Kuva A16. 2D-mittarin määrittämän tukin kartiokkuden kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



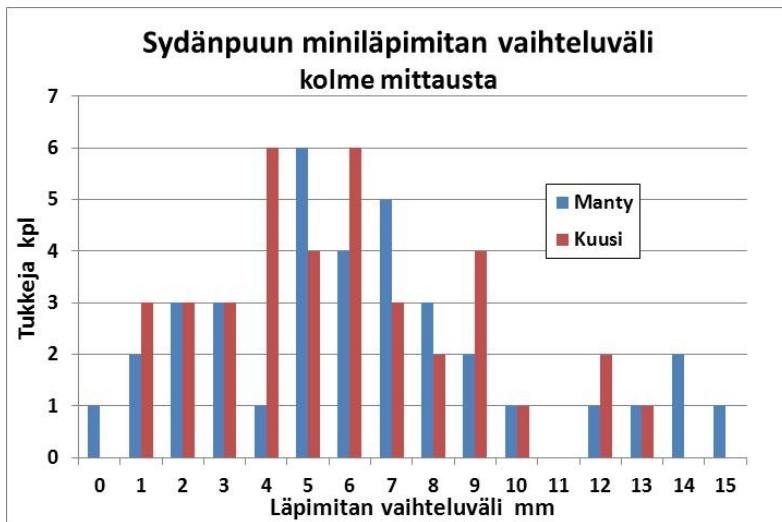
Kuva A17. Röntgenmittarin määrittämän oksaryhmien lukumäärän kolmen mitauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



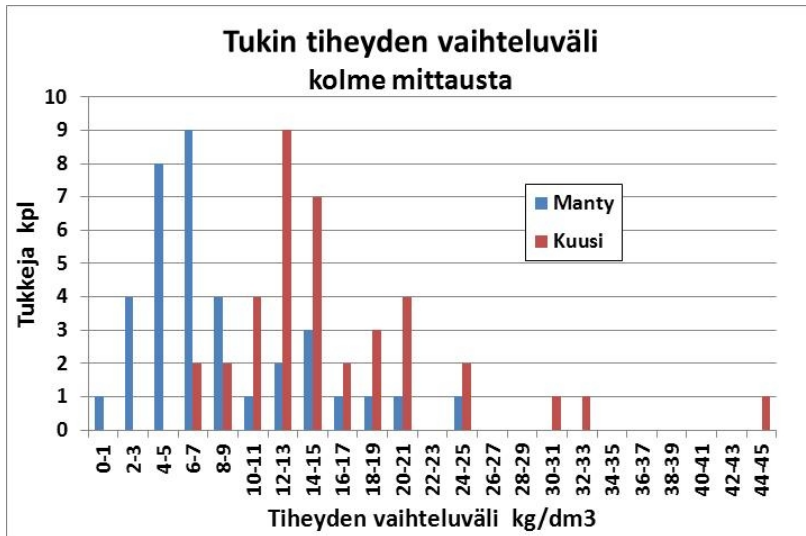
Kuva A18. Röntgenmittarin määrittämän keskimääräisen oksaryhmävälin kolmen mitauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



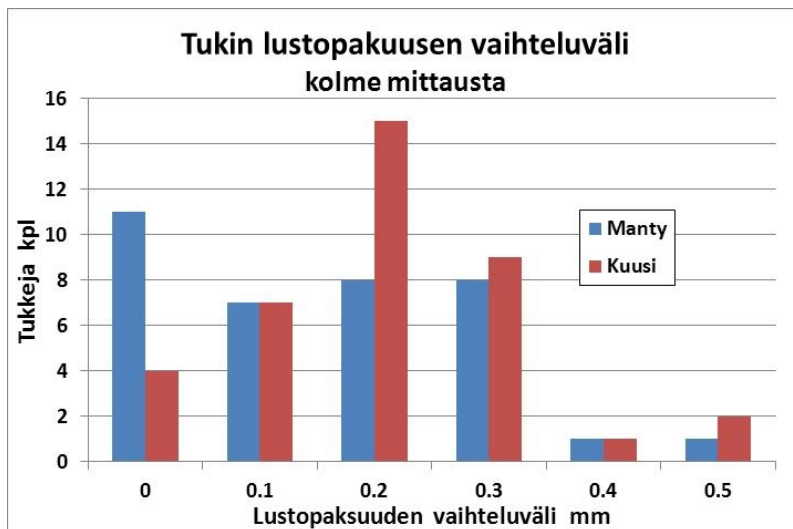
Kuva A19. Röntgenmittarin löytämän suurimman oksaryhmävälin kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



Kuva A20. Röntgenmittarin määrittämän sydänpuun miniläpimitan kolmen mittauskerran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



Kuva A21. Röntgenmittarin määrittämän puuaineen tiheyden kolmen mittausker-
ran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.



Kuva A22. Röntgenmittarin määrittämän lustopakauksen kolmen mittausker-
ran vaihteluvälin jakauma männyllä ja kuusella.

Nimeke	Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus DigiPOS-hankkeen loppuraportti
Tekijä(t)	Arto Usenius, Antti Heikkilä, Timo Usenius, Marika Makkonen & Otso Väätäinen
Tiivistelmä	<p>Tutkimuksessa kehitettiin sahateollisuudelle uusi tuotantojärjestelmäkonsepti, jonka käyttöönotolla voidaan merkittävästi parantaa sahojen kilpailukykyä, asiakaslähtöisyyttä, tuotannon laatujaikaa ja myyntiarvoa, arvosaantoa – puusta saatavien tuotteiden arvoa sekä asiakaslähtöisyyttä ja palvelukykyä.</p> <p>Tuotantojärjestelmä perustuu ennen kaikkea puun jalostusketjussa mitattavissa olevan datan taltiointiin, käsittelyyn ja hyväksikäyttöön arvoketjun eri vaiheissa. Nykyisissä tuotantojärjestelmissä mitataan samoja asioita useaan kertaan, mikä lisää investointikustannuksia. Uudessa konseptissa mittauksia tehdään vain kerran ja data/informaatio/tieto siirretään seuraaviin jalostusketjun seuraaviin vaiheisiin tunnisteen avulla.</p> <p>Tunnistamista varten kehitettiin puuraaka-aineiden, väljalosteiden ja tuotteiden digitaalinen, matemaattinen kuvaustapa. Tämä digitaalinen kuvaustapa perustuu sahatukkien, tuoreen sahatavaran ja valmiin sahatavaran mittaustuloksiin. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti tuotantoprosessin väliin tukkilajittelusta sahalinjan alkupäähän.</p> <p>Tukien lajittelussa mitataan tukista ominaisuuksia kuten latvaläpimitta, pituus, kartiookkuus, lenkous, soikeus ja tilavuus. Näiden mitta-arvojen perusteella tukki lajitellaan tiettyyn tukkiluokkaan, joka sahataan määrättyllä lasketulla optimaalisella sahausasetteella. Samalla lasketaan myös tukin optimaalinen pyörityskulma. Nämä ominaisuusarvot muodostavat myös mitatun tukin ID-tunnisteen. Kun tukki tulee sahalinjalle, se tunnistetaan mittaamalla tukista samoja arvoja kuin tukkien lajittelussa.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8264-8 (nid.) ISBN 978-951-38-8265-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (painettu) ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)
Julkaisuaika	Heinäkuu 2014
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	90 s. + liitt. 10 s.
Projektin nimi	
Toimeksiantajat	
Avainsanat	tukki, sahausprosessi, tunnistaminen, tiedonsiirto, arvosaanto, optimointi
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111

Title	Digital product process and optimised sawing Final report of DigiPOS-project
Author(s)	Arto Usenius, Antti Heikkilä, Timo Usenius, Marika Makkonen & Otso Väättäin
Abstract	<p>The investigation was established for developing new production system concept for sawmill industry in order to improving significantly competitiveness of sawmills, customer orientation, quality of production, distribution and sales value, value yield wood products, as well as the value of customer focus and service capabilities.</p> <p>The production system is based mainly on the wood processing chain through providing measurable data recording for processing and exploitation of the value chain in different stages. The current production systems are measuring same things several times, which increases the cost of the investment. The new concept, measurements are made only once, and the data/information/knowledge is transferred to the following processing in subsequent identifier.</p> <p>New concept was developed for the identification of raw materials, semi-finished products and products based on digital, mathematical description of the things. This method is based on digital imaging of saw logs, fresh sawn timber and provided by measurement technology. The study focused specifically on the production process between the log sorting line saw and in feed sawing line cutting the logs.</p> <p>Scanning of logs results log of features such as crown diameter, length, taper, crooked-growth, oval form and volume. These measurement values provides fundamentals for sorting the log to a specific category of the log – log class to be sawn with optimum sawing set up – blade setting – in order to achieve maximum value yield. At the same time optimum log rotation angle is calculated. These scanned values provides are also log identification value – ID tag. When the log arrives to the saw line, it is recognized by measuring the log data in the same way as the sorting station.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8264-8 (Soft back ed.) ISBN 978-951-38-8265-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Print) ISSN 2242-122X (Online)
Date	July 2014
Language	Finnish, English abstract
Pages	90 s. + app. 10 p.
Name of the project	
Commissioned by	
Keywords	log, sawmill process, identification, information transfer, value yield, optimisation
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus DigiPOS-hankkeen loppuraportti

Digitaalinen tuoteprosessi ja optimaalinen sahaus (DigiPOS) -projektissa kehitettiin menetelmä tukkien yksilölliseksi (DNA) tunnistamiseksi mitattavissa olevien ominaisuuksien perusteella. Niitä ovat esimerkiksi latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus, lenkous, soikeus ja tilavuus. Tukki-DNA voi perustua myös röntgenmittauksella saatavaan informaatioon esimerkiksi oksaryhmien välimatkasta. DNA:n avulla voidaan tukit lajitella homogeenisiin tukkiyrymiin laskemalla jokaiselle tukkiyksilölle parhaan taloudellisen tuloksen tuottama sahausasete ja tukin suuntaus sahakoneisiin. Samalla tallioidaan kaikki tukkiin liittyvä data informaatiojärjestelmään. Kun tukin DNA luetaan sahalinjan alussa, voidaan kaikki tukin sahauseseen liittyvä data hakea informaatiojärjestelmästä ja käyttää hyväksi sahakoneiden ohjauksessa. Menetelmällä voidaan parantaa sahatavaran valmistuksen taloudellista tulosta ja asiakaslähtöisyyttä.

ISBN 978-951-38-8264-8 (nid.)
ISBN 978-951-38-8265-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-1211 (painettu)
ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)