

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song,
Jorma Fröblom & Timo Usenius

Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa

Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song,
Jorma Fröblom & Timo Usenius



ISBN 978-951-38-7640-1 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7641-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2010

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Toimitus Maini Manninen

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song, Jorma Fröblom & Timo Usenius. Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa [Flexible and adaptive production systems in sawmill industry]. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2544. 217 s.

Avainsanat sawmill process, production system, flexible, adaptive, value yield, measuring technology, modelling, simulation, optimisation

Tiivistelmä

Sahateollisuuden tuotteita ja tuottavuutta on mahdollista kehittää mittaustekniikan, ohjausjärjestelmien ja järjestelmien itseoppivuuden avulla. VTT kehitti SisuPUU-projektissa tuotantojärjestelmiä, joiden avulla voidaan nykyistä tehokkaammin ja joustavammin valmistaa erilaatuisesta puumateriaalista tarkasti määritellyt ominaisuudet omaavaa erikoissahatavaraa. Liittämällä tuotteisiinsa palveluja sahat palvelevat entistä paremmin puutavaran jalostajia ja lisäävät jalostusketjun tehokkuutta.

VTT mallinsi SisuPUU-projektissa jalostus- ja toimitusketjun yksityiskohtaisesti metsästä sahatuotteeksi. Mallien avulla laskettiin, arvioitiin ja kehitettiin erilaisia prosessivaihtoehtoja. Mallinnus- ja simulointiohjelmistoilla voidaan kuvata puuraaka-aineen muuntuminen puunrungoista sahatavaraksi ja puukomponenteiksi taloudellista tulosta maksimoiden. Puukomponentit ovat erikoissahatavaraa, jolla on tarkasti määritellyt ominaisuudet. Puunkappale on esimerkiksi täysin oksaton tai siinä olevien oksien väli on tietyissä rajoissa. Puukomponentti on yleensä huomattavasti pienempi kuin sahatavara, jolla on myös tietyt laatuvaatimukset oksaisuuden suhteen.

Projektin tulokset osoittavat, että puumateriaalia ja sen laatuominaisuuksia voitaisiin hyödyntää tuotannossa huomattavasti nykyistä paremmin. Lisäksi tuotteiden laatua voidaan parantaa ja valmistaa standardituotteiden asemasta erikoistuotteita. Prosesseja muuttamalla voidaan päästä nykyistä huomattavasti parempaan taloudelliseen tulokseen. Puun arvosaantoa voidaan parantaa uusilla tuotantokonsepteilla 10–30 prosenttia.

Edistyksellinen tuotantoprosessi edellyttää puun ominaisuuksien tarkkaa mittaamista: esimerkiksi läpivalaisua, mittaustietojen tehokasta keräämistä ja muuntamista informaatioksi, jota voidaan käyttää liiketoiminnan ohjaamisessa. Mit-

taustietojen perusteella voidaan varhaisessa vaiheessa ohjata puuraaka-aineen sille sopivaan tuotantoprosessiin.

Puutavaran jalostajia sahat voivat palvella entistä paremmin liittämällä tuotteisiinsa palveluja. Asiakkaille voidaan esimerkiksi antaa ohjeet, miten ja mihin tarkoitukseen tiettyä toimituserää tulisi käyttää. Vielä pidemmälle viety palvelumuoto on mitata sahalla yksityiskohtaisesti puutavaran ominaisuudet, esimerkiksi oksien sijainti tai puun syykuviointi. Tätä tietoa jatkojalostaja voi käyttää hyväkseen omassa prosessissaan pilkkoessaan puutavaran tuotekomponenteiksi. Toisin sanoen jalostajan ei tarvitse mitata uudelleen puutavaran ominaisuuksia, kun tuottaja on siirtänyt hänelle ominaisuuskartan sähköisesti ja merkinnyt kappaleet esimerkiksi RFID-tunnisteilla.

Tekniikan hyödyntäminen lisää tuotannon joustavuutta, kun tuotanto voidaan vaihtaa bulkkituotteista erikoistuotteisiin tai päinvastoin markkinatilanteen mukaan.

Tuotannon tehokkuutta edistäviä muutoksia voidaan yleensä toteuttaa suhteellisen pienin kustannuksin. Tukkien lajittelun ja sahausasetteiden optimointi voidaan ottaa nykyisissä prosesseissa heti käyttöön ilman merkittäviä investointeja. VTT:n kehittämää WoodCIM[®]-mallijärjestelmää käytetään jo teollisuudessa ja siihen on lisätty useita uusia piirteitä Sisupuu-projektissa. Uudet sahausmenetelmät, esimerkiksi tehokas läpisahaus, voidaan ottaa käyttöön uusissa sahalainvestoinneissa. Puun sisäisen laadun hyvin tarkka mittaus edellyttää vielä lisätutkimuksia.

VTT:n toteuttamaan Sisupuu-projektiin osallistuivat vuosina 2006–2009 Stora Enso Timber, Metsäliitto Finforest, Koskisen Oy, Heinolan Sahakoneet Oy, John Deere Forestry Oy, Mikropuu Oy, Savcor Forest Oy ja WSAB Oy. Projektia ovat rahoittaneet Tekes, VTT ja projektin jäsenyritykset.

Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song, Jorma Fröblom & Timo Usenius. Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa [Flexible and adaptive production systems in sawmill industry]. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2544. 217 p.

Avainsanat sawmill process, production system, flexible, adaptive, value yield, measuring technology, modelling, simulation, optimisation

Abstract

The products and productivity of the sawmill industry can be improved through metrology, control systems and self-learning systems. In the SisuPUU project, VTT developed production systems enabling more efficient and flexible methods of using diverse timber grades to produce special timber with specific properties. By adding services to their products, sawmills can better cater to wood processing companies and enhance the efficiency of the wood processing chain.

In the SisuPUU project, VTT created detailed models of the wood processing and delivery chain from forest to timber. These models were used to calculate, evaluate and develop process options. Modelling and simulation software can be used to determine exactly how the wood raw material can progress from trees to timber and wooden components in the most economical way. Wooden components are special timber, i.e. timber with precisely specified properties. For example, a piece of wood used for such a purpose must be completely knotless, or have a knot incidence within specified limits. Also, wooden components are usually much smaller than pieces of timber; there are also specifications for knot incidence in ordinary timber.

The project results show that there is scope for considerably better exploitation of the wood material and its quality properties in production. Product quality could also be improved, and special products could be manufactured instead of standard ones. Process re-engineering can yield a considerably improved financial performance. In fact, the value yield of wood could be improved by 10 to 30 per cent with modern production methods.

An advanced production process requires careful measuring of the properties of wood, for example 'X-rays', the efficient collection of measurement data and their conversion into information that can be used for business management.

Measurement data enable the allocation of incoming wood raw material to a suitable production process at an early stage.

Sawmills could serve wood processing companies better by adding services to their products. For instance, they could issue their customers instructions as to how and for what purpose a particular delivery should be used. An even more advanced service would be to measure the properties of the outgoing timber in detail at the sawmill, for instance the precise location of knots or the grain pattern of the wood. The wood processing company could then use this information in its own production process as it cuts the timber up into wooden components. In other words, the wood processing company would not need to measure the timber all over again, as the producer would have tagged the timber with RFID tags, for instance, and provided the customer with a chart of the properties of the batch.

This technology improves production flexibility, as production lines can be reallocated from bulk products to special products and back again, as the market situation dictates.

Changes that improve production efficiency can generally be implemented at a relatively low cost. Indeed, optimisation of log sorting and sawing patterns could be introduced immediately in existing processes, without any substantial new investments. The WoodCIM[®] modelling system developed by VTT is already in use in the industry, and several new features have been added to it in the course of the SisUPUU project. New sawing methods, such as efficient through and through sawing, could be introduced when investments are made in new sawmill production lines. Precise measuring of the inner quality of wood still requires further research.

The participants of the SisUPUU project realised by VTT and conducted between 2006 and 2009 were Stora Enso Timber, Metsäliitto Finforest, Koskisen Oy, Heinolan Sahakoneet Oy, John Deere Forestry Oy, Mikropuu Oy, Savcor Forest Oy and WSAB Oy. The project was funded by Tekes, VTT and the participating companies.

Alkusanat

”Itseoppivat ja joustavat tuotantojärjestelmät puutuoteteollisuudessa – SisuPUU” -projekti toteutettiin VTT:ssä 2006–2009 osana Tekesin ”SISU 2010 – Uusi tuotantoajattelu” -teknologiaohjelmaa, jossa pyritään uuden suomalaisen tuotantoajattelun ja siihen liittyvän perusosaamisen kehittämiseen. Ohjelman tavoitteena on uusien tuotantomenetelmien ja valmistustekniikoiden kehittäminen tulevaisuuden tuotetehtaan kappaletavaroiden valmistukseen.

Projektin kokonaisbudjetti oli miljoona euroa ja sen rahoittivat Tekes, teollisuus ja VTT. Projektin rahoittavia yritysosapuolia olivat Stora Enso Timber, Metsäliitto Finforest, Koskisen Oy, Heinolan Sahakoneet Oy, Savcor Forest Oy, Mikropuu Oy, WSAB Oy ja John Deere Forestry Oy. Projektin johtoryhmään kuuluivat tutkimusta rahoittavien tahojen edustajat puheenjohtajana Jouko Silen Stora Enso Timber Oy:stä ja varapuheenjohtajana Juha Ropilo Heinolan Sahakoneet Oy:stä. Johtoryhmän jäsenet olivat Juha Vaajoensuu Tekes, Timo Pöljö Metsäliitto Finforest, Pekka Ulvas Koskisen Oy, Jari Jokinen, Savcor Forest Oy, Janne Kovanen Mikropuu Oy, Timo Kanerva WSAB Oy, Arto Peltomaa John Deere Forestry Oy ja Arto Usenius VTT.

Tutkimuksen projektipäällikkönä toimi tutkimusprofessori Arto Usenius ja se toteutettiin VTT:ssä useamman osaamiskeskuksen yhteistyönä. Seuraavat henkilöt osallistuivat projektin toteuttamiseen.

- Puuteknologia, puun jalostusketjujen hallinta, simulointi ja optimointi: Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song, Timo Usenius, Jorma Fröblom, Pieti Marjavaara ja Eero Halonen
- Tuotantoprosessit: Markku Hentula, Jari Montonen, Pekka Salonen, Paavo Voho, Jukka Väinölä ja Otso Väättäinen
- Signaalin kuvankäsittely: Jyrki Lötjönen
- Virtuaaliodellisuus: Timo Tossavainen ja Kari Raunio
- Funktionaalinen painaminen: Liisa Hakola ja Kim Eiroma
- RFID-teknologia: Janne Häkli.

Tutkimuksen ulkomaisia yhteistyökumppaneita ovat olleet muun muassa

- FVA Forest Research Institute Baden-Wuerttemberg, Dept. Forest Utilisation, Saksa, Johtaja Udo Sauter ja tutkija Rafael Baumgartner – tukkien mittaustekniikka
- BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna Department of Economics and Social Sciences Production and Logistics in Forest based Industry. Prof. Dr. Manfred Gronalt ja tutkija Thomas Greigeritsch – massaräätälöinti ja logistiikka
- FP Innovations Forintek ja University of British Columbia, prof. Tony Zhang, Kanada – arvoverkot
- University of Salzburg, Itävalta, prof. Alfred Petutschnigg – puun ominaisuuksien luokittelu ja kappaleiden merkintä
- Jonneum Research, Itävalta, Dr. Alfred Rinnhofer – puun mittaustekniikka
- Växjö universität, Ruotsi, professori Dick Sandberg ja tohtori Jimmy Johansson – säteissahaus
- Luleå tekniska universitet, professori Anders Grönlund – puun ominaisuuksien mittaaminen.

Tutkimuksen tekijät haluavat lämpimästi kiittää yhteistyötahoja ja erityisesti johtoryhmää aktiivisesta ja kannustavasta tutkimuksen suuntaamisesta ja ohjauksesta.

Espoo 30.5.2010

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	7
1. Johdanto	13
1.1 Tutkimuksen tavoitteet	14
1.2 Tutkimuksen rajaukset ja suoritusperiaatteet	15
2. Tulevaisuuden sahausjärjestelmät	16
2.1 Visio	16
2.2 Nykyisten järjestelmien haasteet	16
2.3 Tulevaisuuden sahausjärjestelmien kuvaus ja niille asetettavat vaatimukset	17
2.4 Joustavat järjestelmät	19
2.5 Itseoppivat järjestelmät	20
3. Tutkimusmenetelmät	22
3.1 Haastattelut ja tutkimusaiheiden priorisointi	22
3.1.1 Puun korjuu	22
3.1.2 Tukkien lajittelu sahalla	23
3.1.3 Tukkien sahaus ja integroitu jalostus	23
3.1.4 Kuivaus	23
3.1.5 Takaisinkytkentätiedon hyväksikäyttö	24
3.1.6 Informaatiojärjestelmät	25
3.2 Röntgenmittausmenetelmä	25
3.3 Laskennassa käytetyt virtuaalirungot ja tukit	27
3.3.1 VTT:n runkopankki ja puuraaka-ainetiedostot	28
3.3.2 Röntgenmittausmenetelmä	29
3.3.3 Virtuaalirungon generointi puun kasvumallilla	30
3.3.4 Virtuaalirunkojen maantieteellinen sijainti	30
3.3.5 Runkojen ominaisuuksien analysointimalli	32
4. WoodCIM [®] -jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä	35
4.1 WoodCIM [®] – sahauksen simulointiohjelmisto	36
4.1.1 Simuloinnin lähtöarvot	37
4.1.2 Simuloinnin tulostus ja ohjelman käyttö	40
4.2 Sahamalli	42
4.2.1 Sahamallin lähtöarvot	43
4.2.2 Sahamallin tulostus ja käyttö	43
4.3 Tukkien lajittelun optimointi	45
4.3.1 Lähtöarvot	46
4.3.2 Tulostus ja käyttö	46
4.4 INNOSIM – sahatavaratuotannon simulointimalli jalostusketjujen tarkasteluun	48

4.4.1	Lähtöarvot	48
4.4.2	Tulostus ja käyttö	50
4.5	Materiaalivirtauksen simulointimalli.....	51
4.5.1	Mallin lähtöarvot	52
4.5.2	Mallin tulostus ja käyttö	54
4.6	Tuotekertymän simulointimalli.....	54
4.6.1	Lähtöarvot ja simuloinnin suoritus.....	55
4.6.2	Tukkimäärään perustuva simulointi.....	59
4.6.3	Sahatavaran kertymään perustuva simulointi	60
4.6.4	Simulointi luokkia yhdistämällä.....	61
5.	Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet	64
5.1	Sahapuurunkojen katkonta	64
5.2	Tukkien lajittelu	65
5.3	Tukkien sahaus	67
5.4	Pelkan sahaus	69
5.5	Laudan särmäys	71
5.6	Sahatavaran tuorelajittelu	73
5.7	Rimoitus	74
5.8	Kuivaus	75
5.9	Sahatavaran loppulajittelu ja paketointi	75
6.	Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali.....	78
6.1	Sahapuurunkojen katkonta	78
6.1.1	Tuotelähtöinen sahapuurunkojen apteeraus.....	78
6.2	Tukkien mittaus ja dynaaminen lajittelu	80
6.2.1	Tukkien mittaus – röntgenmittaussuuntien lukumäärä	81
6.3	Tukkien dynaaminen lajittelu.....	89
6.3.1	Lajittelun perusteista	89
6.3.2	Tukkien lajittelu latvaläpimitan perusteella	93
6.3.3	Tukin muototekijöillä korjattu latvaläpimittalajittelu.....	94
6.3.4	Asetteiden mukainen lajittelu.....	96
6.3.5	Tuotteen mukainen lajittelu	96
6.3.6	Poimintalajittelu	97
6.3.7	Yhdistelmäajittelu	100
6.3.8	Online-tukkien mittaus ja lajittelu.....	100
6.4	Tukkilajittelijan lokeromäärän vaikutus sahaustulokseen	100
6.5	Sahausmenetelmät ja asetteet	111
6.5.1	Nelisahauksen ja läpisahauksen vertailu	111
6.6	Sahausraon taloudellinen merkitys sahauskassa.....	122
6.7	Mittatarkkuuden taloudellinen merkitys sahauskassa.....	125
6.8	Tukin pyöriksen optimointi.....	131
6.9	Pelkan suuntaus ja ohjaus.....	141
6.9.1	Saannon menetykset pelkan suuntauksessa ja ohjauksessa	142
6.9.2	Pelkan uudet suuntaustavat.....	144

6.10	Jatkuvatoiminen kuivaus.....	145
7.	Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja.....	149
7.1	Tulevaisuuden sahan perusprosessi.....	149
7.1.1	Puun hankinta.....	149
7.1.2	Hankinta runkoina.....	150
7.1.3	Tukkien lajittelu.....	150
7.1.4	Sahaus.....	152
7.1.5	Tuoreen sahatavaran analysointi ja lajittelu.....	152
7.1.6	Rimoitus.....	153
7.1.7	Kuivaus.....	153
7.1.8	Loppulajittelu, paketointi ja varastointi.....	153
7.2	Komponenttikonsepti – täsmäsahatavara.....	153
7.2.1	Komponenttien valmistus läpisaheista.....	154
7.2.2	Komponenttien valmistus laserilla.....	161
7.2.3	Komponenttien valmistus sahatavarasta.....	161
7.2.4	Komponenttituotanto verrattuna sahatavaratuotantoon.....	163
7.2.5	Esimerkki komponenttisahasta.....	165
7.2.6	Yhteenveto.....	166
7.3	Standardituotteita valmistava saha.....	166
7.4	Kappaleiden merkintään perustuva sahaustoiminnan ohjaus.....	169
7.4.1	Hukattu informaatio.....	169
7.4.2	Ohjauksen peruseräaatteet ja informaatiojärjestelmät.....	170
7.4.3	Merkintäteknikat.....	173
7.4.4	Merkinnän ja luvun hyödyntäminen sahatavaruudessa.....	180
7.4.5	Sahalla suoritettavat kokeet.....	185
7.5	Lajittele mattoman tukin sahaus – tuotekertymä.....	193
7.6	Leimikkovalinta ja apterauksen optimointi.....	204
7.6.1	Tuotelähtöinen sahapuurunkojen apteraus.....	205
7.7	Jalostusketjun kokonaisvaltainen CIM-konsepti.....	206
8.	Ketjut nykyisistä prosesseista kohti tulevaisuuden prosesseja.....	208
9.	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	210
10.	Yhteenveto.....	212
	Kirjallisuutta.....	216
	Liitteet	

1. Johdanto

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 toisiinsa. 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 liitetyllä informaatiolla voitaisiin parantaa asiakaspalvelua huomattavasti.

Toiminnan ohjaus voidaan pelkistetysti jakaa kahteen tasoon: suunnittelutasoon ja ohjaustasoon. Tuotannon suunnittelussa tehdään kokonaissuunnitelma tietylle kaudelle, jonka pituus voi vaihdella muutamasta päivästä muutamaaan 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 feedback-tietoa ei kerätä – eikä sitä myöskään käytetä. Feedback-tiedon saaminen on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää itseohjautuvuuden ja oppivuuden aikaansaamiseksi.

1. Johdanto

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 täsmäominaisuuksilla 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.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli

1. kehittää uusia edistyksellisiä ja tietointensiivisiä tuotantojärjestelmäkonsepteja, joissa systemaattisesti kerättävään tietoon ja sen käsittelyyn perustuen hallitaan nykyistä selvästi paremmin epähomogeenisen puumateriaalin käsittely asiakas- ja täsmätuotteiksi – komponenteiksi ja erikoissahatavaraksi – siten, että saavutetaan huomattava kannattavuuden ja joustavuuden lisäys sekä itseohjautuvuus ja -oppivuus nykyisiin tuotantolinjoihin verrattuna
2. kehittää menetelmiä, joilla nykyisissä prosesseissa voidaan saavuttaa merkittävä tuloksen parannus mittaustekniikan, integroitujen ohjausjärjestelmien ja itseoppivuuden avulla
3. luoda polkuja, joilla nykyisistä tuotantojärjestelmistä päästään tulevaisuuden joustaviin ja itseoppiviin järjestelmiin.

Tulevaisuuden tuotantomallien ja -strategioiden ääripäitä ovat asiakaskohtaisten, räätälöityjen tuotteiden ja toisaalta lyhyen läpimenoajan omaavien, bulkkimaisen standardituotteiden valmistaminen. Tutkimuksessa kehitettiin tuotantokonsepteja sekä em. tuotantomallien ja että niiden yhdistelmien toteuttamiseen.

Kehitettävien konseptien yhteisiksi tavoitteiksi, jotka eivät kuitenkaan välttämättä täyty yhtä aikaa, asetettiin

- tuotteen keskimääräisen läpimenoajan, metsästä asiakkaalle, lyheneminen yhteen vuorokauteen
- välivarastojen kiertonopeuden kasvattaminen kymmenkertaiseksi ja/tai välivarastojen pienentäminen kymmenenteen osaan nykyisestä ja
- tuotteiden keskihinnan nostaminen 20 prosentilla bulkkituotteisiin verrattuna.

1.2 Tutkimuksen rajaukset ja suoritusperiaatteet

Tutkimus käsitteli männyn ja kuusen sahausta, mutta tuloksia voidaan soveltaa myös koivun sahaukseen.

Tutkimus rajattiin siten, että se käsitteli tuotantojärjestelmiä, joissa voidaan valmistaa sahatavaraa, erikoissahatavaraa sekä puisia saha- tai höyläpintaisia komponentteja esimerkiksi huonekalu- ja rakennuspuusepänteollisuuden ja korjausrakentamisen tarpeisiin.

Tutkimuksessa asetettiin tavoitteita uusille tuotantojärjestelmille lyhyellä tähtämellä ja pidemmällä noin 10–15 vuoden tähtämellä. Uusia mahdollisia tuotantojärjestelmäkonsepteja ideoitiin. Kehitetyt konseptit mallinnettiin. Malleihin hankittiin tarvittavat lähtöarvotiedot. Mallilaskennoilla analysoitiin, miten eri konseptit täyttävät asetetut vaatimukset tuotantokyvyn, joustavuuden, itseoppi-
vuuden ja kannattavuuden suhteen.

2. Tulevaisuuden sahausjärjestelmät

2.1 Visio

Puutuoteteollisuuden tuotanto- ja jalostusjärjestelmät ovat kestäväen kehityksen mukaisia, ICT:n tukemia, integroituneita ja koko jalostusketjun kattavia ja ne mahdollistavat myös täsmätuotteiden nopean energiatehokkaan valmistuksen hyvällä arvo- ja tilavuussaannolla ilman lankeavia tuotteita ja välivarastoja.

2.2 Nykyisten järjestelmien haasteet

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

Sahateollisuuden tuotanto on tyypillistä kappaletavara tuotantoa. Nykyisen toimintatavan ja valmistuksen tyypillisiä piirteitä:

- Jalostus- ja toimitusketjua – metsästä asiakkaalle – ei tarkastella kokonaisuutena.
- Toimitus- ja valmistusaika voi olla 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 pe-livara on hyvin pientä.
- Tuotannossa korostetaan määriä ja kustannusten minimointia.
- Liiketoiminta ja tuotanto eivät ole millään tavoin itseoppivia. Takaisinky-tentätietoa 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 hävitetään. 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.

2.3 Tulevaisuuden sahausjärjestelmien kuvaus ja niille asetettavat vaatimukset

Sahausjärjestelmillä tulee päästä mahdollisimman hyvään arvosaantoon ja sahataran tekniseen laatuun, jonka kriteereitä ovat mittatarkkuus, muototarkkuus ja pinnansileys. Sahataran huono tekninen laatu merkitsee saannonmenetystä jatkojalostuksessa. Sahauksessa käytettävillä koneilla on pystyttävä valmistamaan myös mahdollisimman hyvää haketta.

Arvosaanto (sahaustulos euroina jaettuna tukin tilavuudella) määräytyy ratkaisevasti puun laadun ja apterauksen perusteella. Pääsahakoneilla saantoon vaikuttavat sahausrako, sahatavaroiden mitat, pinnansileys, sahausasete ja tukin ja pelkan suuntaus. Tukkiluokitus, sahausasetteen valinta ja tukin ja pelkan suuntaus on suoritettava siten, että saadaan mahdollisimman paljon hyvään hintaan markkinoitavissa olevia sahatuotteita.

Perinteisen sahauson ongelma on ”lankeavuus”. Tukin mennessä sahakoneeseen ei tiedetä varmuudella, minkä kokoisia ja laatuja kappaleita saadaan. Lankeavuus on saatava tulevaisuuden sahaushallintaan. Asiakkaiden tarpeiden huomioon ottaminen ja lankeavuuden hallinta edellyttävät joustavaa sahausta, jossa tiedonhallinta ja optimointi ovat hyvin keskeisiä elementtejä. Teknisiä edellytyksiä joustavan sahauson käyttöönottamiseksi on olemassa.

Tulevaisuuden sahauson vaatimukset kohdistuvat jalostusketjujen kokonaisvaltaiseen hallintaan sekä joustavuuden ja itseoppivuuden lisäämiseen. Tuotteen valmistus pitää alkaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa – viimeistään kuitenkin tukkien lajittelussa, mieluummin siinä vaiheessa kun rungot katkotaan tukeiksi. Järkeviä muutoksia pitää voida tehdä mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa. Integroitu myyntien, tuotannon ja puuraaka-aineen hankinta ovat avainasioita.

Tulevaisuuden sahauskonseptien suunnittelemiseksi laadittiin seuraava taulukko tekijöistä, jotka erottavat tulevaisuuden sahan nykyisistä, tyypillisistä sahoista.

2. Tulevaisuuden sahausjärjestelmät

Taulukko 1. Vaatimukset tulevaisuuden sahalle.

Nykytila	Tulevaisuus
Leimikkotiedot ovat puutteellisia.	Leimikoiden puuston määrällinen ja laadullinen sisältö tunnetaan (runkojen geometria ja laatu).
Tukkitiedot ovat lähinnä tukin geometriaan liittyviä. Röntgenmittaus on tulossa.	Tukki tunnetaan geometrialtaan ja laadullisilta ominaisuuksiltaan hyvin tarkasti.
Tukkien lajittelu perustuu lähinnä tukin läpimittaan ja pituuteen.	Tukkien lajittelu on tuote- ja asetepohjaista; uudelleen luokittelu on mahdollista.
Sahausasete on melko yksinkertainen.	Asete voi olla hyvinkin monimutkainen.
Syntyy sekundäärisiä ns. lankeavia, tuotteita, joilla on heikko kysyntä.	Lankeavia tuotteita ei synny.
Sahatavaran lajittelu on mekaanista luokittelua.	Lajittelu on lopputuote- ja asiakaskohtaista, kuivauksen ja prosessien ohjaamista, jalostukseen suuntaamista.
Mitataan samaa asiaa jalostusketjun eri kohdissa.	Suoritetaan yksi tarkka mittaus ja tieto siirretään myöhempiin prosessivaiheisiin merkinnän avulla. Tarkistusmittaukset ovat mahdollisia.
Energiaan liittyviä asioita ei painoteta.	Energia käytetään tehokkaasti. Sahat ovat energian suhteen omavaraisia.
Tuotteen käyttökohde määritetään vasta lajitteluvaiheessa.	Tiedetään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotantoa mikä tuote halutaan.
Korjaavat toimenpiteet ovat hyvin rajalliset.	Korjaavat toimenpiteet ovat mahdollisia koko jalostusketjussa.
Tuotteet ovat suhteellisen yksinkertaisia.	Monipuoliset tuotteet – samalla tuotteella useita käyttökohteita.
Oppivuus tapahtuu käytännössä ihmisen koulutuksen ja kokemuksen kautta.	Itseoppivat ja -ohjautuvat prosessit ja järjestelmät ohjaavat tuotantoa.
Valmistusjärjestelmissä ei juuri ole joustavuutta.	Valmistusjärjestelmät ovat joustavia.
Tuoteominaisuudet ovat kappaleen geometria ja laatuluokka.	Monipuoliset laatuominaisuudet. Fyysisen tuotteen lisäksi ICT-komponentti.
Varastot ja materiaalivirrat tiedetään melko karkealla tasolla.	Varastot ja kappalevirta tunnetaan yksityiskohtaisesti.
Ei ole kappalekohtaista seurantaa.	Kappalekohtainen tuotteiden seuranta.
Tietojärjestelmät korvaavat ihmisen työtä.	Integroidut, koko ketjun kattavat, tietojärjestelmät, jotka konfiguroituvat automaattisesti ja ovat itseoppivia.
Valmistetaan standardituotteita.	Siirrytään eteenpäin jalostusketjussa ja tuotetaan erityisesti komponenttituotteita.

Olellaisia elementtejä uusissa järjestelmissä ovat

1. informaatio- ja materiaalivirtojen hallinta ja optimointi suunnittelu- ja tuotantojärjestelmissä
2. älykkäät, joustavat ja itseoppivat mittaus-, tuotanto- ja logistiikkajärjestelmät
3. keskenään integroitavat tieto- ja ohjausjärjestelmät, jotka kattavat koko jalostus- ja toimitusketjun
4. takaisinkytkentätiedon luominen ja hyväksikäyttö itseoppivuuden ja itseohjautuvuuden aikaansaamiseksi
5. optimoidut mekaniikka- ja kuljetinratkaisut tuotantojärjestelmille ja soluille
6. täsmätuotteiden valmistus.

2.4 Joustavat järjestelmät

Tuotantojärjestelmällä voidaan tehdä erilaisia tuotteita standardisahatavarasta komponentteihin ja päinvastoin markkinatilanteen mukaan. Läpisahaus antaa tähän hyvät mahdollisuudet. Informaatiojärjestelmät ovat olennainen osa toimintakonseptia.

Joustavuuden tunnusmerkkejä:

- Samaa tuotantojärjestelmää tai sen osaa voidaan käyttää tehokkaasti ja taloudellisesti erilaisten tuotteiden – standardisahatavarasta täsmätuotteisiin – valmistamisessa.
- Valmistusprosessissa uudelleen käsittely on mahdollista.
- Päätöstä tai toimintatapaa voidaan muuttaa, mikäli syntyy uusi tilanne markkinoilla tai tilauskannassa tai syntyy uutta sellaista tietoa, jonka takia kannattaa muuttaa toimintaa.
- Voidaan käyttää erilaisia raaka-aineita – puulaji, laatu ja järeys.
- Erilaiset tuotantofilosofiat ovat mahdollisia.
- Järjestelmän osia voidaan järkevästi ottaa mukaan tai kytkeä pois.
- Ihmisiä voidaan joustavasti siirtää paikasta toiseen.
- Hyvät ihminen–tekniikka-liittymät (Human Technology Interface, HTI).
- Koneissa ja järjestelmissä voi olla muiden tekemiä osia – kokeilumahdollisuus.
- Mahdollisimman yleispätevä sisäänpääsy kaikkiin järjestelmiin.
- Etäohjaus on mahdollista.

2. Tulevaisuuden sahausjärjestelmät

Kullekin näistä tekijöistä voidaan määritellä painoarvo sen mukaan, miten tärkeäksi tekijä arvioidaan. Painoarvojen summaa voidaan pitää indeksinä, joka kuvaa tuotantojärjestelmän kokonaisjoustavuutta. Painoarvojen summa on indeksin maksimiarvo. Mikäli jokin järjestelmä ei toteuta tiettyä tekijää, sen painoarvo muuttuu nolllaksi.

2.5 Itseoppivat järjestelmät

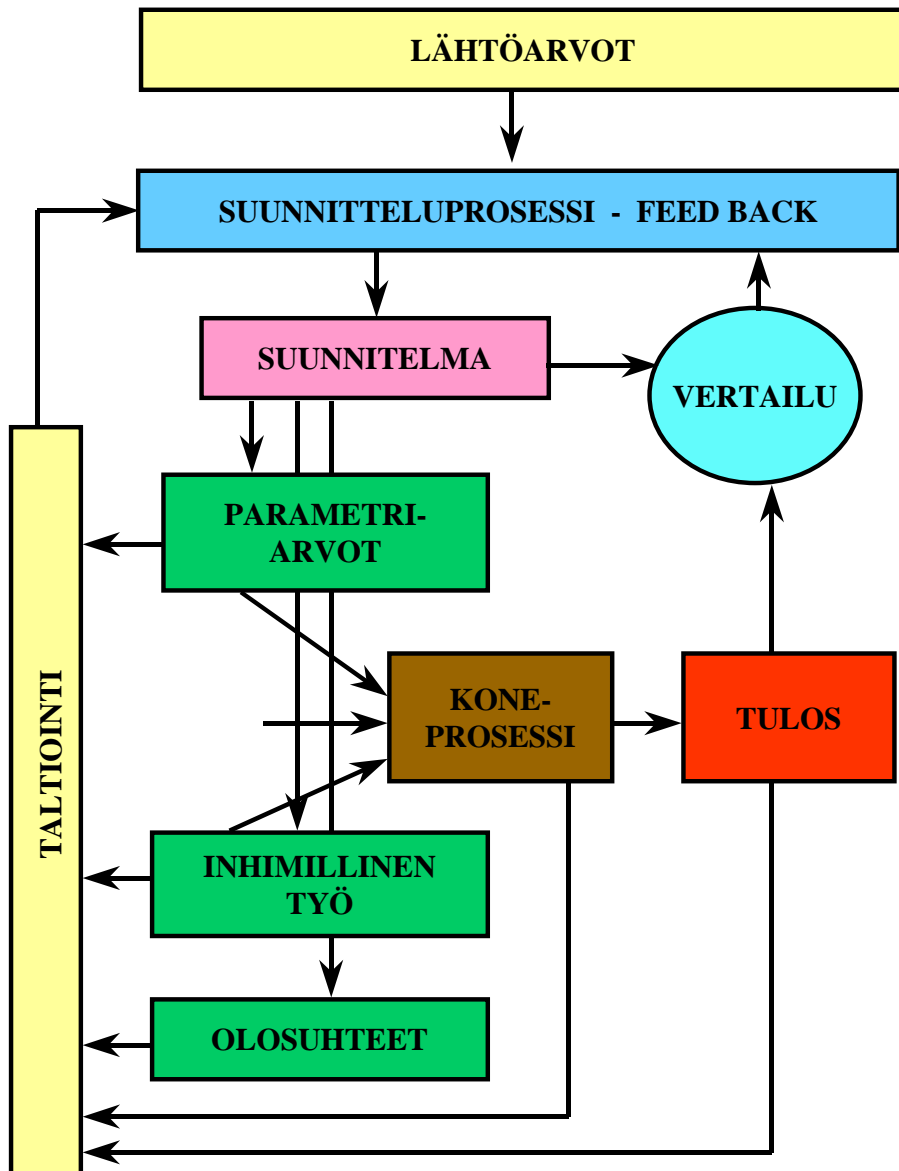
Itseoppivat järjestelmät perustuvat takaisinkytkentätiedon tuottamiseen. Järjestelmässä tehdään automaattisesti mitattujen parametrien perusteella suunnitelma. Lasketaan esimerkiksi sahausasete ja ennustetaan sillä saatava sahaustulos sahatavara dimensioittain ja laaduittain. Tämän jälkeen toteutetaan suunnitelma. Seuraavassa vaiheessa mitataan toteutunut tulos, jota verrataan suunnitelmaan. Vertailun tuloksena muutetaan prosessien ohjausparametrien arvoja, mikäli se toteutetaan tarpeelliseksi. (Kuva 1)

Itseoppivuudella tarkoitetaan menettelyä, jossa toimintaohje perustuu koko jalostusketjusta, prosessista tai sen osasta mitattuun, havaittuun, kerättyyn ja taltioiduun dataan ja sen älykkääseen käsittelyyn sekä suunnitelman ja toteutuneen tuloksen vertailun perusteella syntyneeseen tietoon.

Itseoppivassa järjestelmässä on olennaista takaisinkytkentätiedon muodostaminen vertaamalla toteutunutta tulosta suunniteltuun tulokseen ja tekemällä tarvittavat muutokset suunnitelmiin seuraavilla suunnittelukierroksilla.

Prosessi lähtee siitä, että on olemassa joukko lähtöarvotietoja liittyen puuraaka-aineeseen, tuotantoon tai tuotteisiin ja myyntiin. Lähtöarvotietojen perusteella prosessoidaan ja tuotetaan suunnitelma, joka taltioidaan tietokantaan. Suunnitelma sisältää tietoja prosessien parametriarvoista, ohjeita työskentelyyn ja olosuhteiden hallintaan.

Prosessit toimivat lähtöarvojen ja parametrien mukaan. Toiminnasta seuraa mitattavissa oleva tulos. Syntyneestä tulosta verrataan suunnitelmaan. Vertailun tulos voi olla, että toteutuma ja suunnitelma eivät eroa. Tällaisissa tapauksissa suunnittelu on onnistunut ja tarvetta toimenpiteisiin ei ole. Jos poikkeama on pieni, katsotaan muutama suunnittelukierros ja ryhdytään analysoimaan eron syitä ja tehdään tarvittavat muutokset. Jos ero on suuri, ryhdytään korjaaviin toimenpiteisiin heti.



Kuva 1. Periaatekuva itseoppivasta sahan tietojärjestelmästä.

3. Tutkimusmenetelmät

Sahateollisuuden tulevaisuuden tuotantojärjestelmät on hyvin laaja tutkimuskohde, koska se kattaa koko jalostusketjun metsästä tuotteeksi. Tutkimuksen aluksi suoritettiin tutkimuskohteiden tunnistaminen ja priorisointi johtoryhmän aktiivisella otteella.

Tutkimuksen päämenetelmänä oli mallinnus (luku 4), simulointi ja optimointi. Koska tulevaisuuden tuotantojärjestelmiä ei vielä ole olemassa, niillä ei voi tehdä empiiristä tutkimusta. Mallinnuksessa voitiin käyttää hyväksi VTT:n olemassa olevia ohjelmistoja ja mallinnustyökaluja projektissa kehitettyjen mallien lisäksi.

Mallinnuksen onnistumisen kannalta lähtöarvotiedot ovat ensiarvoisen tärkeitä. VTT:n röntgenmittausjärjestelmällä tuotettiin puuraaka-aineen ominaisuuksista tietoja. VTT:n tuottamia runkopankkeja käytettiin runsaasti simulointien lähtöarvoaineistona.

3.1 Haastattelut ja tutkimusaiheiden priorisointi

Tutkimuksen aluksi haastateltiin projektissa mukana olevien yritysten jäseniä tutkimuksen painopisteiden määrittämiseksi. Yritysten puolelta keskusteluihin osallistui yleensä kaksi asiantuntijaa. Keskustelujen perusteella laadittiin seuraava yhteenveto tärkeimmistä tutkimusaiheista jalostusketjun eri vaiheissa.

3.1.1 Puun korjuu

Puun korjuuseen liittyviksi tutkimusaiheiksi esitettiin

- leimikoiden ennakkomittausjärjestelmää
- kommunikointia sahan ja puunkorjuun välillä
- hakkuukoneen tuotelähtöistä apterauksen optimointia
- runkojen ominaisuuksien mittaamista harvesterilla
- tukkien yksilöllinen merkkäämistä metsässä.

3.1.2 Tukkien lajittelu sahalla

Tukkien lajitteluun liittyviksi tutkimusaiheiksi esitettiin

1. tukkien ominaisuuksien kuvaamista – tukkiparametrit
 - ulkoiset ominaisuudet
 - sisäiset ominaisuudet
2. tukkien ominaisuuksien mittaamista eri menetelmillä ja mittaustarkkuutta sekä vaikutusta sahauksen saantoon
 - 2D- ja 3D-mittarit tukin muodon mittauksessa
 - 1-, 2-, 3- ja 4-suuntaiset röntgenmittarit tukin mittauksessa
3. tukkien optimaalista lajittelua ja lajittelun vaikutusta sahauksen saantoon
 - perinteinen läpimittalajittelu
 - asetepohjainen lajittelu
 - tuotepohjainen lajittelu esimerkiksi lujuus- tai esteettistä lajittelua varten.

3.1.3 Tukkien sahaus ja integroitu jalostus

Tukkien sahaukseen liittyviksi tutkimusaiheiksi esitettiin

1. tulevaisuuden sahan (tuotelähtöinen) perusprosessia
2. prosesseja huonolaatuisen sahatavaran muuntamiseksi aihioiksi tai komponenteiksi
3. online-esijalostusta ja sen ohjausta
4. komponenttien valmistusjärjestelmiä
5. sivulautojen jalostusta: tärkeitä ominaisuuksia ovat oksaväli, tiheys, sydän/pintapuu
6. sahejakeiden erottamista mahdollisimman aikaisessa vaiheessa
7. kuivauserien muodostamista tuorelajittelussa uusia mittausmenetelmiä käyttäen

3.1.4 Kuivaus

Puun kuivaukseen liittyviksi tutkimusaiheiksi esitettiin

1. kuivauskuormien hallintaa sahatavaran ominaisuuksien (esim. dimensio, laatu, kosteusaste) perusteella; mittaukset ja kuivauskuormien anturointi
2. kuivausolosuhteiden hallintaa puutavaran ominaisuuksien perusteella

3. Tutkimusmenetelmät

3. pikakuivausta ja uusia kuivausmenetelmiä
4. kuivaustuloksen laadun mittausta.

3.1.5 Takaisinkytkentätiedon hyväksikäyttö

Takaisinkytkentätiedon tuottamiseen ja hyväksikäyttöön liittyviksi tutkimusaiheiksi esitettiin

1. tukkiluokasta ja asetteesta saatavan sahaustuloksen rekisteröintiä tuorelajittelijalla joko tukkikohtaisesti tai eräkohtaisesti. Tukkikohtainen seuranta antaa huomattavasti tarkemman tuloksen mutta edellyttää tukkien merkkäystä. Tulosta käytetään tuotannosuunnittelussa: asetusuunnittelussa ja tukkien lajittelun luokkarajojen määrittämisessä.
2. saman tukin mittaamista tukkien lajittelussa ja sahalinjalla. Lämpimittojen erotuksesta saadaan kuoren paksuus ja sen riippuvuus tukin ominaisuuksista. Tietoa voidaan käyttää kuorellisen tukin lajittelussa tarkempaan kuorikorjauksena.
3. tukin mittaamista metsässä, merkitsemistä ja mittaustulosten taltioimista tietokantaan. Sama tukki mitataan tukkien lajittelulaitoksella ja sahauslinjalla. Samanaikaisesti luetaan merkki. Merkinän avulla voidaan eri vaiheissa suoritettuja mittaustulokset yhdistää ja siten tuottaa tietoa osaprosessien toiminnan tehostamiseksi.
4. samaa menetelmää kuin edellisessä kohdassa mutta myös sahaustuloksen rekisteröintiä. Tulokseksi saadaan tietoa siitä, miten leimikko vaikuttaa sahauksen laatujaumaan ja saantoon.
5. tukin pyöritystarkkuuden parantamista. Se tapahtuu siten, että mitataan tukki välittömästi ennen sahausta ja/tai tukkien lajittelussa. Pelkasahausvaiheen jälkeen mitataan pelkan avatut sahapinnat, joista voidaan laskea ennuste siitä, miten paljon tukin suuntaus on poikennut tavoitteesta.
6. sahatavarakappaleen mittaamista tuorelajittelussa ennen tasausta tietyillä automaatin parametriarvoilla. Kappale merkitään ja taltioidaan tiedot sekä kappaleen katkaisukohdat ja laatu. Loppulajittelussa tuodaan merkinän perusteella tuorelajittelijan laatu loppulajittelijalle, joka voi käyttää hyväksi tätä tietoa kappaleen lopullista laatua määritellessään. Hän voi tehdä myös kokonaan toisenlaisen päätöksen. Näistä eroista oppiva systeemi voi sitten muuttaa tuorelajittelijan parametriarvoja.

7. edellisen kohdan järjestelmään tiedon liittämistä myös tukkien alkupe-
rystä ja kuivausolosuhteista. Tällöin saadaan ohjaustietoa kuivauksen
kehittämiseksi.

3.1.6 Informaatiojärjestelmät

Informaatiojärjestelmiin liittyviksi tutkimusaiheiksi esitettiin

1. nykyisten ja tarvittavien tietovirtojen määrittelyä prosessinohjausta varten
2. ylemmän tason informaatiojärjestelmän – metsästä tuotteeksi – kuvausta
(sisältö ja operaatiot)
3. prosessinohjausjärjestelmien (alempi taso) kuvausta
4. kommunikointiprotokollia ylemmän ja alemmien tasojen välillä, XML,
WoodX
5. kappaleiden merkintään perustuvaa ohjausjärjestelmää.

Tutkimusaiheiden priorisointia varten yrityksille lähetettiin kysely, joka osoitti, että vastauksissa oli varsin suuri hajonta, koska lähes kaikki aiheet saivat kannatusta. Eniten yksittäisiä ääniä sai aihe ”tulevaisuuden sahan perusprosessi”. Lähes samaan pääsivät ”huonolaatuisen sahatavaran arvon parantaminen”, ”kommunikointiprotokollat” ja ”tukin mittaus ja lajittelu”.

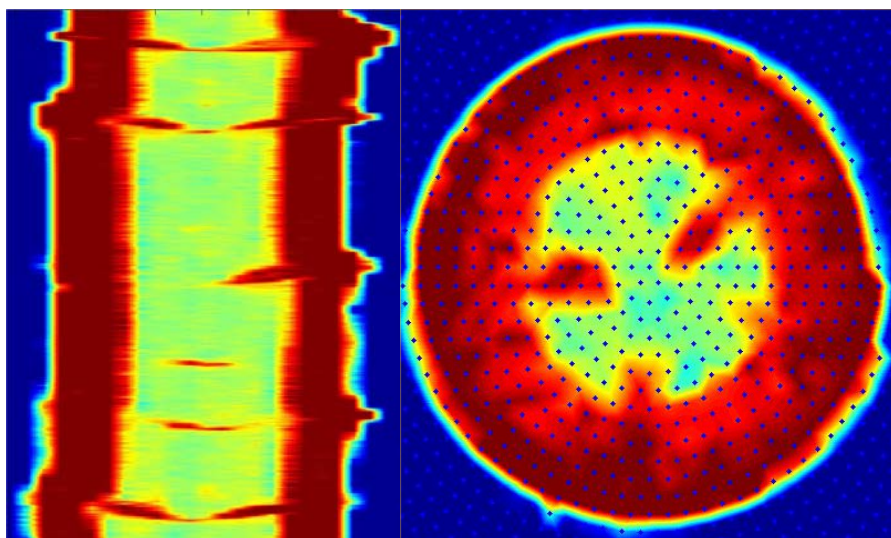
3.2 Röntgenmittausmenetelmä

Tukin sisäisten ominaisuuksien, kuten oksikkuuden, mittaaminen on ensiarvoisen tärkeää sahausuksen optimoinnissa. Tukin optimaalinen sahausasete ja tukin suuntaus määräytyvät sekä tukin ulkoisten että sisäisten ominaisuuksien perusteella. Tukin ja sahatavaran ominaisuuksien mittauksen tutkimiseksi VTT kehitti järjestelmän, joka muodostuu röntgen-, värikamera-, infrapuna- ja lasermittauksista (kuva 2) Järjestelmällä mitataan todellisia runkoja ja tukkeja, jotka edustavat tutkittavan alueen puuraaka-ainetta. Mittaustuloksista generoidaan matemaattisen tarkasti määriteltäviä virtuaalirunkoja kehitetyillä algoritmeilla tukin poikkileikkaus kerrallaan. Kun nämä poikkileikkaukset (kuva 3) integroidaan yhteen, saadaan muodostettua kolmiulotteinen, matemaattinen kuva tukista.

3. Tutkimusmenetelmät



Kuva 2. VTT:n multisensorimittausjärjestelmä.



Kuva 3. Röntgenmittauksista rekonstruoidut tukin poikkileikkaus ja pitkittäisleikkaus.

3.3 Laskennassa käytetyt virtuaalirungot ja tukit – VTT:n runkopankki

Virtuaalirungot ja tukit tarkoittavat matemaattisesti ja tarkasti määriteltyjä runkoja ja tukkeja, joita käytetään simulaattoreissa lähtöarvotietoina. Virtuaalirungot vastaavat täysin oikeita runkoja, koska ne on rekonstruoitu oikeiden tukkien tarkoista mittaustuloksista. Konstruoinnissa käytetään kolmea menetelmää:

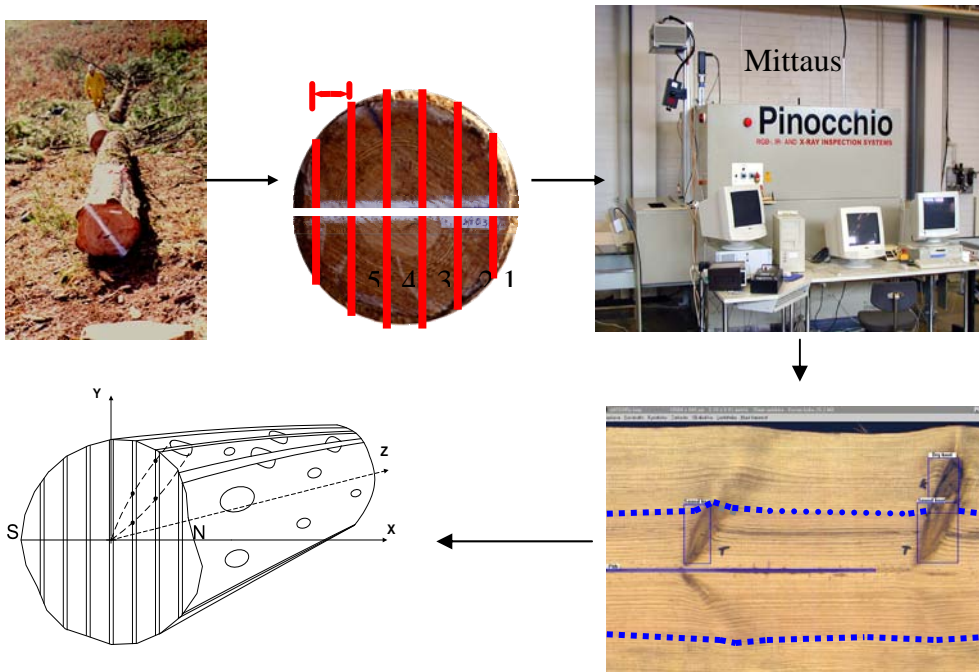
- läpisahaukseen perustuvaa, rikkovaa menetelmää
- röntgenmittauksiin perustuvaa sisäisen oksikkuuden määritysmenetelmää
- puun kasvumalliin perustuvaa menetelmää.

Läpisahaukseen perustuvassa menetelmässä on se, merkittävä etu läpisaheita voidaan myöhemmin tarkastella myös visuaalisesti ja niistä voidaan suorittaa erilaisia mittauksia konstruoitujen virtuaalirunkojen evaluoimiseksi. Läpisahausmenetelmän haittapuolena on se, että menetelmä on rikkova ja syntyvät kappaleet on vaikeasti sahattavissa myytäväksi tuotteiksi.

VTT:ssä on systemaattisesti kerätty saha- ja vaneripuurunkoihin liittyvää materiaalitietoutta simulointi- ja optimointimallien lähtöarvotiedoiksi. Tietojen perusteella on luotu mittava runkopankki, jossa on esitettyä todellisista rungoista mittaamalla generoituja matemaattisia runkoja – virtuaalirunkoja ja -tukkeja. Puunhankinnan ammattilaiset ovat valinneet mänty-, kuusi- ja koivurunkoja siten, että ne edustavat tietyn puuraaka-aineen hankinta-alueen puustoa mahdollisimman hyvin.

3. Tutkimusmenetelmät

3.3.1 Läpisahausmenetelmä



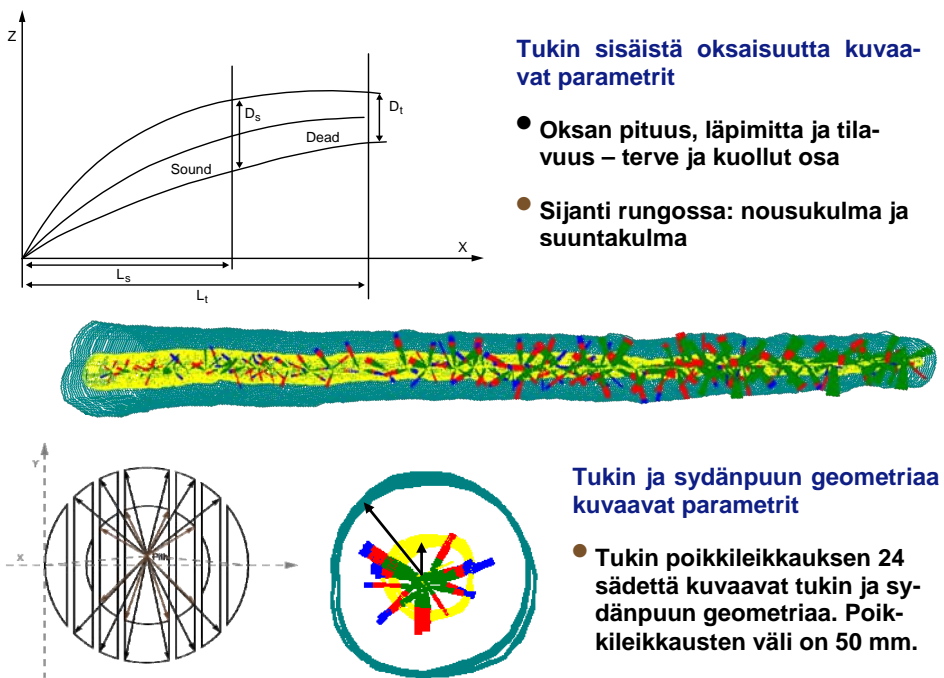
Kuva 4. Periaatekuva virtuaalirunkojen generoinnista läpisahausmenetelmällä.

Läpisahausmenetelmän (kuva 4) ensimmäisessä vaiheessa valitaan edustavat rungot, jotka katkotaan tukeiksi yleensä sahan normaaleja apteraussäätöjä noudattaen. Tukkien päihin merkitään viivat, jolloin ne ovat kohdistettavissa toisiinsa yhtenäisen rungon aikaansaamiseksi laskennassa. Tukit merkitään ja kuljetetaan sahalle, jossa ne läpisahaustaan ohuiksi noin 25 mm:n paksuiksi viipaleiksi siten, että kohdistusviiva muodostaa 90 asteen kulman sahanterien leikkuun kanssa.

Jokainen läpisahattu viipale mitattiin VTT:n multisensorijärjestelmään kuuluvalla värikameralla kuljettamalla viipaleet pituusakselinsa suunnassa vakaasti mitta-alueen ohi. Tuotettu RGB-kuva prosessoitiin, ja vian tunnistusalgoritmeilla haettiin kappaleen geometria sekä vikojen koordinaatit ja sijainti. Tuloksena saadaan kappaleen vikakartta kummaltakin lappeelta. Tämän vaiheen jälkeen suoritettiin kappaleen vikakartan oikeellisuuden tarkistaminen. Siinä kappaleen mitattua kuvaa näytetään näyttöruudulla. Samalla operaattori katsoo todellista

kappaletta. Jos hän huomaa eroja, vikakarttaa korjataan manuaalisesti oikeaksi. Näin saadaan määritettyä kappaleen oikea vikakartta.

Läpisahausmenetelmän viimeisessä vaiheessa liitetään matemaattisesti kaikki samasta tukista sahatut viipaleet yhteen. Tämä tapahtuu VTT:n kehittämällä algoritmeilla. Tulokseksi saadaan tukki tai runko matemaattisesti esitettynä kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa (kuvat 4 ja 5). Z-akseli on tukin pituuden suuntainen akseli. Tuotettu informaatio sisältää ytimen paikan (x, y) tukin pituuskoordinaatin funktiona. Tukin poikkileikkaukset, ulkopinta ja sydänpuuosuus, kuvataan 24 säteen avulla 2–5 cm:n välein. Oksat kuvataan kuvassa 5 esitetyllä tavalla.



Kuva 5. Virtuaalirunkojen ominaisuuksien kuvaustapa.

3.3.2 Röntgenmittausmenetelmä

Röntgenmittaukseen perustuvassa virtuaalirunkojen generointimenetelmässä valitut rungot ja tukit skannataan VTT:n röntgenillä siten, että mittauksen suuntakulmia on 24, jolloin kulmien väliksi tulee 15 astetta. Tukki pyöritetään auto-

3. Tutkimusmenetelmät

maattisesti haluttuihin mittausasentoihin. Skannauksen tulosten perusteella voidaan sitten algoritmeilla rekonstruoida tukit ja rungot matemaattiseen muotoon niin geometrian kuin oksikkuudenkin suhteen.

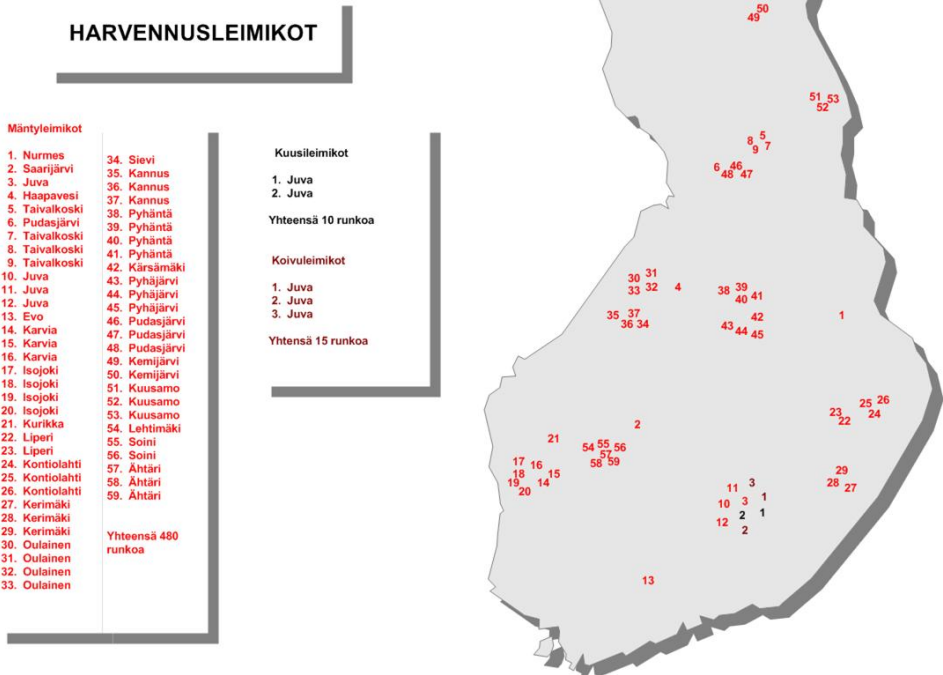
3.3.3 Virtuaalirungon generointi puun kasvumallilla

Professori Annikki Mäkelä Helsingin yliopistosta on kehittänyt puun kasvumallin PipeQual- ja edelleen RetroStem-ohjelmiston, jolla voidaan generoida puurunkoja. Ohjelmisto generoi rungot aivan samaan formaattiin kuin esimerkiksi läpisahausmenetelmään perustuvassa virtuaalirunkojen tuottamisessa käytetään.

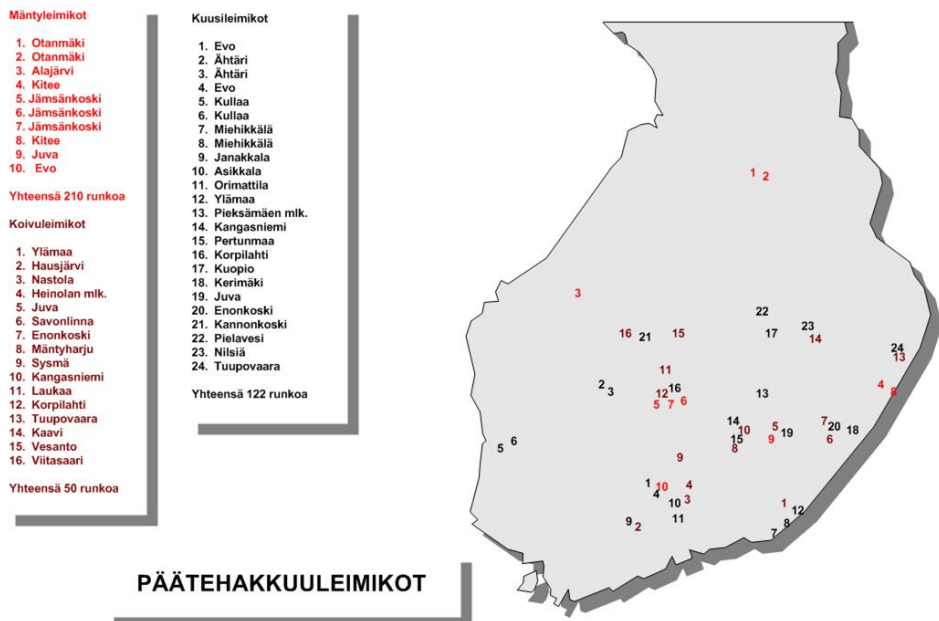
3.3.4 Virtuaalirunkojen maantieteellinen sijainti

Kuvissa 6 ja 7 esitetään läpisahausmenetelmällä muodostetun runkopankin runkojen maantieteellinen sijainti sekä päätehakkuu- että harvennusleimikkojen osalta. Puulajeina on mänty, kuusi ja koivu. Harvennusleimikoita (kuva 6) on yhteensä 64 kappaletta, joista mäntyä 59, kuusta 2 ja koivua 3. Vastaavasti runkomäärät ovat männyllä 480, kuusella 10 ja koivulla 15. Päätehakkuuleimikoita (kuva 7) on yhteensä 50 kappaletta, joista mäntyä 10, kuusta 24 ja koivua 16. Vastaavasti runkomäärät ovat männyllä 210, kuusella 122 ja koivulla 50.

3. Tutkimusmenetelmät



Kuva 6. Läpisausmenetelmällä rekonstruoidut harvennusleimikot.



Kuva 7. Läpisausmenetelmällä rekonstruoidut päätehakkuuleimikot.

3. Tutkimusmenetelmät

3.3.5 Runkojen ominaisuuksien analysointimalli

SisuPUU-projektissa kehitettiin analysointiohjelmisto, jolla voidaan tarkastella tutkimuksen laskennassa käytettyjen virtuaalirunkojen ja -tukkien ominaisuuksia. Virtuaalirunkojen generoimisperiaatteet on esitetty tämän julkaisun luvussa 3.3.1. Rungon geometria ja siinä olevien oksien määrä, laatu, sijainti ja suhteellinen osuus rungon tilavuudesta vaikuttavat ratkaisevasti rungon laatuun ja siten sahaustulokseen. Mitä vähemmän oksia rungossa on, sitä parempi on rungon laatu.

Rungon geometria jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäinen osa on rungon ulkoinen geometria, joka määrittelee tukin ulospäin havaittavan muodon. Toinen osa on sydänpuun geometria, joka määrittelee sydänpuun pinnan rungon sisällä. Runko sisältää aina oksia, jotka alkavat rungon ytimestä. Ohjelmassa käsitellään kolmenlaisia oksia. Oksat voivat olla tuoreita, kuivia tai lahoja. Yhdessä oksassa voi olla myös mainittujen oksalaatujen yhdistelmiä.

Ohjelmiston lähtöarvot

Simulointia varten tarvitaan lähtöarvotiedostot rungon ja sen sydänosan geometriasta, joka esitetään poikkileikkauksittain 50 mm:n välein. Jokainen poikkileikkaus kuvataan 15 asteen välein olevilla 24 vektorilla, jotka lähtevät rungon ytimestä.

Oksaisuus kuvataan rungon ytimestä lähtevien yksittäisten oksien joukkona. Oksa kuvataan ellipsin muotoisten poikkileikkausten joukkona 20 mm:n välein. Ellipsisistä määritellään sen keskipisteen korkeuskoordinaatti oksan alkupisteen suhteen sekä ellipsin ison ja pienen akselin pituudet. Myös oksan terveen osan, kuivan osan ja lahon osan pituudet vaakatasossa määritetään.

Ohjelmiston tulostustiedot

Ohjelmisto tulostaa muun muassa seuraavaa informaatiota:

- rungot: tilavuus, sydänpuun tilavuus ja osuus rungon tilavuudesta, rungon ja sydänpuun halkaisijoiden arvot rungon pituussuunnassa
- oksat: oksien kokonaistilavuus ja oksien osuus rungon tilavuudesta, terveiden, kuivien ja lahonneiden oksien tilavuudet, yksittäisten oksien mitat.

Kuvassa 8 esitetään esimerkki tulostusraportista ja kuvassa 9 on graafinen esitys rungon eri puuaineosien kumulatiivisesta kehittymisestä.

runko.out - Notepad

File Edit Format View Help

RUNKO - OKSA TULOKSET (@ VTT Thu Sep 11 09:50:01 EEST 2009)

PINTAPUUTIEDOSTOSTA : S080.GIN
 SYDÄNPUUTIEDOSTOSTA : H080.GIN
 OKSATIEDOSTOSTA : H080.KIN

PITUUS:
 RUNGON : 20.05 m
 SYDÄNOSA : 20.05 m

TILAVUUS:
 RUNKO : 957.45 dm³
 SYDÄNPUU : 125.24 dm³
 SYDÄNPUUN OSUUS RUNGOSTA : 13.08 %

OKSAT:
 OKSAMÄÄRÄ : 196 kappaletta

OKSIEN YHTEISTILAVUUS : 3.98 dm³
 TERVETILAVUUS : 3.01 dm³
 TERVEIDEN OKSIEN OSUUS : 75.7 %
 KUIVATILAVUUS : 0.67 dm³
 KUIVIEN OKSIEN OSUUS : 16.9 %
 MUIDEN OKSIEN TILAVUUS : 0.3 dm³
 MUIDEN OKSIEN OSUUS : 7.4 %

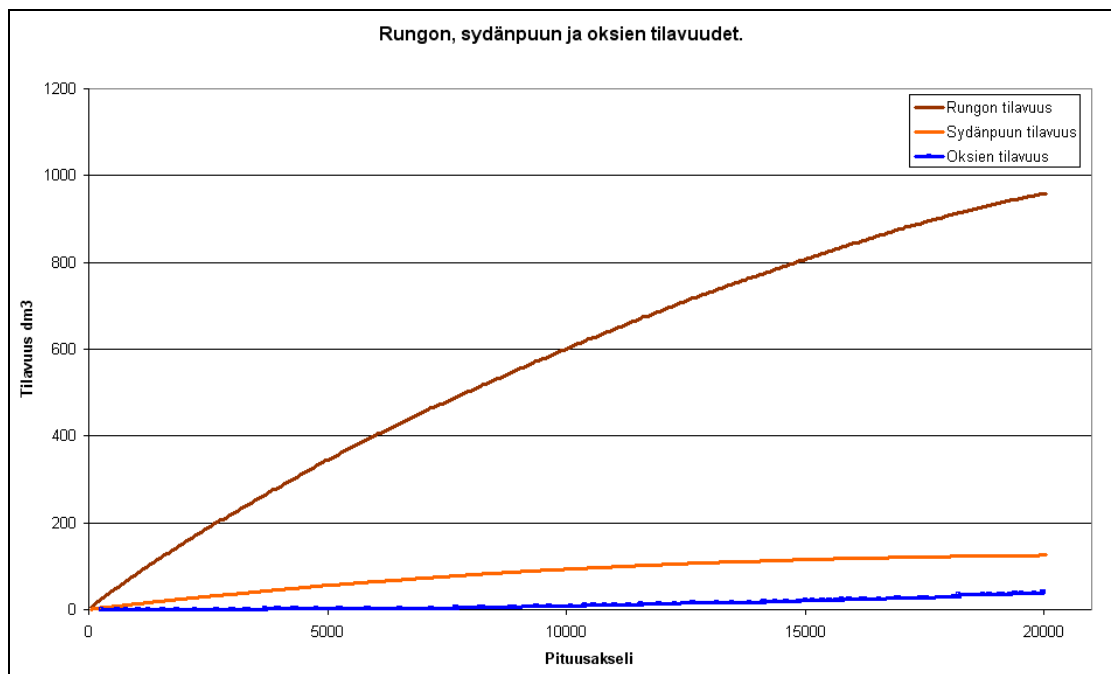
OKSIEN OSUUS RUNGOSTA : 0.42 %

Etäisyys tyvestä mm	Puun osa tilavuus dm ³	Kumulat. tilavuus dm ³	Kumulat. osuus %	Sydänpuun tilavuus dm ³	Kumulat. tilavuus dm ³	Sydänpuun osuus %
50	4.57	4.57	0.48	0.69	0.69	0.07
100	4.54	9.11	0.95	0.72	1.41	0.15
150	4.45	13.56	1.42	0.7	2.11	0.22
200	4.34	17.9	1.87	0.68	2.78	0.29
250	4.27	22.17	2.32	0.67	3.45	0.36
300	4.22	26.39	2.76	0.66	4.11	0.43
350	4.17	30.56	3.19	0.65	4.76	0.5
400	4.14	34.7	3.62	0.63	5.39	0.56
450	4.11	38.82	4.05	0.62	6.02	0.63
500	4.05	42.86	4.48	0.62	6.64	0.69
550	3.98	46.84	4.89	0.62	7.26	0.76
600	3.95	50.79	5.3	0.63	7.89	0.82
650	3.93	54.71	5.71	0.63	8.52	0.89
700	3.91	58.63	6.12	0.63	9.15	0.96
750	3.89	62.52	6.53	0.62	9.77	1.02
800	3.86	66.38	6.93	0.62	10.39	1.09
850	3.84	70.21	7.33	0.62	11.01	1.15
900	3.82	74.03	7.73	0.61	11.62	1.21
950	3.81	77.84	8.13	0.61	12.23	1.28

Kuva 8. Rungon analysointiohjelmiston tulostusesimerkki.

Kuvassa 8 esitetty runko on ollut 20,05 m pitkä ja sen kokonaistilavuus 957 litraa. Oksia on kaikkiaan ollut 198 kappaletta ja oksien kokonaistilavuus 4 litraa, mikä on 0,4 prosenttia koko rungon tilavuudesta. Sydänpuun tilavuus on 13 prosenttia koko rungon tilavuudesta.

3. Tutkimusmenetelmät



Kuva 9. Rungon tyvestä lasketut kumulatiiviset rungon osan, sydänpuun osan ja oksien tilavuudet.

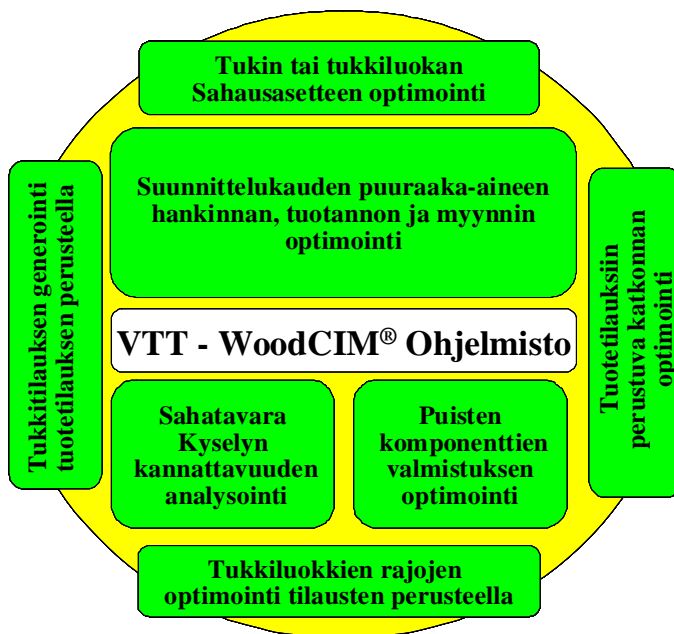
Kuvasta 9 nähdään, miten rungon tilavuus, sydänpuun tilavuus ja oksien tilavuus kumuloiduvat, kun alkukohtana käytetään rungon tyvileikkausta. Kaikkien muuttujien suhteen käyrät ovat degressiivisiä rungon muodon takia. Rungon läpimitta pienenee latvaan päin siirryttäessä

4. WoodCIM[®]-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Jalostusketjussa on paljon erilaisia toimintavaihtoehtoja, joiden valinnasta riippuu jalostusketjussa saavutettava taloudellinen tulos. Puuraaka-aineen tehokkaiseen ja kannattavaan käyttöön vaikuttavia seikkoja ovat muun muassa leimikkovalinta, runkojen valinta, sahapuurunkojen apteeraus ja katkonta, puun kuljetuksen ajoitus, tukkien lajittelu, asetevalinta, sahausprosessin ajoparametrit, sahauksen ja toimitusten ajoitus ja tuotevalikoima.

Kun vaihtoehtoisia toimintatapoja on hyvin paljon, ihmisen on mahdotonta pelkästään ajattelullaan päästä lähelle optimaalista taloudellista ratkaisua. Suunnittelussa tarvitaan todellisuutta kuvaavia tietokonemalleja ja -ohjelmia, joilla lasketaan nopeasti uusia vaihtoehtoja taloudellista tulosta maksimoiden. Malleista saadun informaation perusteella voidaan tehdä perusteltuja päätöksiä. Mallilaskennasta saatavat tulokset ovat sitä lähempänä todellista mitä paremmasta mallista on kysymys. Usein on kysymys myös lähtöarvotietojen saatavuudesta, oikeellisuudesta tai riittävydestä. Puutteet mallien lähtöarvoissa tai päätteily säännöissä näkyvät välittömästi tuloksista. Mallin tulos on yhtä tarkka kuin lähtöarvoina käytettävä tieto. Päätöksentekijän on opittava tulkitsemaan mallilaskennasta saatavaa informaatiota. Ihminen itse tekee aina lopulliset päätökset.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



Kuva 10. VTT:n kehittämä WoodCIM®-optimointijärjestelmä sahausaseteille.

VTT:ssä on kehitetty tutkimuksiin perustuen ja kiinteässä yhteistyössä teollisuuden kanssa kokonaisvaltainen WoodCIM®-järjestelmä (kuva 10) sahausasetteen simulointiin, sahauskeskityksen suunnitteluun, optimointiin ja ajoitukseen, tukkiluokkien rajojen optimointiin, myyntien suunnitteluun ja apterauksen optimointiin. Järjestelmä muodostuu seuraavista ohjelmista

- sahauskeskityksen simulointi
- sahauskeskityksen malli
- tukkiluokkarajojen optimointi
- puisten komponenttien valmistuksen optimointi
- sahatavaran kyselyjen analysointi
- apterauksen optimointi.

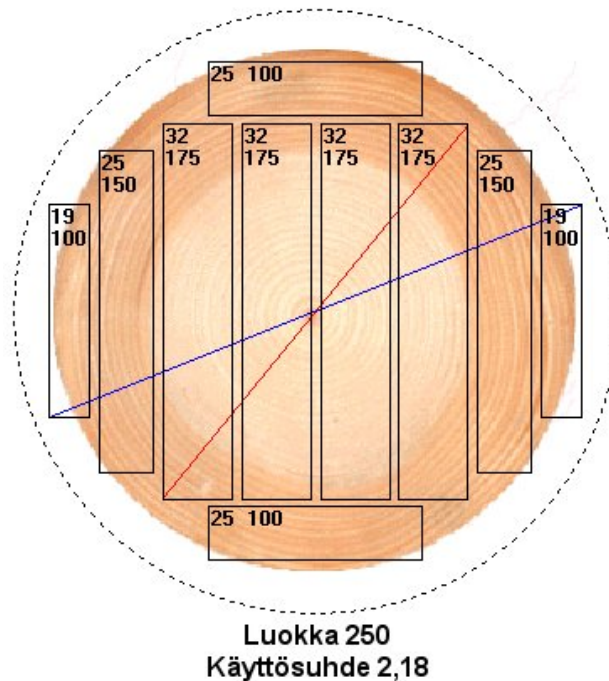
4.1 WoodCIM® – sahauskeskityksen simulointiohjelmisto

Simulointimallilla ennustetaan tukista tai tukkiluokasta määrättyllä aseteella saatavat sahatavaramäärät laadultaan sekä hake- ja purumäärät niin, että laskettu sahauskeskitystulos vastaa mahdollisimman hyvin käytännössä toteutuvaa sahausta (ku-

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

vat 11 ja 13). Tuotto- ja kustannustietojen perustella mallilla lasketaan tukille tai tukkiluokalle haluttu määrä parhaita asetevaihtoehtoja. Simuloinnilla voidaan etsiä myös tietyn sydäntavaradimension sahaukseen parhaiten soveltuvat tukkiluokat.

Simulointimalli perustuu tuotteiden, tukkiraaka-aineen ja sahausprosessin eri vaiheiden analysointiin ja tutkimuksista saatuun informaatioon. Simulointimallilla laskettujen saantoarvojen oikeellisuus on ratkaisevan tärkeää sahausksen suunnittelun onnistumisen kannalta. Simulointimallilla laskettu sahaustuloksen ennuste muodostaa perustan kaikelle muulle suunnittelulle, esimerkiksi kausittaisille sahausohjelmille ja tukkiluokkarajojen määräämiselle.



Kuva 11. Sahauksen simuloinnissa ennustetaan määrättyllä asetteella, sahanterien asetuksella, saatava sahaustulos dimensioittain ja laaduittain.

4.1.1 Simuloinnin lähtöarvot

Ohjelmistot tarvitsevat lähtöarvotietoja myyntitilanteesta, sahausprosessista, puuraaka-aineen ominaisuuksista jne. Lähtöarvotiedot ovat aina sahalaitoskohtaisia. Saantoarvojen ja laatu jakaumien selvittämiseksi saattaa olla tarkoituk-

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

senmukaista tehdä joitakin koesahauksia tai tilastollisia analyysyjä. Lähtöarvojen määrittämisessä voidaan käyttää olemassa olevia sahaustiedostoja, esimerkiksi VTT:n tukkipankit (luku 3.3.4).

Sahatavaroiden mitat ja sahausraot

Sahatavaran mitat ja sahausrako vaikuttavat olennaisesti sahauksen tilavuussaan-
toon. Keskeisiä tietoja näistä ovat

- sahatavaroiden nimellimitat ja niitä vastaavat tuoremitat sahakoneittain, mahdollisesti myös raaka-aineen hankinta-alueittain
- sahausraot (sahakonekohtaisia).

Sivulautamallit

Sivulautamallit muodostuvat sahatavaran sallituista paksuuksista ja niiden kom-
binaatioista sahakoneittain (kuva 12). Määriteltäviä tietoja ovat

- käytettävät sivulautamallivaihtoehdot
- profilointia käytettäessä myös sallitut leveysvaihtoehdot ja rajoitukset leveyksien kombinaatioille teräväleittäin.

Sahan käyttämä tukkiluokitus ja tukkien ominaisuudet

Tuotantokyvyn maksimoimiseksi pohjoismaisessa sahauksessa tukit lajitellaan
tukkiluokkiin. Simulointeja varten määritellään tukkien ominaisuudet ja luoki-
tustapa.

- Simuloinnissa käytetään samaa tukkiluokitusta, jota saha käyttää nor-
maalissa tuotannossaan. Perinteinen tukkien luokitus perustuu tukin lat-
valäpimitaan.
- Yksittäinen tukki kuvataan simulointiohjelmassa latvaläpimitan, pituu-
den, kartiokkuuden, lenkouden, soikeuden ja laadun perusteella. Yleensä
nämä tiedot saadaan sahan tukin mittausjärjestelmästä.
- Simulointimallissa tukkiluokka kuvataan yksittäisten tukkien, ns. ele-
menttitukkien, avulla. Elementtitukit edustavat painollaan tukkiluokan
tukkeja sahaustuloksen ennustamisessa.

Sahatavaralaadut ja sahatavaran laatujaakaumat

Arvosaannon ennustamisen kannalta sahatavaran laatujaakaumien hallinta simuloinnissa on olennaista.

- Lähtöarvotietoina tarvitaan sydäntavaran ja lautojen laadut ja niitä vastaavat vajasärmämääritteet paksuuden, leveyden ja pituuden suhteen.
- Sahatavaran laatujaakaumien määrittelyssä käytetään sahan tilastoja tai suoritetaan koesahauksia.
- Sivulautojen laatujaakaumien ennustamiseksi on kehitetty algoritmeja, jossa sahatavaran laadun tilastollinen todennäköisyys ennustetaan sen mukaan miten etäällä kappale sijaitsee tukin sydäimestä.

Sahatavaran ja sivutuotteiden hinnat

Sahatavaran, hakkeen ja purun hinnat muodostavat tärkeän osan simuloinnin lähtöarvoista.

- Tuotteiden hinnat annetaan dimensio- ja laatukohtaisesti.
- Sivutuotteiden – hakkeen, purun ja kuoren – hinnat annetaan joko kiinto- tai irtokuutiometriä kohti.

Raaka-ainekustannukset ja sahauskustannukset

Puuraaka-aineen hinta ja sahauksen kustannukset määräävät osaltaan sahauksen taloudellisen tuloksen.

- Tukin hinta määritellään sahalla läpimittaryhmittäin mahdollisesti myös laaduittain.
- Sahauskustannukset voidaan määritellä tukki- tai sahatavarakappaletta tai tukki- tai sahatavarakuutiometriä kohti.

Sahausasetteet

Sahausasete muodostuu sahanterien asemasta tukkiin ja pelkkaan nähden.

- Monipuolinen asetteiden kuvaus on erittäin tärkeää simuloinnin hyödyllisyyttä ajatellen.
- Aseterekisteri sisältää käytettävät tai mahdollisesti kysymykseen tulevat sahausasetteet. Sydäntavara-asete voidaan kuvata yksinkertaisimmillaan ex login (sydäntavarakappaleiden lukumäärä) ja sahatavaran paksuuden ja le-

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

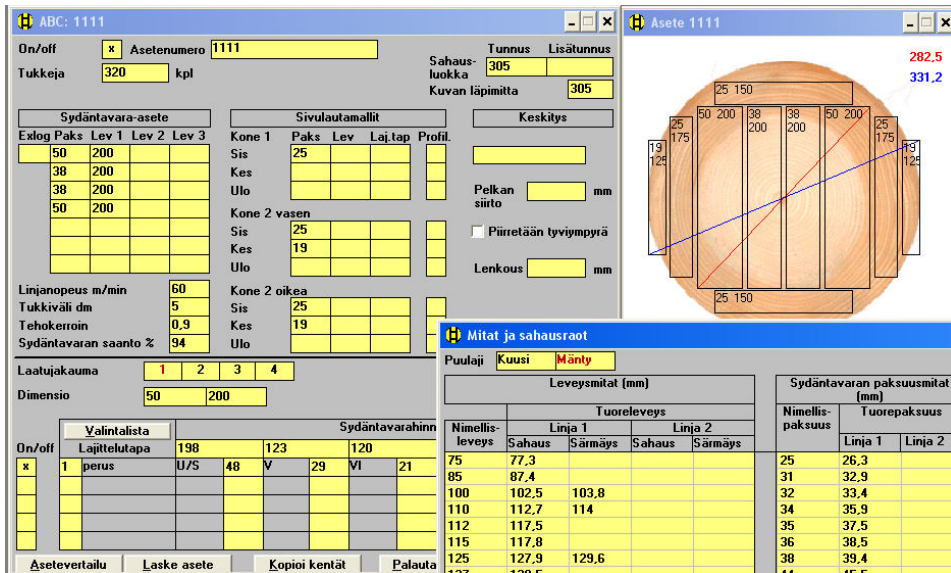
veyden avulla. Sydäntavara-asete voidaan määrittellä myös sahatavarak-
suuksien joukkona, leveyden ollessa sama kaikille kappaleille (kuva 12).

4.1.2 Simuloinnin tulostus ja ohjelman käyttö

Sahausten simuloinnin tulostusta voidaan muuttaa joustavasti tarpeen mukaan. Tulostus voidaan jakaa kahteen osaan: lähtöarvotietojen tulostukseen ja sahaus-
tuloksen ennusteeseen.

- Simulointimallin lähtöarvojen tulostusta on pidettävä tärkeänä ominai-
suutena, jotta tiedettäisiin, millä lähtöarvoilla laskenta on suoritettu.
- Simulointimallin tulostuksena saadaan haluttua yksikköä, esimerkiksi tu-
hatta tukkia kohti tai sahatavakuutiometriä kohti, sahatavaran, hakkeen,
purun ja kuoren tilavuudet sekä arvot. Sahatavaran osalta saadaan lisäksi
tulokset dimensioittain ja laaduittain. Aseteella saatavaa sahaustulosta
kuvaavista tunnusluvuista tulostetaan muun muassa käyttösuhde, sahata-
varan keskihinta, sydäntavaran ja lautojen keskihinnat (kuva 13).

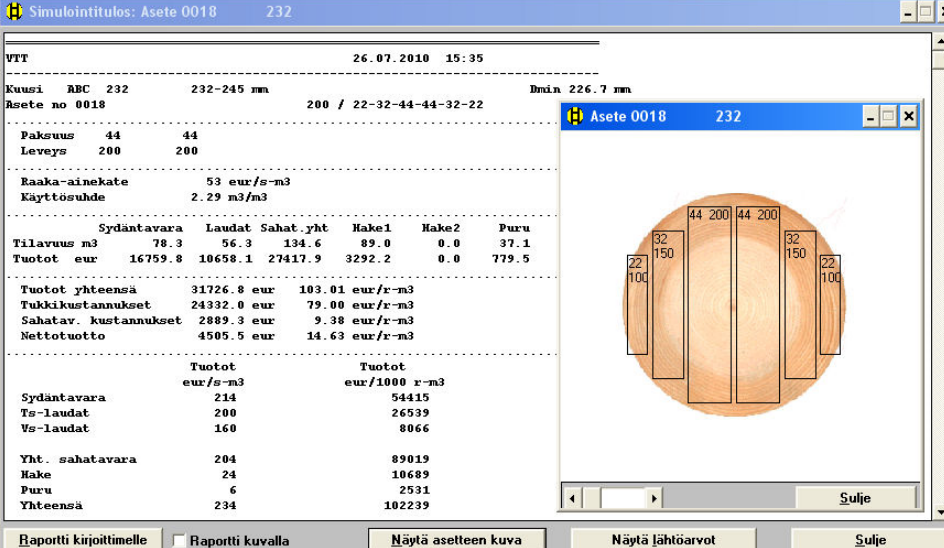
Ohjelmistoa on käytetty projektissa muun muassa tukkien lajittelun optimointi-
laskennassa, sahausasetteen optimoinnissa ja sahausraon merkityksen analysoin-
nissa.



Kuva 12. Malli simulointiohjelman lähtöarvoikkunasta ja tuloksesta.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Kuvassa 12 esitettävässä simulointitilanteessa on sahattu tukkiluokkaa, jonka latvaläpimittaluokan tunnus on 305 (mm). Sydäntavaran leveys on 200 mm ja sydäntavaran paksuudet 50 mm, 38 mm, 38 mm ja 50 mm. Pelkkasahan sivulaudat ovat 25 mm paksuja ja jakosahan laudat 25 ja 19 mm paksuja.



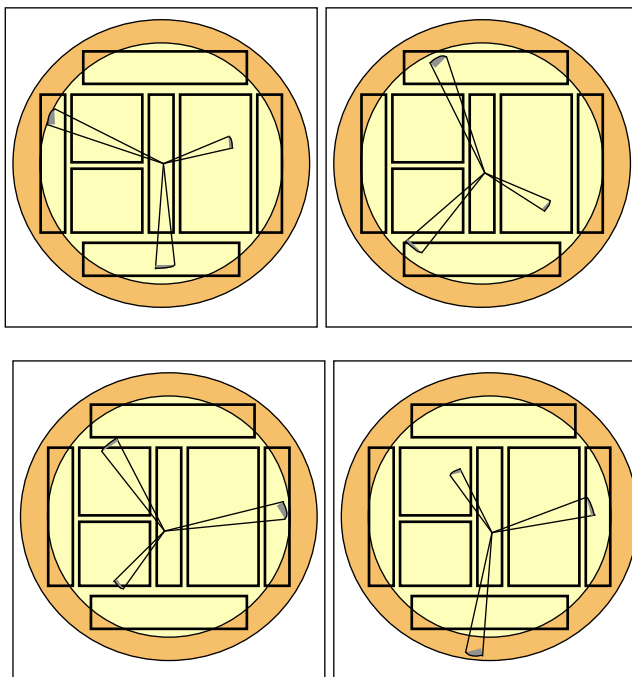
The screenshot shows a software window titled "Simulointitulos: Asete 0018 232". The main area displays a circular cross-section of a log with various dimensions and labels. To the left of the log, there is a table with simulation data. Below the log, there are buttons for "Raportti kirjoittimelle", "Raportti kuvalla", "Näytä asetteen kuva", "Näytä lähtöarvot", and "Sulje".

VTT 26.07.2010 15:35						
Kuusi	RBC	232	232-245 mm			Dm:n 226.7 mm
Asete no 0018 200 / 22-32-44-44-32-22						
Paksuus	44	44				
Leveys	200	200				
Raaka-ainekate	53 eur/s-m3					
Käyttösuhde	2.29 m3/m3					
	Sydäntavara	Laudat	Sahat.yht	Hake1	Hake2	Puru
Tilavuus	m3	78.3	56.3	134.6	89.0	0.0
Tuotot	eur	16759.8	10658.1	27417.9	3292.2	0.0
						779.5
Tuotot yhteensä		31726.8 eur	103.01 eur/r-m3			
Tukkikustannukset		24332.0 eur	79.00 eur/r-m3			
Sahatav. kustannukset		2889.3 eur	9.38 eur/r-m3			
Nettotuotto		4505.5 eur	14.63 eur/r-m3			
	Tuotot		Tuotot			
	eur/s-m3		eur/1000 r-m3			
Sydäntavara	214		54415			
Ts-laudat	200		26539			
Vs-laudat	160		8066			
Yht. sahatavara	204		89019			
Hake	24		10689			
Puru	6		2531			
Yhteensä	234		102239			

Kuva 13. Esimerkki tukkiluokan asetteen simulointituloksesta.

Kuvassa 13 esitetään hyvin yksityiskohtainen ennuste sahaustuloksesta simuloinnista, jossa 220 mm:n nimellistä tukkiluokkaa on sahattu sydäntavara-asetteella 2 kpl x 44 mm x 200 mm. Sydäntavaraa saadaan 78,3 m³ Sydäntavara-rasta saatava keskihinta on 214 €/m³ ja täysisärmäisten lautojen keskihinta on 200 €/m³.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



Kuva 14. Tukin poikkileikkaukseen piirretty sahasasete. Tukin pyöritysasemasta määrätty oksien sijoittuminen sahatavarakappaleisiin.

4.2 Sahamalli

Sahauksen simulointiohjelmilla voidaan laskea tukkiluokalle parhaiten soveltuvat asetteet määrättyjen lähtöarvojen (esim. mitat, hinnat, laadut jne.) vallitessa. Tukkiraaka-aineesta johtuen tai markkinointisyistä voidaan sahausessa käyttää tukkiluokan parhaita asetteita vain määrättyyn rajaan saakka tai samaa sydäntavaradimensiota on, suuren kysynnän vuoksi, sahattava useasta tukkiluokasta. Tarvitaan näin ollen laskentajärjestelmä, joka liittyy toisiinsa käytettävissä olevat tukit, varsinaisen sahauskeskuksen, tehdyt kaupat ja myyntimahdollisuudet. Tällaisesta laskentajärjestelmästä käytetään seuraavassa nimitystä sahamalli.

Sahamallissa kuvataan tukkien hankinnan, sahatavaran valmistuksen ja sahatavaran myynnin väliset riippuvuussuhteet matemaattisesti. Tavoitteena on laskennallisesti etsiä sahan taloudellisesti edullisin toimintatapa koskien määrättyä suunnittelukautta (ajanjaksoa).

Sahamalli on lineaariseen ohjelmointiin perustuva optimointimalli (kuva 15). Tämä tarkoittaa sitä, että sahan toiminta kuvataan lineaarisilla, ensimmäisen asteen yhtälöillä ja/tai epäyhtälöillä. Lisäksi vaihtoehtojen edullisuutta toisiinsa nähden kuvaava lauseke on ensimmäistä astetta.

4.2.1 Sahamallin lähtöarvot

Määrättyä suunnittelukautta koskien tarvitaan seuraavat tiedot:

- käytettävissä oleva tukkimäärä tukkiluokittain
- tukkiluokan sahauskassa käytettävät asetteet ja vastaavat sahatavara- ja sivutuotesaannot
- rajoitukset sahattaville dimensioille ja laaduille joko ala- tai ylärajoina tai molempina
- sahauskapasiteetin käyttö tukkiluokittain ja asetteittain sekä käytössä oleva kokonaiskapasiteetti
- tukeista ja sahauskasta aiheutuvat kustannukset
- myynti- tai siirtohinnat sahatavaralle, hakkeelle ja purulle.

4.2.2 Sahamallin tulostus ja käyttö

Sahamallin tulostuksena saadaan muun muassa

- sahattavien tukkien määrä tukkiluokittain
- määrättyllä asetteella sahattavien tukkien lukumäärä
- kauden aikana saatavan sahatavaran määrä dimensioittain ja laaduittain sekä hakkeen ja purun määrät.

Ns. varjohinta-analyysin perusteella saadaan selville, mitä kyseisessä suunnittelutilanteessa

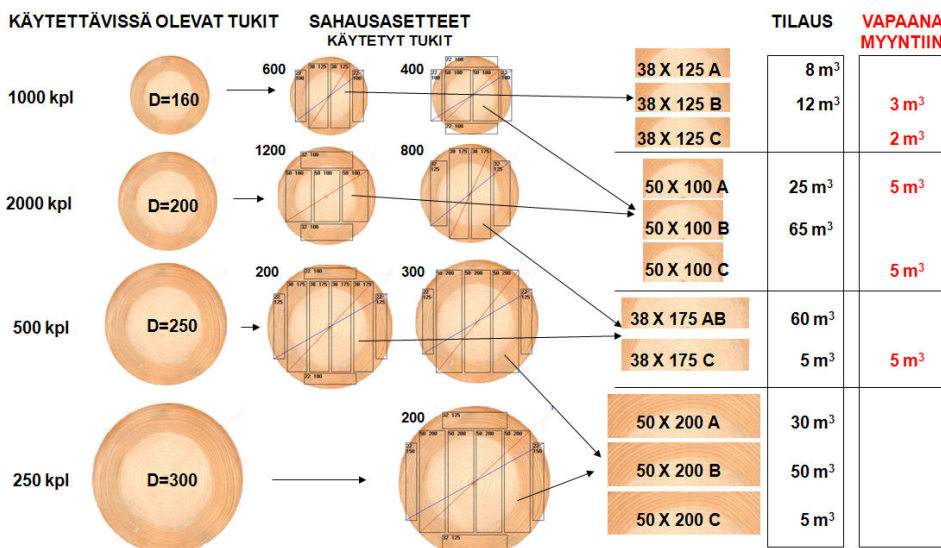
- lisätukeista kannattaisi maksaa
- lisäkapasiteetista kannattaisi maksaa
- merkitsisi jonkin myyntirajoituksen alitus tai ylitys.

Sahamallia ja tietokonetta käytettäessä voidaan helposti tehdä useita vaihtoehtoisia suunnitelmia. Sahamallilla työskentely on tyypillinen iteratiivinen prosessi, jossa lähtöarvojen muuntaminen ja laskenta vuorottelevat, kunnes on päädytty toteuttamiskelpoiseen ratkaisuun. Sahamallilla lasketaan määrätylelle tai usealle

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

peräkkäiselle ajanjaksolle, muun muassa kuinka monta tukkia (tukkilaaduittain ja sahauslinjoittain), sahataan eri asetteilla.

SAHAUSKAUDEN OPTIMOINTI



Kuva 15. Sahamalli on lineaariseen ohjelmointiin perustuva ohjelmisto, jolla yhdistetään optimaalisesti tilauskanta, käytettävissä olevat tukit ja sahausmahdollisuudet. Esimerkissä syntyy ylimääräistä vapaana myyntiin tuotantoa yhteensä 20 m³. Suurimmasta tukki-luokasta jää 50 tukkia sahaamatta, koska tilauksen täyttämiseen riittää 200 tukkia.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Sahamallin raportit																																																																																																																																																																																																																																																															
Kuusi	Perusjako	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tuloslaskelma	Lautojen tuotantosunnitelma	Siirtyvä sydäntavara																																																																																																																																																																																																																																																	
Vertailujako		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Saannot ja kapasiteetit	Vapaa sydäntavara	Siirtyvät laudat																																																																																																																																																																																																																																																	
Mänty	Perusjako	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sydäntavaran tuotanto	Vapaat laudat	Sahaus ehdotus tukkiluokittain																																																																																																																																																																																																																																																	
Vertailujako		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																																				
Sahausjako:		01.01.2010-30.06.2010										Kateoptimointi																																																																																																																																																																																																																																																			
TULOSLASKELMA																																																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">Peruslaskelma 28.12.2009 13:14</th> <th colspan="3">Vaihtoehtolaskelma 28.12.2009 13:32 Kateoptimointi</th> <th colspan="3">Erotus</th> </tr> <tr> <th></th> <th>€</th> <th>€/s-m3</th> <th>1</th> <th>€</th> <th>€/s-m3</th> <th>1</th> <th>€</th> <th colspan="3"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tuotantomäärä m3</td> <td>92160</td> <td></td> <td>1</td> <td>93611</td> <td></td> <td>1</td> <td>1451</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Sahatavara</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Sydäntavaratuotot</td> <td>9241101</td> <td>100</td> <td></td> <td>9747475</td> <td>104</td> <td></td> <td>506374</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>TS-lautatuotot</td> <td>3932483</td> <td>42</td> <td></td> <td>3643939</td> <td>38</td> <td></td> <td>-288544</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>WS-lautatuotot</td> <td>1421365</td> <td>15</td> <td></td> <td>1443243</td> <td>15</td> <td></td> <td>21878</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>14594950</td> <td>158</td> <td></td> <td>14834658</td> <td>158</td> <td></td> <td>239708</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Sivutuotetuotot</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Hake</td> <td>2367102</td> <td>25</td> <td></td> <td>2309662</td> <td>24</td> <td></td> <td>-57440</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Puru</td> <td>177136</td> <td>1</td> <td></td> <td>176849</td> <td>1</td> <td></td> <td>-286</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Kuori</td> <td>17031</td> <td>0</td> <td></td> <td>17031</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>2561270</td> <td>27</td> <td></td> <td>2503542</td> <td>26</td> <td></td> <td>-57727</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Tuotot yhteensä</td> <td>17156220</td> <td>186</td> <td></td> <td>17338200</td> <td>185</td> <td></td> <td>181980</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Kustannukset</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Raaka-ainekustannus</td> <td>12461471</td> <td>135</td> <td></td> <td>12461471</td> <td>133</td> <td></td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Muuttuvat tehdaskust.</td> <td>1105556</td> <td>11</td> <td></td> <td>1115578</td> <td>11</td> <td></td> <td>10022</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Kiinteät tehdaskust.</td> <td>1002186</td> <td>10</td> <td></td> <td>1002186</td> <td>10</td> <td></td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Poistot*</td> <td>802685</td> <td>8</td> <td></td> <td>802685</td> <td>8</td> <td></td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Korot*</td> <td>374862</td> <td>4</td> <td></td> <td>374862</td> <td>4</td> <td></td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Marck. ja hall. kust.</td> <td>261830</td> <td>2</td> <td></td> <td>261830</td> <td>2</td> <td></td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Käyttökate</td> <td>3589192</td> <td>38</td> <td></td> <td>3761150</td> <td>40</td> <td></td> <td>171958</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>																Peruslaskelma 28.12.2009 13:14			Vaihtoehtolaskelma 28.12.2009 13:32 Kateoptimointi			Erotus				€	€/s-m3	1	€	€/s-m3	1	€				Tuotantomäärä m3	92160		1	93611		1	1451				Sahatavara											Sydäntavaratuotot	9241101	100		9747475	104		506374				TS-lautatuotot	3932483	42		3643939	38		-288544				WS-lautatuotot	1421365	15		1443243	15		21878				Yhteensä	14594950	158		14834658	158		239708				Sivutuotetuotot											Hake	2367102	25		2309662	24		-57440				Puru	177136	1		176849	1		-286				Kuori	17031	0		17031	0		0				Yhteensä	2561270	27		2503542	26		-57727				Tuotot yhteensä	17156220	186		17338200	185		181980				Kustannukset											Raaka-ainekustannus	12461471	135		12461471	133		0				Muuttuvat tehdaskust.	1105556	11		1115578	11		10022				Kiinteät tehdaskust.	1002186	10		1002186	10		0				Poistot*	802685	8		802685	8		0				Korot*	374862	4		374862	4		0				Marck. ja hall. kust.	261830	2		261830	2		0				Käyttökate	3589192	38		3761150	40		171958			
	Peruslaskelma 28.12.2009 13:14			Vaihtoehtolaskelma 28.12.2009 13:32 Kateoptimointi			Erotus																																																																																																																																																																																																																																																								
	€	€/s-m3	1	€	€/s-m3	1	€																																																																																																																																																																																																																																																								
Tuotantomäärä m3	92160		1	93611		1	1451																																																																																																																																																																																																																																																								
Sahatavara																																																																																																																																																																																																																																																															
Sydäntavaratuotot	9241101	100		9747475	104		506374																																																																																																																																																																																																																																																								
TS-lautatuotot	3932483	42		3643939	38		-288544																																																																																																																																																																																																																																																								
WS-lautatuotot	1421365	15		1443243	15		21878																																																																																																																																																																																																																																																								
Yhteensä	14594950	158		14834658	158		239708																																																																																																																																																																																																																																																								
Sivutuotetuotot																																																																																																																																																																																																																																																															
Hake	2367102	25		2309662	24		-57440																																																																																																																																																																																																																																																								
Puru	177136	1		176849	1		-286																																																																																																																																																																																																																																																								
Kuori	17031	0		17031	0		0																																																																																																																																																																																																																																																								
Yhteensä	2561270	27		2503542	26		-57727																																																																																																																																																																																																																																																								
Tuotot yhteensä	17156220	186		17338200	185		181980																																																																																																																																																																																																																																																								
Kustannukset																																																																																																																																																																																																																																																															
Raaka-ainekustannus	12461471	135		12461471	133		0																																																																																																																																																																																																																																																								
Muuttuvat tehdaskust.	1105556	11		1115578	11		10022																																																																																																																																																																																																																																																								
Kiinteät tehdaskust.	1002186	10		1002186	10		0																																																																																																																																																																																																																																																								
Poistot*	802685	8		802685	8		0																																																																																																																																																																																																																																																								
Korot*	374862	4		374862	4		0																																																																																																																																																																																																																																																								
Marck. ja hall. kust.	261830	2		261830	2		0																																																																																																																																																																																																																																																								
Käyttökate	3589192	38		3761150	40		171958																																																																																																																																																																																																																																																								
Fontin koko 9											Rivejä sivulla 60		Kijoitimmelle		Sulje																																																																																																																																																																																																																																																

Kuva 16. Esimerkki sahamalliohjelmiston yhteenvetotulostuksesta.

4.3 Tukkien lajittelun optimointi

Suomen sahatöissä lajitellaan tukit yleisesti tukkiluokkiin, jotka sahataan yhdellä tai useammalla kiinteällä asetteella. Tavallisesti käytetään muun muassa latvaläpimittaluokitusta. Eräillä sahalaitoksilla on lajittelun kriteeriksi otettu latvaläpimitan lisäksi myös tukin kartiokkuus, lenkous, soikeus, pituus ja laatu.

Tukkien lajittelun optimointiohjelmalla määritetään optimaaliset tukkiluokkien rajat eri lajittelukriteerien suhteen. Lähtöarvotietoina lajittelun optimointi vaatii samat tiedot kuin sahauksen simulointi. Lisäksi pitää olla tiedossa, millaista myyntitarvetta varten luokitus tehdään. Mallin tuloksena saadaan haluttu määrä parhaita lajitteluvaihtoehtoja ja lisäksi jokaiselle tukkiluokalle parhaat sahausasetteet. Läpimittaluokituksen lisäksi ohjelmistoilla voidaan laskea kartiokkailta tukeilla tarvittava ”ylöstuumaus” ja lengoilla tukeilla tarvittava ”alastuumaus”.

4.3.1 Lähtöarvot

Lähtöarvotietoina lajittelun optimointi vaatii samat tiedot kuin sahauksen simulointi. Lisäksi pitää olla tiedossa, millaista myyntitarvetta varten luokitus tehdään. Mallin tuloksena saadaan haluttu määrä parhaita lajitteluvaihtoehtoja ja lisäksi jokaiselle tukkiluokalle parhaat sahausasetteet. Läpimittaluokituksen lisäksi ohjelmistoilla voidaan laskea kartiokkailla tukeilla tarvittava ylöstuumaus ja lengoilla tukeilla tarvittava alastuumaus.

Tulevaisuudessa tukkiluokitusta tullaan yhä enemmän muuttamaan myyntitilanteen mukaan. Asiakaslähtöinen toiminta ja pyrkimys saannon parantamiseen edellyttävät dynaamista tukien lajittelua.

Myyntien olennaisesti muuttuessa on aiheellista tarkistaa sahan tukkiluokituksen läpimittarajat. Tarkistus voidaan tehdä vain muutamassa tukkiluokassa tai kaikkia luokkarajoja koskien. Tarkistus voidaan tehdä esimerkiksi kerran vuodessa. Mikäli olosuhteet sallivat, luokkarajat voidaan määrittää useamminkin, vaikka jokaiselle sahausjaksolle erikseen.

4.3.2 Tulostus ja käyttö

Tukkiluokkien rajojen määrittäminen

Uusia luokkarajoja lähdetään yleensä hakemaan vanhoista luokkarajoista ja oletetusta suunnittelukauden tukkijakaumasta. Simuloinnilla lasketaan asetteiden saanto- ja katearvot jokaiselle yhden millimetrin sahausluokalle asetteen normaalilla läpimitta-alueella. Tukkiluokkarajat määräytyvät tärkeimpien asetteiden ja tuotteiden sahausmääristä.

Tuloksena saadaan optimaaliset tukkiluokkien rajat (kuva 17) ja haluttu määrä muita luokkarajoja taloudellisen tuoton mukaisessa paremmuusjärjestyksessä.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Tukkilajittelu: optimoinnin tulokset												
										Laskenta 05.10.2009 14:50		
Luokkia	6 kpl			Sydäntavaraa			23962 m3					
Tukkeja	275707 kpl			Lautoja			16111 m3		Ra-kate		K-S	
				Sahat yht.			40073 m3		7473281		55.0 2.23	
--Tukkiluokka--												
No	Alar	Ylär	Dmin	-----Asete-----			--Sivulaudat--		Sydäntav	Tukkeja	Ra-kate	K-S
				Exl	Pak	Lev	I-kone	II-kone	m3	kpl	€/m3	
1	220	230	(192)	3	47	110	32	22	2692	46590	57.9	2.35
2	231	251	(192)	3	47	110	32	22	5315	91797	39.4	2.47
2	231	251	(203)	5	29	109	32	22	784	13288	34.5	2.48
3	252	272	(223)	2	50	190	22	3222	2020	28490	54.6	2.07
3	252	272	(240)	5	32	150	32	22	705	7875	63.5	2.15
3	252	272	(241)	4	42	150	32	22	2020	21466	66.4	2.09
3	252	272	(246)	4	33	190	22	32	1319	14102	77.5	2.11
4	273	292	(240)	5	32	150	2222	32	614	6857	59.5	2.13
4	273	292	(248)	3	47	190	24	3222	2020	20200	56.7	2.08
4	273	292	(258)	4	42	175	32	32	1320	12021	64.6	2.14
5	293	322	(279)	4	40	210	32	2222	3747	29886	62.0	2.09
6	323	339	(279)	4	40	210	2222	2232	1403	11207	58.5	2.10
S y d ä n t a v a r a t u o t a n t o												
-----Asete-----			Tuotanto	Tavoite	Erutus-	Erutus+						
Exl	Pak	Lev	m3	m3	m3	m3						
3	47	110	8008	8008		0						
5	29	109	784	784		0						
2	50	190	2020	2020		0						
5	32	150	1320	1320		0						
4	42	150	2020	2020		0						
4	33	190	1319	1320	0							
3	47	190	2020	2020		0						
4	42	175	1320	1320		0						
4	40	210	5150	5700	-549							
Yhteensä			23962	24512	-549	0						
Raportti kirjoittimelle										Sulje		

Kuva 17. Esimerkki tukkiluokkien rajojen optimointiohjelmalla lasketuista luokkarajoista.

4.4 INNOSIM – sahatavaratuotannon simulointimalli jalostusketjujen tarkasteluun

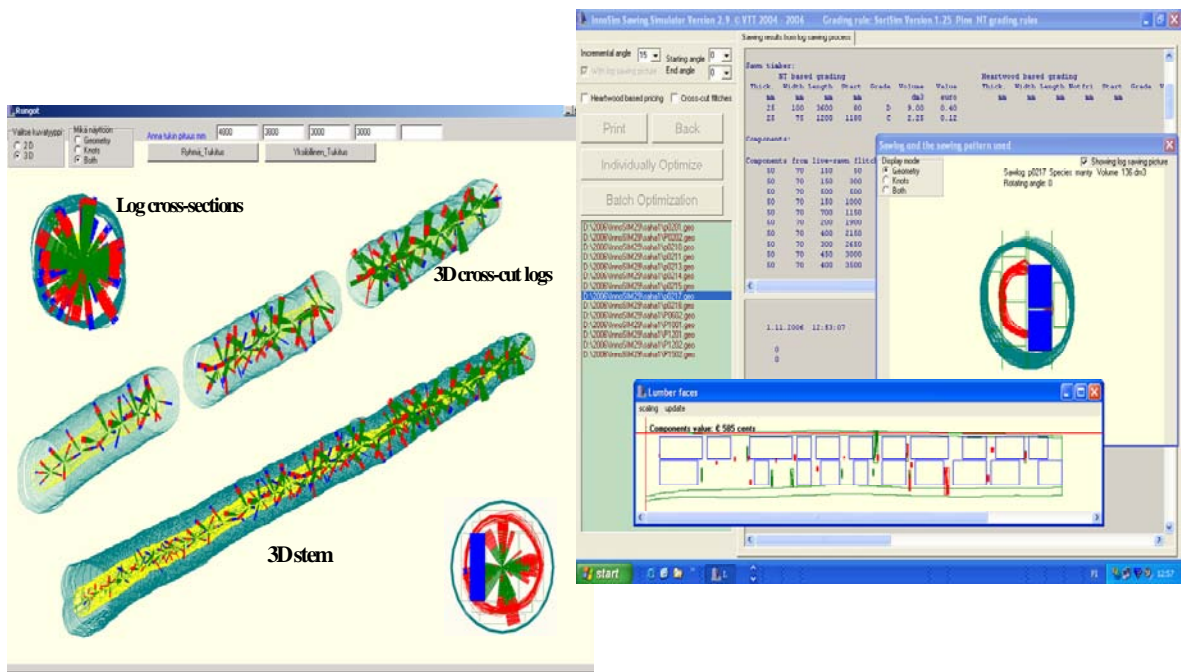
INNOSIM on tutkimustyökalu, jolla voidaan simuloida hyvin yksityiskohtaisesti kuvattujen runkojen ja tukkien sahausta ja jatkojalostusta aina komponentteihin saakka. Tukki kuvataan sekä geometrian että oksikkuuden suhteen tarkasti. Myös tuotteet määritellään hyvin tarkasti sekä sallitun vajasärmäisyyden että oksaisuuden suhteen. Sahausasetteena voidaan käyttää nelisahauksen tai läpisahauksen asetteita. Ohjelmassa voidaan käyttää myös erilaisia tukin pyörityskulkimia ja pelkan suuntausta tai käyräsahausta. Ohjelmassa kuvataan myös sahatavaran tai komponenttien särmäys ja tuotteiden katkontaoperaatiot. Simuloinnissa lasketaan tukki- ja asetetietojen perusteella sahauksessa syntyvän kappaleen tarkka geometrinen muoto sekä jokaisen yksittäisen oksan koko, laatu ja paikka sahatavarakappaleessa, kun sahanterä leikkaa tukkia. Näin saadaan luotua sahatavarakappaleen tai komponentin vikakartta kaikille kappaleen neljälle sivulle. Vikakartat muodostavat perustan ohjelmiston lajittelumoduulille, joka laaduttaa kappaleen laatustandardien mukaan tai hyvinkin monimutkaisten käyttäjän määrittelemien lajittelusääntöjen perusteella.

4.4.1 Lähtöarvot

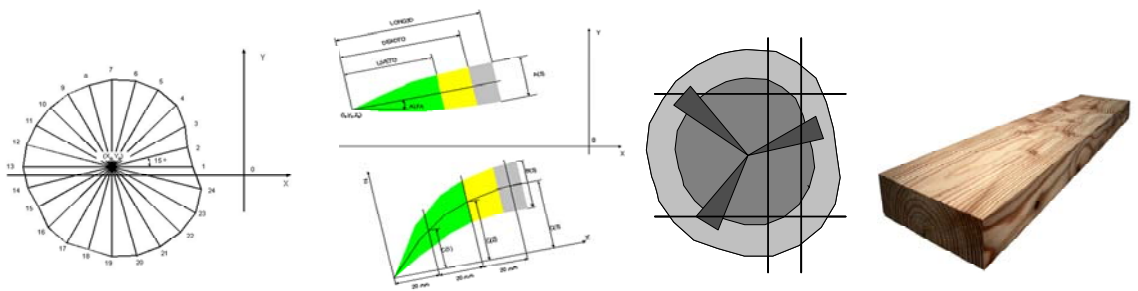
Puuraaka-aineen – tukkien ja runkojen – kuvaamiseksi tarvitaan seuraavat lähtöarvotiedot.

- Tukin rungon tai tukin malli muodostuu tukin geometrian, sisäisen oksikkuuden ja sydänpuun geometrian kuvauksesta (kuva 18).
- Tukin ja sydänpuun geometria kuvataan sarjana tukin poikkileikkauksia esimerkiksi 2 tai 5 cm:n välein lähtien tukin tyvileikkauksesta. Jokaisen poikkileikkauksen geometria kuvataan 24 tukin ytimeistä lähtevän säteen avulla (kuva 19).
- Yksittäisen oksan geometria kuvataan tarkasti 20 mm:n välein kuvassa 19 esitetyllä tavalla useamman parametrin avulla. Kuvaus sisältää myös informaation oksan pituudesta ja oksan laaturajoista.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



Kuva 18. Todellinen runko tai tukki muunnetaan algoritmeilla matemaattisesti kuvatuksi virtuaalitukiksi. Virtuaalitukki on määritelty ulkopinnan ja sydänpuun geometrian sekä yksittäisten oksien suhteen.



Kuva 19. Tukan poikkileikkaus kuvataan 24 vektorin (tukin säde ytimestä) avulla 15 asteen välein. Vektorit lähtevät tukin ytimestä, jonka koordinaatit on määritelty suorakulmaisessa koordinaatistossa. Kuvassa esitetään myös periaatteellinen kuvaus oksan parametreista. Kuvan oikeassa reunassa nähdään sahanterien puusta irrottaman saheen poikkileikkaus.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Sahatavaratuotteet ja komponentit kuvataan seuraavasti:

- Komponenttituotteet ovat käyttäjän määrittelemiä erikoissahatavaratuotteita, joilla on tarkat vaatimukset sekä dimension että laadun suhteen. Komponentit ovat erikoisdimensioita ja tavallisesti lyhyempiä kuin sahatavara. Laatuvaatimukset koskevat muun muassa oksaisuutta, vaa- jaasärmäisyyttä, vuosirenkaan suuntaa. Vaatimukset voivat olla erilaisia kappaleen eri sivuille ja sivujen vyöhykkeille.
- Sahatavaratuotteet määritellään ja lajitellaan visuaalisen ulkonäön tai lujuuden mukaan seuraaviin standardeihin perustuen: Pohjoismainen sahatavara, EN 1611-1 ja INSTA 142. Ohjelmassa voidaan myös määritellä täysin sahakohtaisia lajittelusääntöjä.
- Sahatavaratuotteita voidaan määritellä myös sydänpuuosuuden mukaan loppukäyttäjän vaatimusten perusteella. Simulaattorissa on käytössä myös optio, jossa voidaan tarkastella myös sahatavaratuotteen ”vaa- jaasärmäisyyttä” sydänpuun osalta.
- Sahatavaran, komponenttien, hakkeen ja purun hinnat.

Sahausprosessia koskien tarvitaan simuloinnissa muun muassa seuraavat tiedot:

- Sahausmenetelmä: nelisahaus, läpisahaus tai komponenttisahaus
- Sahausasetteet, joiden kannattavuutta halutaan tutkia
- Sahatavaran nimellimitat ja vastaavat tuoremitat sekä sahausraot
- Tukin pyörityskulma ja suuntaussahakoneisiin.

4.4.2 Tulostus ja käyttö

Simulointiajo voidaan suorittaa tukki kerrallaan tai tukkiryhmä yhtenä ajona. Tuloksena saadaan muun muassa seuraavat tiedot:

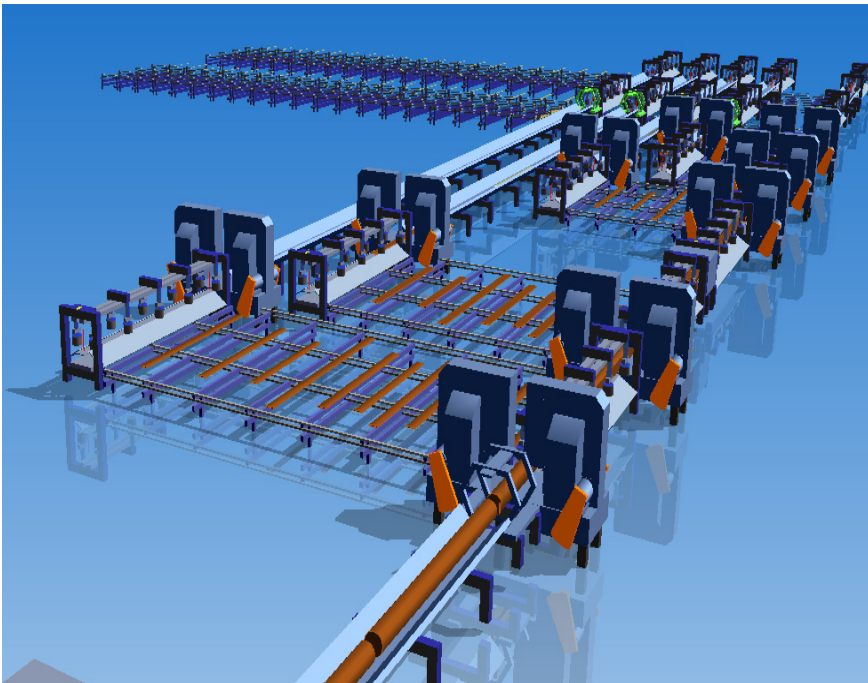
- tuotejakauma teräväleittäin: paksuus, leveys, pituus, laatuluokka, kappaleen katkaisukohdat, tilavuus ja arvo
- tuotejakauman kokonaistilavuus paksuuksittain, leveyksittain, laaduittain
- tuotteiden kokonaisarvo
- graafinen esitys tukeittain ja sahatavaroittain.

INNOSSIM-simulaattori kuvaa hyvin tarkasti rungot ja tukit, sahausprosessin ja sahatuotteet. Se jäljittelee siten mahdollisimman tarkasti, ilman yksinkertaistuksia, koko jalostustapahtumaa apterauksesta sahatavaran tai komponenttien lop-

pulajitteluun saakka ja antaa siten mahdollisuudet liiketoiminnan tarkasteluun. Ohjelmistoa voidaan käyttää hyvin monipuolisesti kun analysoidaan, mitkä jalostusketjun ja sahausprosessin tekijät vaikuttavat määrälliseen ja laadulliseen sahaustulokseen ja kannattavuuteen.

4.5 Materiaalivirtauksen simulointimalli

Sahaympäristö on monimutkainen puuvirtojen – tukkien, tuoreen sahatavaran ja valmiin sahatavaran – osalta. Virtojen hyvällä hallinnalla voidaan vaikuttaa olennaisesti saatavaan tuotokseen aikayksikköä kohti. SisUPUUsa kehitettiin simulointimalli, jolla voidaan tarkastella puuvirtoja ja siten paikallistaa pullonkauloja. Malli kehitettiin Visual Components Oy:n 3DCreate-ohjelmistotalustalla. Mallilla voidaan helposti rakentaa erityyppisiä sahauslinjoja. Olennainen ominaisuus simulointimallille on sen visuaalisuus: näyttöruudulla voidaan nähdä, miten tuotanto etenee. Kuvassa 20 on esimerkki sahausjärjestelmästä – tukin sahaan syötöstä dimensiolajitteluun saakka.



Kuva 20. Sahalinjan simulointimalli materiaalivirtojen tutkimista varten.

4.5.1 Mallin lähtöarvot

Mallille annetaan lähtöarvoina koneiden kapasiteetit, kuljettimien nopeudet ja häiriöajat prosessin eri vaiheissa. Mallin simulointiajossa käytettävä tukkija-kauma generoidaan satunnaislukugeneraattorilla halutusta tukkiloikan tukkija-kaumasta (latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus yms). VTT:n WoodCIM®-sahaussimulattorilla lasketaan kullekin tukille eri sahausvaiheissa syntyvät tuotteet. Taulukossa 2 on kuvattu muutaman tukin tiedot. Kussakin sahausprosessin vaiheessa tukista syntyvät jakeet (tuotteet) on kuvattu prosessissa siihen mennessä sahausessa tuotettuine ominaisuuksineen. Edelleen jakeiden jatkokäsittely on kuvattu samalla tavalla.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Taulukko 2. Sahaussimulaattorilla laskettu kolme tukin sahaustuloksen syöte virtausmallille.

SAHA- KONE	LÄHTÖ- TUOTE	TUOTE 1					TUOTE 2					TUOTE 3					TUOTE 4					TUOTE 5				
		NO	PAK	LEV	PIT	LA	NO	PAK	LEV	PIT	LA	NO	PAK	LEV	PIT	LA	NO	PAK	LEV	PIT	LA	NO	PAK	LEV	PIT	LA
1	TUKKI	S1	252		5200	S2	200				S3															
2	S1	S11	19			S12	HAKE																			
6	S11	S111	HAKE			S112	19	100	3300	4	S113	HAKE														
2	S3	S31	19			S32	HAKE																			
6	S31	S311	HAKE			S312	19	100	3600	5	S313	HAKE														
3	S2	S21	25			S22	150				S23	25														
4	S21	S211	HAKE			S212	25	125	5100	2	S213	HAKE														
4	S23	S231	HAKE			S232	25	125	4800	2	S233	HAKE														
7	S22	S221	HAKE			S222	25				S223	157	150													
8	S222	S2221	HAKE			S2222	25	125	5100	3	S2223	HAKE														
8	S224	S2241	HAKE			S2242	25	125	5100	2	S2243	HAKE														
5	S223	S2231	50	150	5100	1	S2232	44	150	5100	1	S2233	63	150	5100	1										
11			240		4600																					
1	TUKKI	S1				S2	200				S3															
2	S1	S11	19			S12	HAKE																			
6	S11	S111	HAKE			S112	19	100	3300	1	S113	HAKE														
2	S3	S31	19			S32	HAKE																			
6	S31	S311	HAKE			S312	19	100	3600	3	S313	HAKE														
3	S2	S21	25			S22	150				S23	25														
4	S21	S211	HAKE			S212	25	125	4500	2	S213	HAKE														
4	S23	S231	HAKE			S232	25	125	4500	1	S233	HAKE														
7	S22	S221	HAKE			S222	25				S223	157	150													
8	S222	S2221	HAKE			S2222	25	125	3900	3	S2223	HAKE														
8	S224	S2241	HAKE			S2242	25	125	4500	2	S2243	HAKE														
5	S223	S2231	50	150	4200	1	S2232	44	150	4500	1	S2233	63	150	4200	2										
12			250		3700																					
1	TUKKI	S1	HAKE			S2	25				S3	150														
4	S2	S21	HAKE			S22	25	100	3300	6	S23	HAKE														
4	S4	S41	HAKE			S42	25	100	3600	5	S43	HAKE														
7	S3	S31	HAKE			S32	25				S33	157	150													
8	S32	S321	HAKE			S322	25	100	3300	3	S323	HAKE														
8	S34	S341	HAKE			S342	25	100	3300	2	S343	HAKE														
5	S33	S331	50	150	3600	1	S332	44	150	3600	2	S333	63	150	3300	1										

4.5.2 Mallin tulostus ja käyttö

Mallin tuloksena saadaan muun muassa seuraavat tiedot:

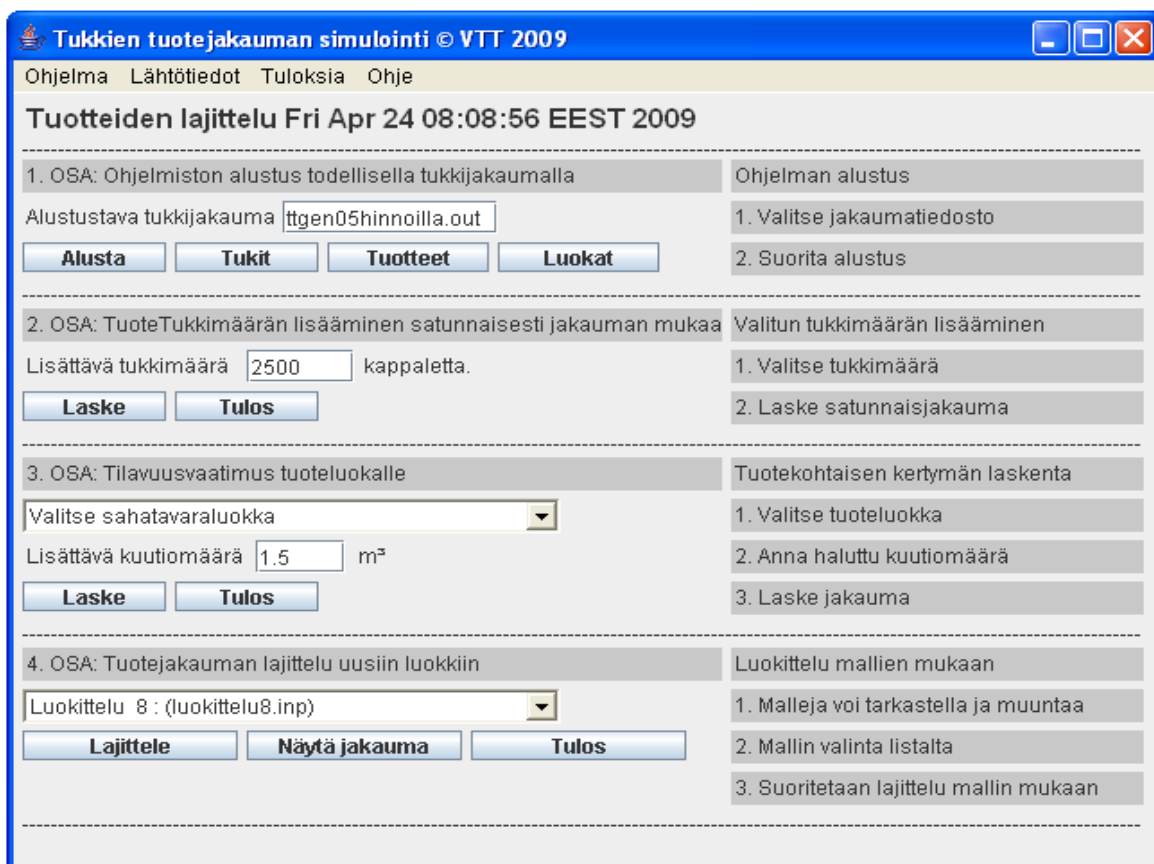
- läpimennyt tukkimäärä ja syntynyt tuotanto
- eri koneiden kapasiteettien käyttö
- koneiden häiriöajat.

Mallia voidaan käyttää sahalinjojen suunnittelussa sekä koneiden ja kuljettimien vertailussa ja valinnoissa. Mallilla voidaan tutkia olemassa olevan prosessin pullonkauloja ja niiden poistamista. Voidaan myös tutkia, miten erilaiset häiriötekijät vaikuttavat sahalinjan toimivuuteen.

4.6 Tuotekertymän simulointimalli

Sahaus voidaan toteuttaa periaatteessa kahdella eri tavalla. Tukat voidaan lajitella tukkiluokkiin ennen sahausta tai voidaan sahata lajittelematonta tukkisumaa. Tukkilajittelua käytettäessä samankokoisia tukkeja sahataan pidemmän aikaa samalla asetteella. Näin sahatavarakokojen määrä on hyvinkin rajoitettu ja tietyn luokan kertymä suuri. Sahattaessa lajittelematonta sumaa dimensioita ja laatuja tulee hyvin paljon. Näin yksittäisen luokan kertymä on pieni, mutta luokkien lukumäärä voi nousta hyvinkin suureksi. Tämän ongelmakentän tutkimuksia varten kehitettiin tuotekertymän simulointimalli SisuPUU-projektissa.

Tuotekertymän simulointiohjelman tarkoituksena on simuloida asetteen ja tukkien koon vaikutusta saatavaan sahatavaran tuotejakaumaan ja tuotekertymään. Sahatavaratuotteet lajitellaan paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun mukaan omiin lokeroihinsa. Tuotekertymän simulointiohjelman avulla voidaan havainnoida todelliseen jakaumaan perustuen sahatavaratuotteiden jakaumien muutoksia aikayksikössä asetteen, tukkien koon, tuoteominaisuuksien ja lajitte-luparametrien muuttuessa. Kuvassa 21 esitetään ohjelmiston käyttöliittymä.



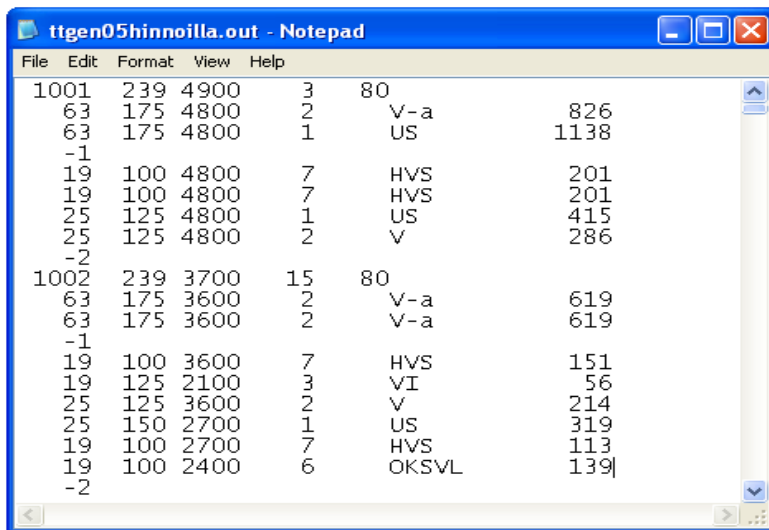
Kuva 21. Tuotekertymän simulointiohjelman käyttöliittymä.

4.6.1 Lähtöarvot ja simuloinnin suoritus

Simulointiohjelman lähtötietona käytetään todellisiin tukkijakaumiin perustuvia generoituja tukki-tuotetiedostoja (kuva 22). Lähtöarvotiedoston alussa on käytettävien laatuluokkien lista, joka on kulloinkin käytössä. Sahatavarat luokitellaan sallittujen vikojen raja-arvojen mukaan näihin laatuluokkiin. Laatuluokkien jälkeen seuraa tukki-sahatavarajakauma, jonka mukaan laskennat suoritetaan. Ohjelmassa käytettävä tukkijakauma koostuu yleensä tiettyä kokoluokkaa olevista tukeista, ja niiden sahaamisessa on käytetty tiettyä asetemallia, jolloin voidaan simuloida tietynlaista jakaumaa ja mallia. Tukki-jakauma voi koostua myös lajittelemattomista erikokoisista tukeista, jotka on sahattu vaihtuvalla asetteella, jolloin sahatavartuotteiden määrä voi kasvaa hyvinkin suureksi. Tällaisessa

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

laskennassa voidaan arvioida esimerkiksi tietyntylaisesta leimikosta saatavien tuotteiden kokonaisjakaumia. Ohjelman simuloinnit noudattavat tätä annettua tukki- ja sahatavarajakaumaa suurilla tukkimäärien simuloinneilla varsin tarkasti. Pienien tukkimäärien simuloinnissa on sattuman vaikutus suurempi.

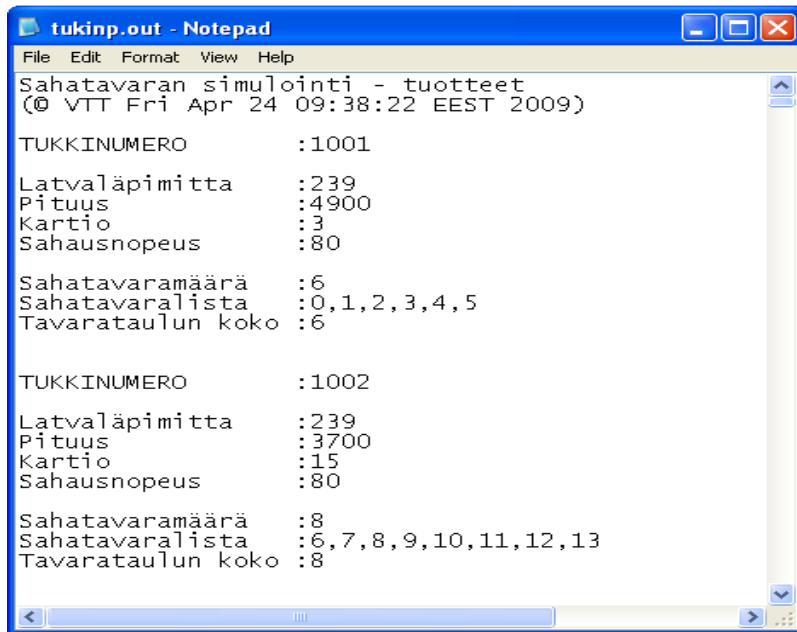


Line	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6
1001	239	4900	3	80		
63	175	4800	2	V-a		826
63	175	4800	1	US		1138
-1						
19	100	4800	7	HVS		201
19	100	4800	7	HVS		201
25	125	4800	1	US		415
25	125	4800	2	V		286
-2						
1002	239	3700	15	80		
63	175	3600	2	V-a		619
63	175	3600	2	V-a		619
-1						
19	100	3600	7	HVS		151
19	125	2100	3	VI		56
25	125	3600	2	V		214
25	150	2700	1	US		319
19	100	2700	7	HVS		113
19	100	2400	6	OKSVL		139
-2						

Kuva 22. Todelliseen tukki- ja sahatavarajakaumaan perustuva lähtöarvotiedosto.

Kuvassa 23 on eritellyt tiedot lähtöjakauman tukeista. Tukit on sahattu sahatavaratuotteiksi joko tietyntylaisella asetteella tai vaihtuvalla asetteella ja valitulla sahausnopeudella. Sahauksessa erilaisista tukeista saadaan eri määriä erilaisia sahatavaroita. Jokaisesta lähtöarvotiedoston tukista on tiedot niistä ominaisuuksista, joilla tukki ja sen tuotteet voidaan myöhemmin identifioida. Tukkitiedot koostuvat tukin numerosta, sen latvaläpimitasta, pituudesta ja kartiokkuudesta. Tukkiin liittyvät sahatavarat on identifioitu niin, että tukki voidaan myöhemmin jäljittää.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



```
tukinp.out - Notepad
File Edit Format View Help
Sahatavaran simulointi - tuotteet
(© VTT Fri Apr 24 09:38:22 EEST 2009)

TUKKINUMERO      :1001
Latvaläpimitta   :239
Pituus           :4900
Kartio           :3
Sahausnopeus    :80

Sahatavaramäärä :6
Sahatavarylalista :0,1,2,3,4,5
Tavarataulun koko :6

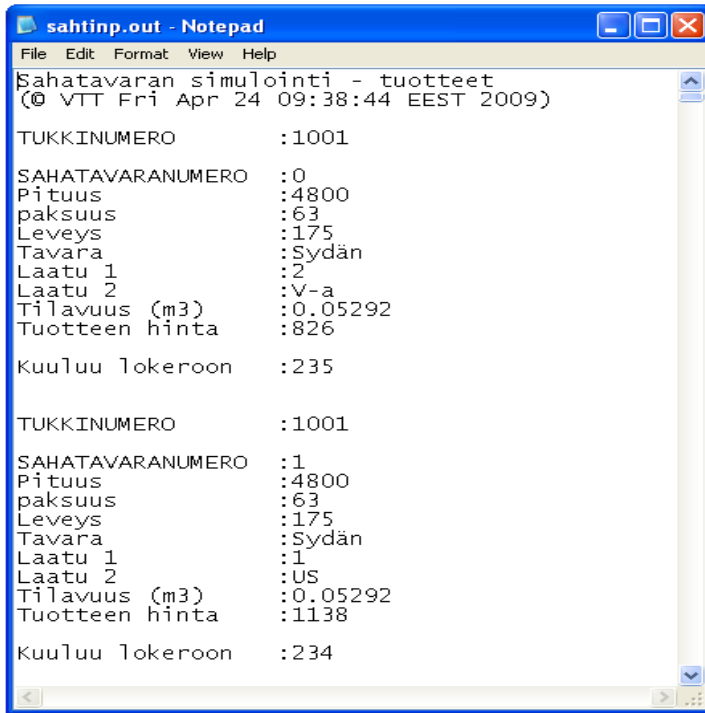
TUKKINUMERO      :1002
Latvaläpimitta   :239
Pituus           :3700
Kartio           :15
Sahausnopeus    :80

Sahatavaramäärä :8
Sahatavarylalista :6,7,8,9,10,11,12,13
Tavarataulun koko :8
```

Kuva 23. Lähtöarvotiedoista on eritelty tukkikohtaiset tiedot.

Kuvassa 24 esitetään tiedot jakauman sahatavaroista. Lokeromäärä ohjelmassa määräytyy automaattisesti sen mukaan, kuinka paljon erilaisia sahatavaroita mallin jakauma sisältää. Lajittelussa huomioitavia attribuutteja ovat sahatavara-tyyppi (sydän/lauta), paksuus, pituus, leveys sekä sahatavaran laatuluokka. Nämä attribuutit määräävät lokeromäärän, johon sahatavarat ja arvioidut jakaumat sijoitetaan. Jokainen sahatavara voi kuulua vain yhteen lokeroon. Tuoton laske- mista varten kuhunkin sahatavaraan liittyy siitä saatava ajankohtainen hinta.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



```
sahtinp.out - Notepad
File Edit Format View Help
Sahatavaran simulointi - tuotteet
(© VTT Fri Apr 24 09:38:44 EEST 2009)

TUKKINUMERO      :1001
SAHATAVARANUMERO :0
Pituus           :4800
paksuus          :63
Leveys           :175
Tavara           :Sydän
Laatu 1          :2
Laatu 2          :V-a
Tilavuus (m3)   :0.05292
Tuotteen hinta   :826

Kuuuu lokeroon  :235

TUKKINUMERO      :1001
SAHATAVARANUMERO :1
Pituus           :4800
paksuus          :63
Leveys           :175
Tavara           :Sydän
Laatu 1          :1
Laatu 2          :US
Tilavuus (m3)   :0.05292
Tuotteen hinta   :1138

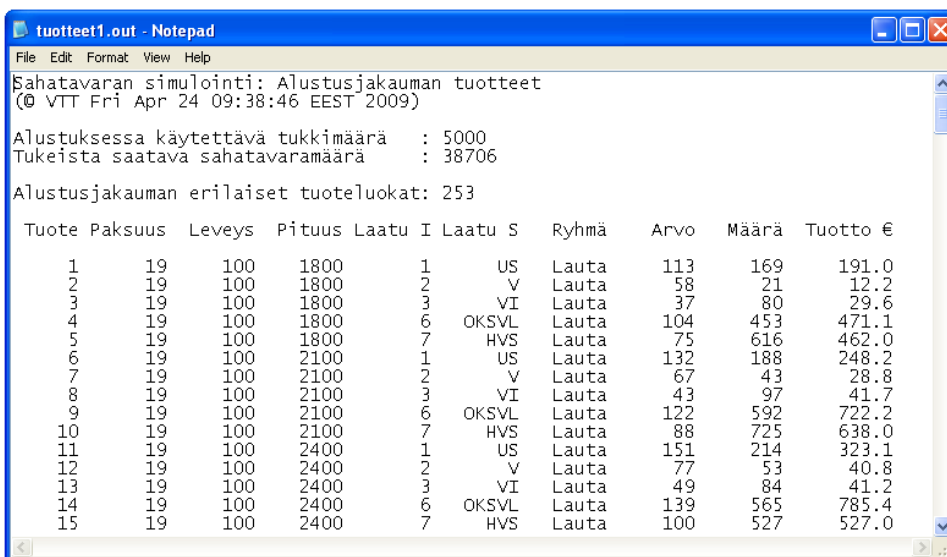
Kuuuu lokeroon  :234
```

Kuva 24. Taulukossa on yksittäisten sahatavaroiden eriteltyt tiedot.

Simulointi aloitetaan alustamalla ohjelmisto valitulla lähtöarvotiedostolla. Lähtöarvotiedosto määrittelee tukkijakauman, josta tukkeja myöhemmin valitaan. Tukkijakaumasta saatavat sahatavara tuotteet määrittelevät tuotejakauman, johon tulevat sahatavarat kerääntyvät. Alustamisen jälkeen voidaan tukkijakaumasta saatavaa tuotejakaumaa (kuva 25) tarkastella tuotekohtaisesti. Tuotejakauma esittää tukkijakaumasta saadut tuotteet järjestyksessä. Järjestys määräytyy mittojen (paksuus, leveys ja pituus) mukaan pienimmästä suurimpaan sekä laadun mukaan parhaimmasta huonoimpaan. Tuotejakaumassa voidaan havainnoida todellisesta tukkijakaumasta saatavien yksittäisten tuotteiden osuus sekä niistä saatava tuotto.

Simulointi tapahtuu valitsemalla satunnaisesti tukkeja alustuksessa määritellystä joukosta. Valittu tukki on mukana seuraavassa valinnassa. Valitusta tukista saatavat sahatavarat siirtyvät sahatavaralokeroihin.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



Tuote	Paksuus	Leveys	Pituus	Laatu I	Laatu S	Ryhmä	Arvo	Määrä	Tuotto €
1	19	100	1800	1	US	Lauta	113	169	191.0
2	19	100	1800	2	V	Lauta	58	21	12.2
3	19	100	1800	3	VI	Lauta	37	80	29.6
4	19	100	1800	6	OKSVL	Lauta	104	453	471.1
5	19	100	1800	7	HVS	Lauta	75	616	462.0
6	19	100	2100	1	US	Lauta	132	188	248.2
7	19	100	2100	2	V	Lauta	67	43	28.8
8	19	100	2100	3	VI	Lauta	43	97	41.7
9	19	100	2100	6	OKSVL	Lauta	122	592	722.2
10	19	100	2100	7	HVS	Lauta	88	725	638.0
11	19	100	2400	1	US	Lauta	151	214	323.1
12	19	100	2400	2	V	Lauta	77	53	40.8
13	19	100	2400	3	VI	Lauta	49	84	41.2
14	19	100	2400	6	OKSVL	Lauta	139	565	785.4
15	19	100	2400	7	HVS	Lauta	100	527	527.0

Kuva 25. Tukki-jakauman tuotekohtainen jakauma (alkuosa).

4.6.2 Tukkimäärään perustuva simulointi

Tukkimäärään perustuvassa simuloinnissa voidaan tehdä arvio saatavista sahatavaroista, kun käytettävissä on tietty määrä mallin mukaisia tukkeja. Kun sahaukseen on käytettävissä tietty määrä tukkeja, voidaan tehdä arvio sahatavarajakaumasta käyttämällä ohjelman alustuksessa vastaavankokoisten tukkien ja asetusten mukaista tietokantaa. Tämän jälkeen ohjelmalla voidaan laskea arvio tukeista saataville sahatavaroille (kuva 26). Arvio voidaan tehdä kaikille tukkimäärille. Tukkimäärien ollessa pieniä satunnaisuuden vaikutus on korkea.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

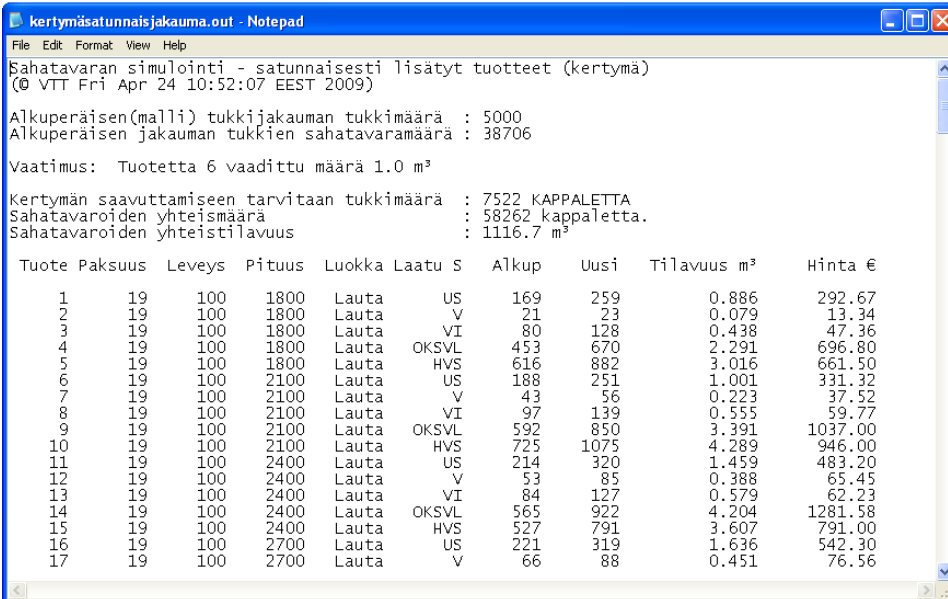
Tuote	Paksuus	Leveys	Pituus	Luokka	Laatu S	Alkup	Uusi	Tilavuus m ³	Arvo €
1	19	100	1800	Lauta	US	169	80	0.274	90.40
2	19	100	1800	Lauta	V	21	9	0.031	5.22
3	19	100	1800	Lauta	VI	80	42	0.144	15.54
4	19	100	1800	Lauta	OKSVL	453	264	0.903	274.56
5	19	100	1800	Lauta	HVS	616	306	1.047	229.50
6	19	100	2100	Lauta	US	188	108	0.431	142.56
7	19	100	2100	Lauta	V	43	21	0.084	14.07
8	19	100	2100	Lauta	VI	97	46	0.184	19.78
9	19	100	2100	Lauta	OKSVL	592	294	1.173	358.68
10	19	100	2100	Lauta	HVS	725	406	1.620	357.28
11	19	100	2400	Lauta	US	214	120	0.547	181.20
12	19	100	2400	Lauta	V	53	24	0.109	18.48
13	19	100	2400	Lauta	VI	84	43	0.196	21.07
14	19	100	2400	Lauta	OKSVL	565	269	1.227	373.91
15	19	100	2400	Lauta	HVS	527	266	1.213	266.00
16	19	100	2700	Lauta	US	221	119	0.610	202.30
17	19	100	2700	Lauta	V	66	26	0.133	22.62

Kuva 26. Mallilla tuotettu ennuste 2 500 tukista saatavalle sahatavarajakaumalle.

4.6.3 Sahatavaran kertymään perustuva simulointi

Sahatavaran kertymään perustuvassa simuloinnissa halutaan selvittää tukkimäärä ja sahatavarajakauma, kun tiettyä sahatavaraluokkaa halutaan lopputuotteiden joukossa olevan vähintään ennalta määritelty määrä. Simulointiohjelman alustuksessa käytetään tukkijakaumaa ja asetemallia, joka vastaa käytettävissä olevaa tukkijakaumaa. Simuloinnin tuloksena (kuva 27) saadaan jakauma tuotteista (tuotekertymä), jotka saadaan kun tukkeja poimitaan, kunnes ehto täyttyy. Esimerkissä tuotetta 6 halutaan vähintään 1 m³, jolloin tukkimallin (5 000 tukkia) mukaisia tukkeja tarvitaan 7 522 kappaletta kunnes ehto täyttyy.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



Sahatavaran simulointi - satunnaisesti lisätyt tuotteet (kertymä)
(© VTT Fri Apr 24 10:52:07 EEST 2009)

Alkuperäisen(malli) tukkijakauman tukkimäärä : 5000
Alkuperäisen jakauman tukkien sahatavaramäärä : 38706

Vaatus: Tuotetta 6 vaadittu määrä 1.0 m³

Kertymän saavuttamiseen tarvitaan tukkimäärä : 7522 KAPPALETTA
Sahatavaroiden yhteismäärä : 58262 kappaletta.
Sahatavaroiden yhteistilavuus : 1116.7 m³

Tuote	Paksuus	Leveys	Pituus	Luokka	Laatu	S	Alkup	Uusi	Tilavuus m ³	Hinta €
1	19	100	1800	Lauta	US		169	259	0.886	292.67
2	19	100	1800	Lauta	V		21	23	0.079	13.34
3	19	100	1800	Lauta	VI		80	128	0.438	47.36
4	19	100	1800	Lauta	OKSVL		453	670	2.291	696.80
5	19	100	1800	Lauta	HVS		616	882	3.016	661.50
6	19	100	2100	Lauta	US		188	251	1.001	331.32
7	19	100	2100	Lauta	V		43	56	0.223	37.52
8	19	100	2100	Lauta	VI		97	139	0.555	59.77
9	19	100	2100	Lauta	OKSVL		592	850	3.391	1037.00
10	19	100	2100	Lauta	HVS		725	1075	4.289	946.00
11	19	100	2400	Lauta	US		214	320	1.459	483.20
12	19	100	2400	Lauta	V		53	85	0.388	65.45
13	19	100	2400	Lauta	VI		84	127	0.579	62.23
14	19	100	2400	Lauta	OKSVL		565	922	4.204	1281.58
15	19	100	2400	Lauta	HVS		527	791	3.607	791.00
16	19	100	2700	Lauta	US		221	319	1.636	542.30
17	19	100	2700	Lauta	V		66	88	0.451	76.56

Kuva 27. Simulointimallilla laskettu tuotejakauma, jossa tavoitteena oli tuottaa 1 m³ tuotetta numero 6–19 mm x 100 mm x 2100 mm x US laatu.

4.6.4 Simulointi luokkia yhdistämällä

Kertymän simulointimallissa tukeista saataville erilaisille sahatavaruotteille on jokaiselle oma lokeronsa, johon kyseinen tuote sijoitetaan. Simulointimallin avulla voidaan tutkia jakaumaa ja laskettuja arvioita erilaisten luokittelumallien avulla, joissa alkuperäistä tukkijakaumaa ja tulosjakaumia voidaan tarkastella yhdistämällä luokkia suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Luokkien määrää saadaan vähennettyä yhdistämällä sopivalla tavalla paksuus, leveys, pituus ja laatu luokkia, Uusien luokkien määrittely tapahtuu ohjelmassa taulukon (kuva 28) avulla. Taulukkoon kirjataan kullekin riville yhden sahatavaruokan tiedot, joissa tietyt ominaisuudet, esimerkiksi pituudet, on yhdistetty halutulla tavalla. Tuloksissa (kuva 29) alkuperäinen tukkien sahatavarajakauma sekä uudet tukkimäärään tai sahatavarakertymään perustuvat jakaumat on lajiteltu halutun yhdistetyn jakauman mukaisiin luokkiin.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä

Luokka	Puulaatu	Paksuus MIN	Paksuus MAX	Leveys MIN	Leveys MAX	Pituus MIN	Pituus MAX	Laatuluokat
Luokka 1	Lauta	19	19	100	100	500	8000	US V VI PL/VL OKSVL HVS
Luokka 2	Lauta	19	19	125	125	500	8000	US V VI
Luokka 3	Lauta	19	19	150	150	500	8000	US V VI
Luokka 4	Lauta	25	25	100	100	500	8000	PL/VL OKSVL HVS
Luokka 5	Lauta	25	25	125	125	500	8000	US V VI
Luokka 6	Lauta	25	25	150	150	500	8000	US V VI
Luokka 7	Lauta	25	25	175	175	500	8000	US V VI
Luokka 8	Sydän	50	63	150	250	500	8000	US V-a VI VIKL
Luokka 9								
Luokka 10								
Luokka 11								
Luokka 12								
Luokka 13								
Luokka 14								
Luokka 15								
Luokka 16								
Luokka 17								
Luokka 18								

Kuva 28. Uusi jakaumataulukko, jossa sahatavaruokissa on yhdistetty pituusluokat sekä laatuluokkia.

Sahatavaran simulointi: tuotteiden jakauma jakaumamallin mukaan
 (@ VTT Fri Apr 24 12:23:02 EEST 2009)

Lajittelujakauma: 5

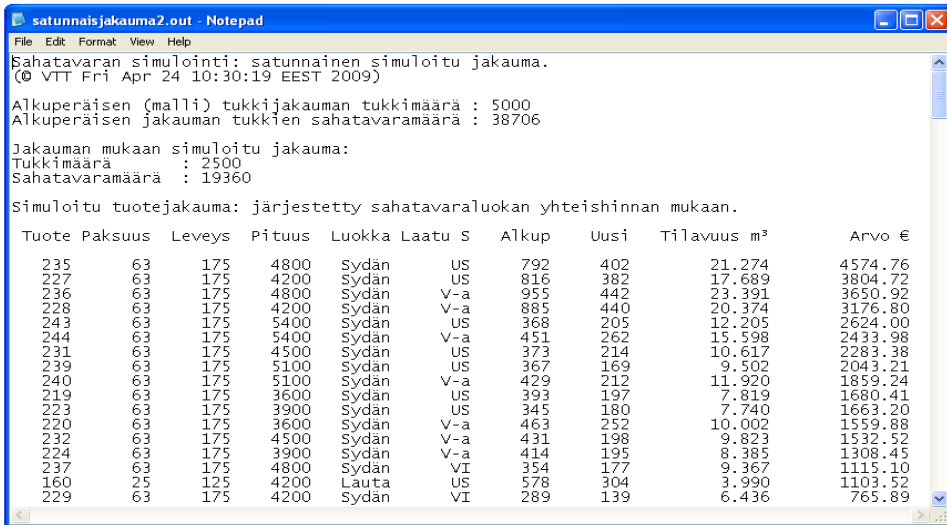
Luokka	Puulaatu	Paksuus Minimi	Paksuus Maksimi	Leveys Minimi	Leveys Maksimi	Pituus Minimi	Pituus Maksimi	Määrä Aiku	Määrä Uusi	Laatuluokat
Luokka: 1	Lauta	19	19	100	100	500	8000	16160	24207	US V VI PL/VL OKSVL HVS
Luokka: 2	Lauta	19	19	125	125	500	8000	408	639	US V VI
Luokka: 3	Lauta	19	19	150	150	500	8000	37	57	US V VI
Luokka: 4	Lauta	25	25	100	100	500	8000	1380	2052	PL/VL OKSVL HVS
Luokka: 5	Lauta	25	25	125	125	500	8000	5974	8978	US V VI
Luokka: 6	Lauta	25	25	150	150	500	8000	2635	3996	US V VI
Luokka: 7	Lauta	25	25	175	175	500	8000	9	11	US V VI
Luokka: 8	Sydän	50	63	150	250	500	8000	10000	15044	US V-a VI VI/KL

Kuva 29. Uuden jakauman mukaiset lajittelutulokset.

Simulointitulosten vaihtoehtoisia näyttöjä

Simulointituloksia voidaan tarkastella myös lajiteltuina niistä saatavan tuoton mukaisessa järjestyksessä (kuva 30) tai niiden kokonaistilavuuden mukaan järjestettyinä.

4. WoodCIM®-jalostusketjun optimointi- ja ohjausjärjestelmä



satunnaisjakauma2.out - Notepad

File Edit Format View Help

Sahatavaran simulointi: satunnainen simuloitu jakauma.
(© VTT Fri Apr 24 10:30:19 EEST 2009)

Alkuperäisen (malli) tukkijakauman tukkimäärä : 5000
Alkuperäisen jakauman tukkien sahatavaramäärä : 38706

Jakauman mukaan simuloitu jakauma:
Tukkimäärä : 2500
Sahatavaramäärä : 19360

Simuloitu tuotejakauma: järjestetty sahatavaraluokan yhteishinnan mukaan.

Tuote	Paksuus	Leveys	Pituus	Luokka	Laatu	S	Alkup	Uusi	Tilavuus m ³	Arvo €
235	63	175	4800	Sydän	US		792	402	21.274	4574.76
227	63	175	4200	Sydän	US		816	382	17.689	3804.72
236	63	175	4800	Sydän	V-a		955	442	23.391	3650.92
228	63	175	4200	Sydän	V-a		885	440	20.374	3176.80
243	63	175	5400	Sydän	US		368	205	12.205	2624.00
244	63	175	5400	Sydän	V-a		451	262	15.598	2433.98
231	63	175	4500	Sydän	US		373	214	10.617	2283.38
239	63	175	5100	Sydän	US		367	169	9.502	2043.21
240	63	175	5100	Sydän	V-a		429	212	11.920	1859.24
219	63	175	3600	Sydän	US		393	197	7.819	1680.41
223	63	175	3900	Sydän	US		345	180	7.740	1663.20
220	63	175	3600	Sydän	V-a		463	252	10.002	1559.88
232	63	175	4500	Sydän	V-a		431	198	9.823	1532.52
224	63	175	3900	Sydän	V-a		414	195	8.385	1308.45
237	63	175	4800	Sydän	VI		354	177	9.367	1115.10
160	25	125	4200	Lauta	US		578	304	3.990	1103.52
229	63	175	4200	Sydän	VI		289	139	6.436	765.89

Kuva 30. Tuoteluokat järjestettynä niistä saatavan tuoton mukaiseen järjestykseen. Tuoteluokat voidaan myös järjestää tilavuuden mukaan.

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

5.1 Sahapuurunkojen katkonta

Saantotuloksen perusteella sahapuurunkojen katkonta jakaantuu kolmeen päävaiheeseen, rungon mittaukseen, katkaisuohteen laskentaan ja varsinaiseen mekaaniseen toteutukseen, joista tärkein on katkonnin toteutus. On kuitenkin muistettava, että rungon siirtäminenkin voi aiheuttaa mittausvirheitä ja siten vaikuttaa katkontatulokseen. Taulukossa 3 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Taulukko 3. Sahapuurunkojen katkonnin toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Rungon mittaus	Muodon mittaustulos väärä Rungon sisärakennetta ei tunneta	Runkojen kuvaus väärä tai puutteellinen	Ennakkotieto leimikoista Mittaustekniikan kehitys
Rungon katkonnin laskenta	Optimointiohjelma puutteellinen Väärät tarve- ja arvomaat- riisit Virheelliset tai puutteelliset rungon mittaukset	Optimointitulokset ei ole oikea > tukkijakauma ei ole tavoitellun mukainen > arvonmenetykset	Paremmat optimointialgoritmit Lähtötietoina sahatavaran tarve tukkitarpeen sijasta Takaisinkytkentätieto
Katkonta	Tukit eivät ole laskennan mukaisia		Parempi mekaniikka ja ohjaus

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Hakkuukoneen toimintaa ohjataan arvo- ja jakaumamatriiseilla, joiden määrittäminen on osoittautunut varsin vaativaksi tehtäväksi. Koneissa voidaan käyttää jopa matriiseja, jotka ovat koneen toimituksesta peräisin. Matriisin määrittämisen tekee vaikeaksi se, ettei välttämättä tiedetä miten matriisin arvot vaikuttavat lopputulokseen. Välillä on myös se tilanne, etteivät tukkitarve ja leimikon rungot yksinkertaisesti sovi toisiinsa. Tällaisissa tilanteissa voidaan tehdä suuriakin taloudellisia menetyksiä.

Suurin ongelma sahapuurunkojen apteerauksessa on se, ettei rungon ja tukin sisäisiä ominaisuuksia tunneta käytännössä ollenkaan. Harvesterin kokenut kuljettaja voi kokemuksena perusteella osoittaa rungolle tiettyjä laaturajoja, esimerkiksi oksattoman rungon osaa, kuivan oksan rajaa tai terveoksisuuden rajaa, erityisesti jos hän on saanut palautetta sahauksesta. Kuitenkin puulla on niin suuret vaihtelut, että laaturajojen määrittäminen on suureksi osaksi kuitenkin arvausta. Tarvitaan mittausteknologiaa, jolla päästään todella mittaamaan rungon laatutekijöitä, myös sisäisiä, eikä vain laaturajoja.

Parhaimpaan apteeraus- ja katkontatulokseen päästään, kun rungot kuljetetaan runkoasemalle, jossa ne voidaan mitata tarkasti myös sisäisten ominaisuuksien suhteen. Myös optimointi voidaan suorittaa juuri senhetkiseen tarpeeseen.

5.2 Tukkien lajittelu

Tukkien lajittelu jakaantuu kolmeen päävaiheeseen: tukin mittaukseen, tukin tukkiluokan määrittämiseen mittausten perusteella sekä tukin ohjaamiseen ja kuljettamiseen sille määritettyyn tukkiluokkaan tai lokeroon. Taulukossa 4 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Tukkien lajittelu vaikuttaa erittäin merkittävästi sahauksen taloudelliseen tulokseen, koska sahauksen saanto riippuu ratkaisevasti tukkien lajittelusta ja ase-tevalinnasta. Tukkien lajittelu on avainasemassa myös sen takia, että pienilläkin tukkikuokkien parametrien muutoksilla voidaan hyvin helposti ja käytännössä ilman kustannuksia saada aikaan merkittäviä lisätuottoja.

Tukit on perinteisesti lajiteltu lähinnä latvaläpimitan mukaan. Vieläkin käytetään jopa tasavälistä tukkiluokitusta. Näille tukkiluokille on sitten määritelty yksi tai useampi sahausasete, joilla sahaus suoritetaan. Tällainen sahaustapa johtaa auttamatta varsin yksipuoliseen tuotevalikoimaan ja tuotantolähtöiseen toimintatapaan.

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaa verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Taulukko 4. Tukkien lajittelun toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Tukkien mittaus	Tukkien mittauksen tuot- tama data puutteellista tai vääriä Tukista ei mitata riittävä- sti sen ominaisuuksia, esim. tukin sisäistä ra- kennettä ei tunneta Tukkia kuvaavien suurei- den laskenta puutteellista tai virheellistä	Tukin kuvaus puutteellista Tukki ohjataan väärään tukkiluokkaan, josta seu- rauksena on lankeavia tuotteita ja saannonme- netyksiä	Mittaustekniikan kehittäminen erityisesti tukkien sisäisten vikojen ja muiden ominaisuuksien tarkaksi havaitsemiseksi Tukkia kuvaavien parametrien kehittäminen erityisesti laatu- piirteiden huomioimiseksi Takaisinkytkentätiedon hyödyntäminen
Tukkien luokittelu	Tukkiluokkia on liian vähän tai liian paljon Tukkiluokkien rajat eivät ole oikein määrättyjä eikä niitä muuteta tilauskan- nan muuttuessa Tukkiluokassa on sinne kuulumattomia tukkeja Tukkien kertymää ei hallita	Lajitteluvirheet Tukit eivät sovi asetteisiin ja tuotteisiin Lankeavat tuotteet Saannonmenetykset	Tukkien luokituksen kehittämi- nen dynaamiseksi esim. tuote- ja asetepohjaiseksi Laadun huomioiminen lajitte- lussa Ohjelmistot tukkiluokituksen optimoimiseksi Takaisinkytkentätiedon hyödyntäminen
Lajittelumekaniikka	Ohjausjärjestelmäviat Mekaniikkaviat	Kapasiteetin menetys Tukkeja väärissä luokissa	Parannukset mekaniikassa ja ohjausjärjestelmissä

Tukkien lajittelun on aina lähdettävä tilauskannasta, joko todellisesta tai sitten myynnin asiantuntijoiden ennusteesta. Tukkiluokkien rajoja pitää muuttaa dynaamisesti seuraamalla koko ajan tilauskantaa ja toimitustarvetta.

Mittaus on hyvin tärkeä elementti tukkien lajittelussa. Perinteisesti lajittelu on tapahtunut lähinnä tukin muodon perusteella. Tukin laadusta on tehty silmävairaisia arvioita. Suuremmille sahoille on viime vuosina hankittu röntgenskanne-
reita, joilla saadaan tietoa tukin yleisestä oksikkuudesta ja esimerkiksi sydän-
puun halkaisijasta ja määrästä. Skannerit eivät pysty kuitenkaan tuottamaan
tarkkaa informaatiota tukin ominaisuuksista.

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaa verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Tulevaisuuden tukkimittarissa mitataan sekä tukin geometria että tukin muut ominaisuudet hyvin tarkasti siten, että tukista saadaan erittäin yksilöllinen ominaisuuskartta. Tämä ominaisuuskartta sisältää tiedot yksittäisistä oksista, tiheydestä, vuosirengaskuviosta, kosteudesta, syyrakenteesta, lylpyuusta, puuaineen kestävydestä, lujuudesta jne. Sydänpuu on todettu pintapuuta kestävämmäksi. Sydänpuu on pintapuuta kuivempaa, joten se näkyy röntgenmittauksissa. Tutkimusten mukaan sydänpuun kestävydessä on kuitenkin varsin suuria eroja, josta syystä pitäisi olla käytäntöön soveltuva mittari, jolla voitaisiin mitata sydänpuun todellinen kestävyysarvo.

Mitä enemmän tukin ominaisuuksia voidaan mitata, sitä haastavammaksi tulee tukkien lajittelu ja tukkiluokkien rajojen määrittäminen. Tukkiluokkien rajojen määrittäminen tulee olemaan jatkuva prosessi, jossa automaattisesti määritellään uudet tukkiluokat ja tukkiluokkien rajojen muutokset.

5.3 Tukkien sahaus

Tukkien sahaus suoritetaan tavallisesti lajitellulle puulle tuotantokyvyn maksimoimiseksi. Jos asetetta joudutaan muuttamaan jokaiselle tukille erikseen, se tietää merkittävää kapasiteetin pudotusta ja huomattavaa määrää lajittelulokerointa tuorelajitteluun. Yksilöllinen asetteen määrittely tukeittain edellyttää myös tukkien mittaamista välittömästi ennen sahakonetta. Taulukossa 5 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaa verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Taulukko 5. Tukkien sahauksen toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Tukin mittaus ennen sahakonetta	Tukin geometrian mittausvirhe Tukin laatuun liittyviä piirteitä ei mitata	Optimoinnille virheellistä tai puutteellista tietoa > tukki sahataan väärällä asetteella ja väärällä pyörityskulman arvolla > tukit eivät sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Mittaustarkkuuden parantaminen Tukin sisäisten ominaisuuksien tarkka mittaaminen
Asetevalinnan ja tukin pyöryksen optimointi	Tukin asete ja pyörityskulma lasketaan väärin	Tukki sahataan väärällä asetteella ja väärällä pyörityskulman arvolla > tukit eivät sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Tukin mittauksen tarkkuuden parantaminen Laskenta-algoritmien parantaminen ottamalla huomioon tukin pyöritystarkkuus Sahausasetteen älykäs optimointi ottamalla huomioon tukin geometriset ja laadulliset ominaisuudet
Asetevalinnan toteutus	Tukki sahataan väärällä asetteella	Tukit eivät sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Ohjauksjärjestelmän parannukset
Pyöryksen toteutus ja tukin kuljetus	Tukki pyöritetään väärään kulmaan	Puun ominaisuudet eivät sijoitu kappaleisiin toivotulla tavalla > lankeavuus > saannonmenetykset	Pyöryksen mekaniikan parantaminen Tarkka mekaniikka tukin pyöryksen ja suuntaamisen hallitsemiseksi
Työstö	Huono mittatarkkuus Leveä sahausrako	Tuoremitoissa täytyy olla paljon ylimittaa > saannonmenetykset Purumäärä lisääntyy	Sahakoneen ja terien kunnan tarkistus; terähuolto Uudet tuoremitat Mittojen valvonta Uudet terät tai sahakoneet

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Mittausten kohdalla tilanne on aivan sama kuin tukkien lajittelun mittauksissa (luku 5.2): ts. pitäisi voida mitata huomattavasti enemmän tukin ominaisuuksia kuin tilanne on nykyisin. Sahausasetteen optimointi on aivan keskeinen asia pelkkasahalla. Tavoitteena on sellainen asete, joka tuottaa mahdollisimman paljon hyvälaatuisia ja -hintaisia tuotteita, joilla on hyvät markkinat. Asetteen laskennassa voidaan käyttää hyvinkin yksinkertaisia menetelmiä kuten postauspaliikoita, joilla haetaan suurin sydäntavara, joka mahtuu tukin latvalieriöön. Monet yksinkertaiset sahaussimulaattorit ovat postauspalikoiden toiminto muutettuna tietokoneohjelmaksi. Todellisuudessa asetteen määrittäminen on hyvin paljon mutkikkaampi asia, kun on otettava huomioon tukin tarkka geometria ja ennen kaikkea tukin ominaisuudet, kuten oksat. Tämä edellyttää huomattavan monimutkaisia simulaattoreita. On myös otettava huomioon se, että käytävissä olevat tukit ja tilauskannassa olevat tuotteet on sovittava toisiinsa. Tämä merkitsee sitä, että samaa tukkiluokkaa joudutaan sahaamaan yleensä useammalla asetteella, mikä tekee asetteen optimoinnin vieläkin haastavammaksi.

Tukin pyöritys on keskeinen elementti tukin sahausessa. Tukki on pyörítettävä sellaiseen asentoon, jossa siitä saadaan halutut tuotteet ts. maksimaalinen arvosaanto. Tukin pyörityksessä on otettava huomioon sekä tukin geometria että sen muut ominaisuudet, lähinnä oksat. Vaikuttavana parametrina on myös pyörityksen tarkkuus.

Paksumpi sahausrako merkitsee purumäärän lisääntymistä ja siten puuraaka-aineen siirtymistä sahatavarasta halvemmaksi sivutuotteeksi. Mittatarkkuuden huononeminen johtaa väistämättä siihen, että sahatavaran tuoremittaa joudutaan kasvattamaan. Näin ollen saman nimellismittan sahatavaralla joudutaan antamaan enemmän puuta kuin jos mittatarkkuus olisi hyvä. Kummassakin tapauksessa arvosaanto putoaa, samoin sahausksen tulos. Näin ollen aina pitää pyrkiä mahdollisimman pieneen sahausrakoön ja hyvään mittatarkkuuteen.

Tukkien sahausta tarkasteltaessa on otettava huomioon myös tukkien lajittelu. Muuttuva-asetteisessa sahausessa voidaan osittain kompensoida tukkien lajittelussa tehtyjä virheitä. Älykkäämpi tapa on sellainen, että tukkien lajittelun luokkarajoja määrättäessä otetaan huomioon samanaikaisesti muuttuva-asetteinen sahaus, jolloin päästään kaikkein parhaimpaan sahaustulokseen.

5.4 Pelkan sahaus

Pelkan sahausessa olennaisia asioita ovat pelkan mittaus, asetteen ja suuntauksen optimointi ja pelkan hallittu ohjaaminen sahakoneeseen sillä tavalla, että

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaa verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

saavutetaan paras mahdollinen sahaustulos. Taulukossa 6 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Taulukko 6. Pelkan sahausksen toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Pelkan mittaus ennen sahakonetta	Pelkan geometrian mittausvirhe Pelkan laatuun liittyviä piirteitä ei mitata	Optimoinnille virheellistä tai puutteellista tietoa > pelkka sahataan väärällä asetteella ja väärillä latvan ja tyven suuntauksen arvolla > pelkka ei sovi asetteisiin eikä tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Muodon mittaustarkkuuden parantaminen Pelkan sisäisten ominaisuuksien tarkka mittaaminen
Pelkan asetteen ja suuntauksen optimointi	Pelkan asete ja pelkan tyven ja latvan suuntaus lasketaan väärin Pelkkaa ei ohjata oikein jakosahaan eikä esim. käyräsahausta toteuteta	Pelkka sahataan väärällä asetteella ja väärillä suuntauksella > tukit eivät sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Laskenta-algoritmien parantaminen Pelkan asetteen, suuntauksen ja ohjauksen optimointi ottamalla huomioon tukin geometriset ja laadulliset ominaisuudet
Asetevalinnan toteutus	Pelkka sahataan väärällä asetteella	Pelkka ei sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	
Suuntauksen toteutus ja pelkan kuljetus	Pelkan tyvi ja latva suunnataan väärin	Puun ominaisuudet eivät sijoitu kappaleisiin toivotulla tavalla > lankeavuus > saannonmenetykset	Suuntauksen mekaniikan parantaminen Tarkka mekaniikka pelkan suuntaamisen hallitsemiseksi
Työstö	Huono mittatarkkuus Paksu sahausrako	Tuoremitoissa paljon ylittää Paksu sahausrako > saannonmenetykset	Sahakoneen ja terien kunnon tarkistus Terähuollon parantaminen Mittojen valvonta Uudet terät tai uusi sahakone

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilään verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Pelkan mittaus on erittäin tärkeä vaihe ennen jakosahaa. Pelkka tarjoaa uuden, erittäin hyvän mittausalustan, koska pelkassa on kaksi sahattua pintaa, jotka tulevat olemaan sydäntavarakappaleissa lopulliset, näkyyn jäävät särmät. Pintojen mittaaminen on huomattavan paljon helpompaa kuin tukin tai pelkan sisäisten laatutekijöiden mittaaminen. Pintojen mittaamiseen voidaan käyttää värikamerointia. Mittausten tuloksena voidaan saada sahattujen pintojen ominaisuuskartta ja myös pelkan pyöreiden reunaosien profiilit. Mittaustiedon perusteella voidaan laskea, miten terien leikkausten pitäisi sijaita pelkassa, jotta tulos olisi mahdollisimman hyvä. Pelkan optimaalinen sahaussuunta voi olla paraabelin tai suoran muotoinen. Suuntaus riippuu myös pelkan sahausasetteesta. Asete voi olla myös toispuoleinen.

5.5 Laudan särmäys

Laudan särmäyksessä olennaisia asioita ovat lauta-aihion mittaus, leveyden ja suuntauksen optimointi ja aihion suuntaaminen ja ohjaaminen sahakoneeseen sillä tavalla, että saavutetaan paras mahdollinen lautasaanto. Taulukossa 7 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Lauta-aihioiden särmäyksessä on paljon samoja piirteitä kuin pelkan sahauskoneessa. Nykyiset särmäysprosessit ovat hyvin pitkälle tilavuussaantosuuntautuneita, koska lauta-aihiosta mitataan yleensä vain geometrisiä piirteitä ja arvo on mukana ainoastaan vajasärmäisyyden perusteella. Särmäyksen optimoinnin kannalta tilavuussaanto kriteerinä on huomattavan yksinkertaista.

Arvo-optimointi edellyttää sitä, että laudasta mitataan kappaleen lopulliseen laatuun liittyviä piirteitä, kuten oksaisuutta jne. Arvo-optimointi on kuitenkin asiakaslähtöisen toiminnan kulmakiviä. Erityisen tärkeää arvo-optimointi on silloin, kun sahausmenetelmänä käytetään läpisahausta, jossa tukki sahataan ensin viipaleiksi ja sen jälkeen jokainen viipale särmätään yhdeksi tai useammaksi kappaleeksi. Läpisahauksen paremmuus nelisahaukseen verrattuna perustuu särmäyksen arvosaannon mukaiseen optimointiin, jossa kappaleiden paikkaa ja suuntausta siirretään aihiossa kunnes löydetään maksimaalisen arvon tuottavat kappaleet ja niiden suuntaukset.

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitelaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

Taulukko 7. Laudan särmäyksen toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Laudan mittaus ennen sär-mäsahaa	Lauta-aihion geometrian mittausrvirhe Aihion laatuun liittyviä piirteitä ei mitata	Optimoinnille virheellistä tai puutteellista tietoa > aihio särmätään väärällä aseteella ja väärillä latvan ja tyven suuntauksen arvolla > aihio ei sovi asetteisiin eikä tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Muodon ja vikojen mittaustarkkuuden parantaminen Aihion sisäisten ominaisuuksien tarkka mittaaminen
Aihion sahaus asetteen ja suuntauksen optimointi	Aihion asete ja sen tyven ja latvan suuntaus lasketaan väärin	Aihio särmätään väärällä aseteella ja väärällä suuntauksella > aihiot eivät sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Laskenta-algoritmien parantaminen Aihion asetteen ja suuntauksen optimointi ottamalla huomioon aihion geometriset ja laadulliset ominaisuudet
Asetevalinnan toteutus	Aihio sahataan väärällä aseteella	Aihio ei sovi asetteisiin ja tuotteisiin > lankeavuus > saannonmenetykset	Aihion ohjausjärjestelmän muutokset
Suuntauksen toteutus ja aihion kuljetus	Aihion tyvi ja latva suunnataan väärin	Puun ominaisuudet eivät sijoitu kappaleisiin toivotulla tavalla > lankeavuus > saannonmenetykset	Suuntauksen mekaniikan parantaminen Tarkka mekaniikka aihion suuntaamisen hallitsemiseksi
Työstö	Huono mittatarkkuus	Tuoremitoissa paljon ylimittaa > saannonmenetykset	Sahakoneen ja terien kunnon tarkistus Terähuollon parantaminen Mittojen valvonta

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

5.6 Sahatavaran tuorelajittelu

Sahatavaran tuorelajittelussa olennaisia asioita ovat kappaleen mittaus sekä laadun ja katkaisukohtien määritykset siten että saavutetaan paras mahdollinen sahaustulos. Taulukossa 8 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Taulukko 8. Sahatavaran tuorelajittelu toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Mittaus	Kappaleen geometria ja näkyvät viat mitataan väärin Kappaleen sisäisiä ominaisuuksia ei mitata	Kappaleen laadun määrittämiselle tulee virheellistä tai puutteellista dataa > kappaleen laatu ja katkaisut eivät ole oikein > lankeavuus > arvonmenetykset	Muodon ja vikojen mittaus-tarkkuuden parantaminen Kappaleen sisäisten ominaisuuksien tarkka mittaaminen
Laadun määrittäminen ja optimointi	Kappaleen laatu ja katkaisukohtat määritetään väärin ohjelmistolla Ei oteta huomioon kappaleiden potentiaalista aiheioita	Kappaleen laatu ja katkaisut eivät ole oikein > kappale joutuu väärään laatuluokkaan > lankeavuus > arvonmenetykset	Algoritmien parantaminen Sisäisten vikojen mittaaminen ja hyväksikäyttö Automaattiseen lajitteluun sopivien lajittelusääntöjen kehittäminen
Toteutus	Kappale rikkoutuu	Arvonmenetykset Häiriöt	Mekaniikan parantaminen

Tuorelajittelu on erittäin tärkeä prosessivaihe, koska siinä määritetään ensimmäistä kertaa perinteisen sahan lopputuotteet ja niiden laatu. Automaattisesta tuorelajittelusta on saatu hyviä kokemuksia. Lajittelutulokset on parempi kuin ihmisen suorittamassa lajittelussa.

Automaattisen lajittelun ongelmana on se, että lajittelusäännöt perustuvat ihmisen suorittamaan lajitteluun. Tällaisissa säännöissä on erilaisia kompensatioita, jotka ovat vaikeasti toteutettavissa koneellisessa lajittelussa. Tämän takia koneelliselle lajittelulle tarvittaisiin omat säännöt.

Mittaus on erittäin tärkeä vaihe tuorelajittelussa. Nykyisin lajittelujärjestelmät perustuvat värikameran tai musta-valkokameran käyttöön. Tulevaisuudessa vikojen ilmaisussa tai ominaisuuksien kartoituksessa tullaan käyttämään useampia

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitelaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

sensoreita, joilla mitataan lajiteltavan kappaleen ominaisuuksia huomattavan tarkasti. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa kosteus, tiheysprofiili, vuosirengasväli, syy rakenne, yksittäisten oksien paikat, laho, koro jne.

Mitattujen arvojen perusteella tuotetaan algoritmeilla kappaleen ominaisuuskartta, lujuudesta, visuaalisesta laadusta, esteettisistä ominaisuuksista jne. Tämän kartan perusteella tehdään myös päätelmä siitä, miten kappale lajitellaan esimerkiksi kuivausta varten tai miten se jalostetaan edelleen esimerkiksi komponenteiksi. Näin saadaan muodostettua kappaleesta tietomalli, joka sisältää informaatiota myös siitä millä kaikilla eri tavoin kappale voidaan lajitella – monituotelajittelu. Tietomalli palvelee ennen muuta loppukäyttöä. Erityisen tärkeää tämä on läpisahtavien viipaleiden analysoinnissa, jossa määritetään kappaleen tuleva reititys jalostavassa valmistusprosessissa.

5.7 Rimoitus

Sahatavaran rimoitus käsittää kaksi perusvaihetta: rimoituksen ohjaus ja rimoituksen toteutus. Rimoituksen ohjaus on tällä hetkellä käytännössä manuaalista työtä, jossa valitaan ainoastaan seuraavaksi rimoitettava dimensio. Seuraavassa taulukossa 9 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Taulukko 9. Sahatavaran rimoituksen toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Ohjaus	Väärä ohjaus	Rimapaketit eivät ole tavoitteen mukaisia	Informaatiojärjestelmä ohjaamaan rimoitusprosessia
Toteutus	Kappaleita rikkoutuu	Arvonmenetykset Häiriöt	Mekaniikan parantaminen

Tulevaisuudessa pyritään aktiivisesti vaikuttamaan rimapaketin sisältöön siten, että paketin loppukäyttökohde on määritelty tuorelajittelussa saatujen mittaus- ja analysointitulosten perusteella. Myös paketin sisäinen rakenne voidaan ohjata kuivaamon ominaisuuksien perusteella,

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaaan verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

5.8 Kuivaus

Sahatavaran kuivaus on erittäin tärkeä prosessivaihe, koska loppukosteus on tärkeä lopputuotteen ominaisuus. Kuivausvirheet saattavat merkitä hyvin huomattavia arvonmenetyksiä. Taulukossa 10 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia.

Taulukko 10. Sahatavaran kuivauksen toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Kuivauskaavat	Väärät kuivauskaavat	Väärät olosuhteet kuivaamossa > laadun putoaminen > arvonmenetykset	Kuivauskaavojen oikea määrittely esim. simuloimalla Kuivattavan sahatavaran ryhmittely ja niille sopivat kaavat
Kuivaamojen täyttö, hallinta ja ajotapa	Väärä kuorimien sijoittelu	Kuivauskapasiteetin putoaminen	Kuivaamon käytön optimointi
Kuivausolosuhteiden hallinta	Olosuhteiden mittausvirheet	Väärät olosuhteet kuivaamossa > laadun putoaminen > arvonmenetykset > energiankulutus	Tarkat mittaus- ja säätöjärjestelmät

Kuivauksen laatu on varsin hyvä nykyisellään. Tulevaisuuden kuivauksessa otetaan entistä enemmän huomioon sahatavarakappaleiden yksilöllisiä ominaisuuksia, jotka mitataan tuorelajittelussa. Rimoitus ja kuivaus ovat entistä enemmän integroitua kokonaisuus.

5.9 Sahatavaran loppulajittelu ja paketointi

Sahatavaran loppulajittelu perustuu aina kappaleesta suoritettuihin mittauksiin ja mittausten perusteella luotuun ominaisuuskarttaan, jonka perusteella lajittelun ohjelmisto määrittää kappaleen katkaisukohtat ja laadun. On mahdollista että kappale katkaistaan useampaan osaan, komponenteiksi, joista jokaisella on oma arvonsa. Tavoitteena on löytää sellainen katkaisu- ja lajittelutulos, joka maksi-

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitetilaa verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

moi tuotteiden arvon ja täyttää tilauskannan vaatimukset. Taulukossa 11 on esitetty toimintokohtaisesti mahdollisesti syntyviä virheitä tai puutteita, niiden vaikutuksia sekä parannusmahdollisuuksia

Taulukko 11. Sahatavaran loppulajittelun ja paketoinnin toiminnot, tapahtuvien virheiden ja puutteiden vaikutukset ja parannusmahdollisuudet.

Toiminto	Virhe / puute	Vaikutus	Parannus
Mittaus	Kappaleen geometria ja näkyvät viat mitataan väärin Kappaleen sisäisiä ominaisuuksia ei mitata	Kappaleen laadun määrittämiselle tulee virheellistä tai puutteellista dataa > kappaleen laatu ja katkaisut eivät ole oikein > lankeavuus > arvonmenetykset	Muodon ja vikojen mittaustarkkuuden parantaminen Kappaleen sisäisten ominaisuuksien tarkka mittaaminen Mitattavien ominaisuuksien lisäys
Laadun määritys ja optimointi	Kappaleen laatu ja katkaisukohdat määritetään väärin ohjelmistolla Ei oteta huomioon kappaleiden potentiaalista aihiointia	Kappaleen laatu ja katkaisut eivät ole oikein > kappale joutuu väärään laatuluokkaan > lankeavuus > arvonmenetykset	Algoritmien parantaminen Sisäisten vikojen mittaaminen ja hyväksikäyttö Automaattiseen lajitteluun sopivien lajittelusääntöjen kehittäminen
Toteutus	Kappale rikkoutuu	Arvonmenetykset Häiriöt	Mekaniikan parantaminen

Tuorelajittelussa tapahtuvia virheitä voidaan korjata loppulajittelussa. Valmiin sahatavaran lajittelu on erittäin tärkeä prosessivaihe, koska siinä määritellään lopullisesti kappaleen dimensio, pituus ja laatu. Asiakas saa täsmälleen sellaiset kappaleet, jotka syntyvät loppulajittelussa.

Sahatavaran automaattisen laatulajittelun ongelmana on se, että lajittelusäännöt perustuvat pääsääntöisesti ihmisen suorittaman lajittelun jäljittelyyn. Visuaalisen lajittelun säännöissä on erilaisia kompensatioita, joissa tiettyjä sahatavaran laatuun vaikuttavia vikoja voi olla hiukan enemmän, jos ”kappale on muuten hyvä”. Tällaisia ehtoja ei ole kovin yksinkertaista toteuttaa koneellisessa lajittelussa. Tämän tyyppisten ongelmien eliminoinniseksi tarvittaisiin koneelliselle lajittelulle omat säännöt. Erityisen tärkeää tämä on asiakaskohtaisessa lajittelussa.

Mittaus on erittäin tärkeä vaihe loppulajittelussa. Nykyisin lajittelujärjestelmät perustuvat lähinnä värikameran. Tulevaisuudessa sahatavaran ominaisuuksien

5. Nykyisten tuotantoketjujen ominaisuudet ja virheet tavoitettiin verrattuna sekä virheiden vaikutukset ja parantamismahdollisuudet

määrittämisessä tullaan käyttämään samanaikaisesti useampia sensoreita, värikameraa, infrapunaa, mikroaaltoja, röntgeniä jne. Erilaisilla sensoreilla voidaan tunnistaa erilaisia puun laatuun vaikuttavia ominaisuuksia ja vikoja. Yhdistämällä eri sensoreista saatavaa informaatiota datafuusion avulla, voidaan merkittävästi parantaa tunnistustarkkuutta. Tulevaisuudessa sahatavaran ominaisuuksista tuotetaan hyvinkin yksityiskohtainen ominaisuuskartta. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa kosteus, tiheysprofiili, vuosirengasväli, syy rakenne, yksittäisten oksien paikat, laho, koro jne.

Kappaleen ominaisuuskartassa esitetään tieto kappaleen, lujuudesta, visuaalisesta laadusta, esteettisistä ominaisuuksista jne. Tämän kappalekohtaisen kartan, tietomallin, perusteella tehdään päätelmät kappaleen laadusta sekä mahdollisesta jalostusreitistä. Kappaleen tietomalli perusteella samalle kappaleelle voidaan määrittää useampiakin laatuja – monituotelajittelu. Tietomalli palvelee ennen muuta jatkojalostusta ja loppukäyttöä. Erityisen tärkeää tämä on läpisahtajien viipaleiden analysoinnissa, jossa määritetään kappaleen tuleva reititys valmistusprosessissa.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

6.1 Sahapuurunkojen katkonta

6.1.1 Tuotelähtöinen sahapuurunkojen apteeraus

Konsepti: Leimikkovalinta ja runkojen katkonnan optimointi perustuvat tukki-tarpeen asemasta sahatavaratarpeeseen ja tilauskantaan. Tutkimusta varten saatiin eteläsuomalaiselta sahalta lähtötiedot. Käytössä oli sahan simulaattoritieto-kanta ja tuotteiden hintatiedot.

Sahan historiatiedoista saatiin tiedot syntyneestä noin 26 000 m³:n tuotannosta. Tuotantolistassa olivat tuotedimensiot pituuksittain ja laaduittain tuotantomäärineen (m³). Tästä listasta karsittiin pois ne dimensiot, joiden tuotantomäärä oli hyvin pieni. Näin muodostunutta listaa käytettiin koelaskelmissa runkomäärään suhteutettuna apteerausta ohjaavana tuotantotavoitematriisina.

Laskennassa käytettiin runkotietoina sahalla saatuja kolmen leimikon runko-tietoja, yhteensä noin 3 000 rungon muoto- ja laatutietoja. Korjuukoneiden tuot-tamista runkotiedostoista saatiin runkojen läpimitat pituussuunnassa desimetrin välein. Korjuukoneiden tiedostoista saatiin myös syntyneiden tukkien tiedot: latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus ja laatu. Lisäksi käytössä oli hakkuukoneiden arvomatriisit.

Koska apteerausta simuloitaessa ei ollut käytössä samaa rungon laatutietoa kuin korjuukoneen käyttäjällä, otettiin rungosta vertailulaskelmiin vain se yhtenäinen osa, jonka korjuukoneen käyttäjä oli hyväksynyt rungon tukkiosaksi. Siten esi-merkiksi rungot, joista oli otettu välileikko, poistettiin kokonaan laskennasta. Sa-moin rungon latvaosa oli käytössä vain viimeisen tukin katkaisukohtaan asti.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

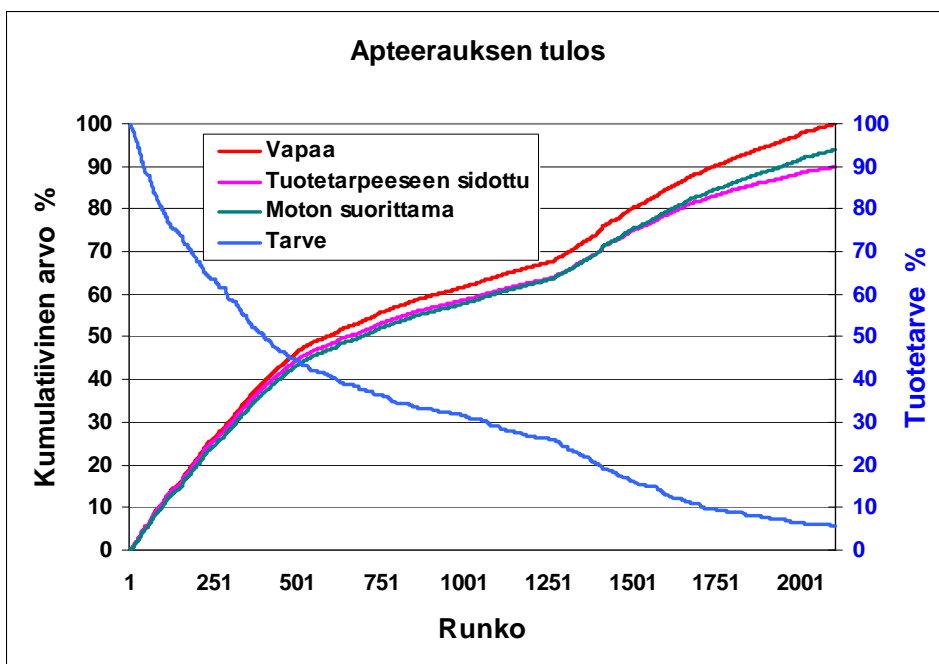
Hakkuussa syntyneet sahatukit sahattiin VTT:n simulaattorilla kysynnän mukaisiksi sahatavaroiksi arvosaantoa maksimoiden. Tukin arvoksi annettiin parhaan tuloksen antama asete.

Ensimmäisessä vertailulaskennassa rungot apteerattiin VTT:n ohjelmistolla siten, että rungon kussakin tukitusvaihtoehdossa tukit muunnettiin simuloimalla halutuksi sahatavaraksi. Kunkin tukin arvoksi tuli parhaan tuloksen antama asete ja koko rungon apteeraustulokseksi parhaan tuloksen antama tukitusvaihtoehto. Tavoitematriisia ei käytetty tässä apteerauksessa.

Toisessa vertailulaskennassa rungot apteerattiin siten, että apteerauksessa käytettiin hyväksi tuotantotavoitematriisia. Runkosuman apteerauksessa seurattiin syntyvän sahatavarakertymää ja ohjattiin prosessia syntyneen kertymän ja tavoitteen avulla.

Kuvassa 31 on esitetty eri apteeraustapojen tuottama taloudellinen tulos. Paras tulos saatiin VTT:n apteerausohjelmalla kun apteeraus ei ollut sidottu tuotetarpeeseen, vaan tukkiin voitiin sijoittaa parhaat tuotteet. Toiseksi parhaan tuloksen antoi korjuukoneen suorittama apteeraus. Tässäkään tapauksessa apteerausta ei ollut sidottu tuotetarpeeseen. Kolmanneksi parhaan tuloksen antoi VTT:n ohjelma tuotetarpeisiin sidotulla apteerauksella. Tuotetarpeeseen sidottu apteeraus oli alussa hieman parempi kuin korjuukoneelle laskettu vapaa apteeraus. Loppuvaiheessa tukit eivät ilmeisesti sopineet tuotteisiin, ja ohjelma joutui tekemään epä-taloudellisia tukituksia pyrkiessään täyttämään sahaustarpeet.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 31. Apterausvertailu. Vaaka-akselilla on kuvattu korjuun etenemistä runko rungolta. Sininen laskeva käyrä kuvaa tuotetarpeen täyttymistä korjuun aikana (tuotetarpeeseen sidottu apteraus). Nousevat käyrät kuvaavat eri apteraustapojen taloudellista tulosta korjuun edetessä.

6.2 Tukkien mittaus ja dynaaminen lajittelu

Tukkien lajittelulla tarkoitetaan tukkien ryhmittämistä sahausta varten. Tukkien mittaus ja lajittelu on varsinaisen sahauskeskityksen ensimmäinen vaihe ja siten erittäin tärkeä prosessi, koska siinä voidaan merkittävästi vaikuttaa sahauskeskityksen taloudelliseen tulokseen ja asiakaslähtöisyyteen. Tukkien lajittelutapaan vaikuttavat seuraavat tekijät:

- tukit ja niiden ominaisuudet, geometriset ja laatuun liittyvät ominaisuudet
- tukkijakauma
- tukin mittaus ja mittaustarkkuus
- tukkia kuvaavat suureet ja niiden laskenta
- tukkilajittelijan lokeroiden lukumäärä
- lajittelemattoman ja lajitellun tukkivaraston koko
- sahausprosessi ja sen ominaisuudet

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

- tuotteet ja niiden ominaisuudet
- tuotteiden hinta
- tuotteiden toimitusaikataulut.

Tukkien lajittelun pitää tukea sauhauksen liittyvän liiketoiminnan hallintaa. Ne dimensiot ja laadut, joiden tilauskanta tai kysyntä sekä hinta ovat korkeita, pitää voida sahata mahdollisimman optimaalisesti. Jo tukkien lajitteluvaiheessa on voitava erottaa ne tukit, joista tehdään standardisahatavaraa ja ne tukit, joista tehdään komponentteja, ”value added”-tuotteita. Tukkien lajittelufunktion voidaan sisällyttää ainoastaan niitä tekijöitä, joita mitataan. Tukkien lajittelusta tulee sitä vaikeampi, mitä enemmän tukkien ominaisuuksissa on hajontaa laadun ja geometrian suhteen. Tuotteille, joiden toimitusaikataulu on kireä, on suunniteltava sellaisia luokkia, joille saadaan riittävän nopea tukkien kertymä.

Näyttää siltä, että monessa tapauksessa tukkien lajittelulaitoksen lokeromäärästä on tullut ikään kuin itsetarkoitus. Paljon tärkeämpää kuin absoluuttinen lokeromäärä on se, millä tavoin lokerot käytetään ja miten lokeroiden luokkarajat saadaan mahdollisimman hyväksi. Tukkien lajittelulaitoksen optimaalinen lokeromäärä pitäisi aina laskea hyvin tarkasti ennen investointeja. Jokaisen lisälokeron on tuotettava enemmän lisäarvoa kuin lokero maksaa.

6.2.1 Tukkien mittaus – röntgenmittaussuuntien lukumäärä

Kun tukin asete ja asemointi sahakoneeseen syöttöä varten halutaan optimoida tukin sisäinen oksalaatu huomioiden, on tukki mitattava useammasta kuin yhdestä suunnasta, jotta tukin oksarakenne saadaan selville. Mitä useammasta suunnasta mittaus suoritetaan, sitä tarkemmin yksittäiset oksat saadaan määritettyä. Toisaalta mittaussuuntien lisääminen on hyvin kallista, joten on mielekästä hakea optimaalinen mittaussuuntien lukumäärä.

Kuvissa 34, 35, 36 ja 37 on esitetty esimerkkinä tukin 3D-kuvauksesta otettuja poikkileikkauksia oksakiehkuroiden kohdilta. Kustakin tukista on kuvattuna 5–6 oksakiehkuraa. Muuttujana on mittaussuuntien lukumäärä (4, 5, 6, 12, 24).

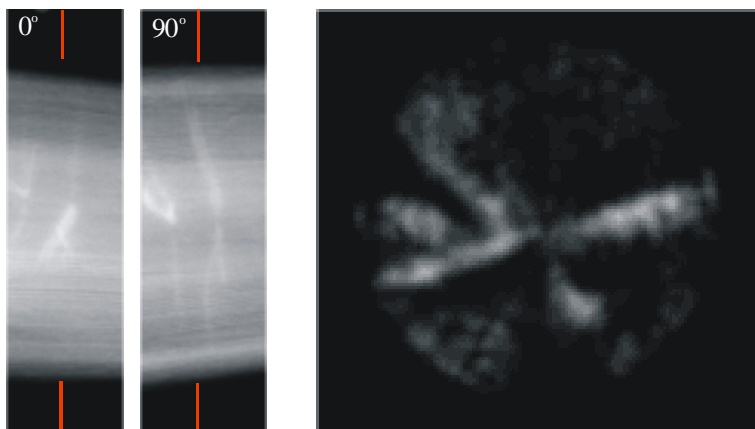
Kuvankäsittelymenetelmä oksien 3D-geometrian rekonstruoinniseksi 2D-röntgenkuvista

Mikäli tutkittavasta kappaleesta otetaan röntgenkuvia useasta, mahdollisesti sadoista, eri suunnista, kappaleen geometria voidaan rekonstruoida hyvin tarkasti. Tietokonetomografia perustuu tähän lähestymistapaan ja sillä voidaan muo-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

dostaa 3D-kuvia, joissa kuvapisteen sivunpituus on selvästi alle millimetrin. Koska teollisuussovelluksissa vaaditaan usein suurta nopeutta eikä välttämättä tarvita äärimmäisen tarkkaa kuvan resoluutiota, vaihtoehtoisille menetelmille on kysyntää. Yksi tällainen teollisuussovellus on oksien geometrian määrittäminen tukkipuusta. VTT kehitti vuonna 2006 ensimmäisen version ohjelmasta, jolla voidaan rekonstruoida 3D-esitys tukista ja siinä olevista oksista käyttäen useita eri suunnasta otettuja röntgenkuvia (kuva 32). Tavoitteena oli kehittää menetelmä, jossa käytettävien röntgenkuvaprojektioiden lukumäärä minimoidaan.

Kehitetty menetelmä perustuu yleisesti tunnettuun ART (Algebraic Reconstruction Technique)¹ -nimiseen rekonstruointimenetelmään. Mikäli käytettyjen kuvien lukumäärä lasketaan vain muutamaan kuvaan, perinteisellä tekniikalla tuotetuista kuvista tulee heikkolaatuisia eikä niiden hyödyntäminen kohteen kvantifioinnissa ole yksinkertaista. VTT:n kehittämässä tekniikassa on sekä paranneltu ART-tekniikkaa että kehitetty rekonstruoidun kuvan jälkiprosessointiin kuvankäsittelymenetelmiä. Esimerkki kehitetyn menetelmän tuloksista on esitetty kuvassa 33.



Kuva 32. Vasemmalla on esitetty pieni osa tukista otetuista kahdesta ortogonaalisesta röntgenkuvasta. Punaisilla viivoilla on osoitettu kohta, josta oikealla näkyvä rekonstruoitu leikekuva on muodostettu. Koko tukin rekonstruointi tuottaa tuhansia leikekuvia. Kyseisen rekonstruktion tekemiseen on käytetty 24 röntgenkuvaa.

¹ Natterer, Frank. *The mathematics of computerized tomography*. John Wiley.

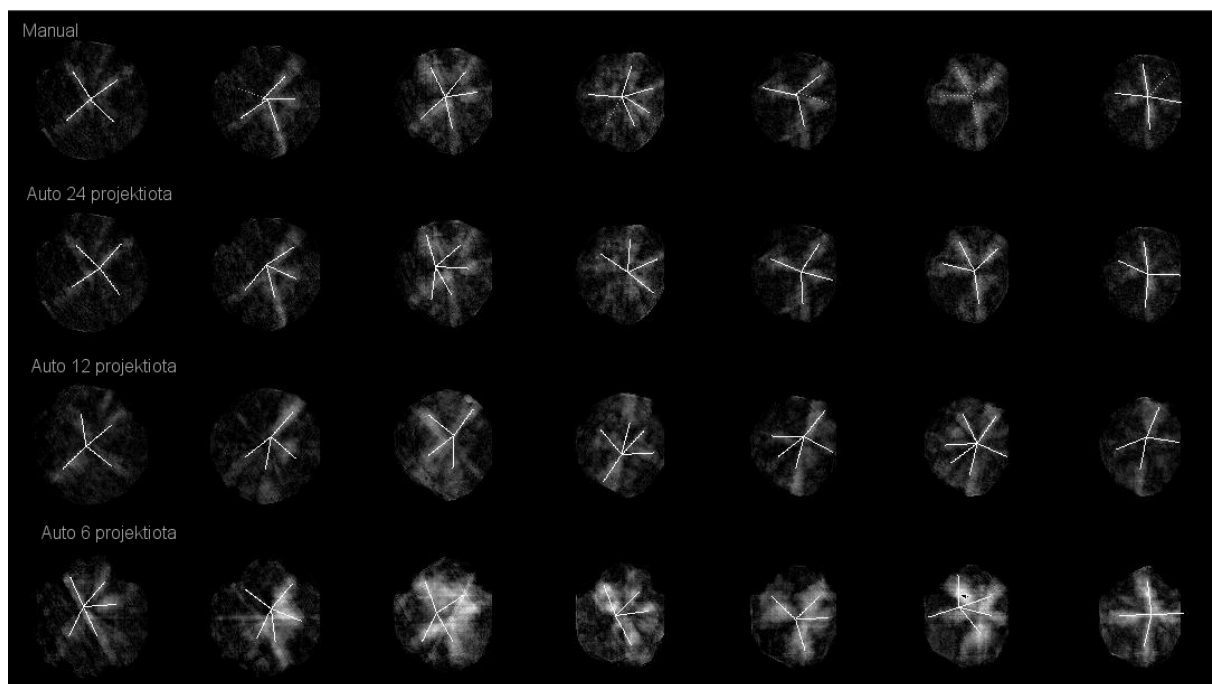
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Rekonstruoitu harmaasävykuva ei ole kuitenkaan yleensä hyödynnettävissä sellaisenaan, vaan se täytyy seuraavaksi segmentoida eli jakaa kuva reaali maailmaa vastaaviin alueisiin. Käytännössä kullekin kuvapisteelle pitää määrittää luokka, johon se kuuluu: tässä luokkia ovat tausta, oksat ja muu puu. VTT on kehittänyt menetelmää myös tukkikuvien segmentointiin.

Kehitettyjen menetelmien validointi on haastavaa kolmesta syystä. Ensinnäkin, luotettava referenssitieto (*gold-standard*) puuttuu. Hyvään tulokseen päästäisiin, jos samoista tukeista olisi sekä tietokonetomografiakuvat että röntgenkuvia eri suunnista. Tällöin röntgenkuvista rekonstruoitua ja segmentoitua 3D-leikekuvasarjaa voitaisiin verrata tietokonetomografiakuvausella saatuihin tuloksiin. Ongelmana tällöinkin olisi, että tietokonetomografiakuvista ei pystyisi varmuudella päättämään jokaisessa tapauksessa oikeita luokkia. Koska tietokonetomografiakuvia ei ole käytettävissä, referenssi täytyy määrittää segmentoimalla manuaalisesti tarkin mahdollinen rekonstruoitu kuvasarja. Koska tämä kuvasarja on selkeästi heikkolaatuisempi kuin tietokonetomografiakuvat, on joissain tapauksissa vaikeaa päätellä, mikä on oksaa ja mikä ei. Toiseksi, ei ole selkeää määritelmää, kuinka pieni oksa tulisi merkitä oksaksi. Pienistä kuvassa näkyvistä kirkaammista alueista on muutenkin vaikeaa päätellä, mikä on oksaa ja mikä jotain muuta kirkaampana näkyvää aluetta. Tästä johtuen osa pienistä oksista jää välttämättä segmentoimatta referenssidatasta ja mukaan saattaa tulla myös oksalta näyttäviä alueita, jotka eivät välttämättä kuitenkaan ole oksia. Kolmanneksi, manuaalinen segmentointi, joka tarvitaan referenssin tekemiseksi, on tunnetusti erittäin työlästä. Alueiden huolellinen piirtäminen jo yhden tukin rekonstruoinnista syntyviin tuhansiin leikkeisiin vaatisi päivien työn². Luotettava validaatio vaatii useamman tukin analysointia. Näistä syistä johtuen tässä työssä käytetty referenssisegmentointi sisältää mahdollisesti virheitä ja esitetyt tulokset ovat näin ollen vain suuntaa-antavia.

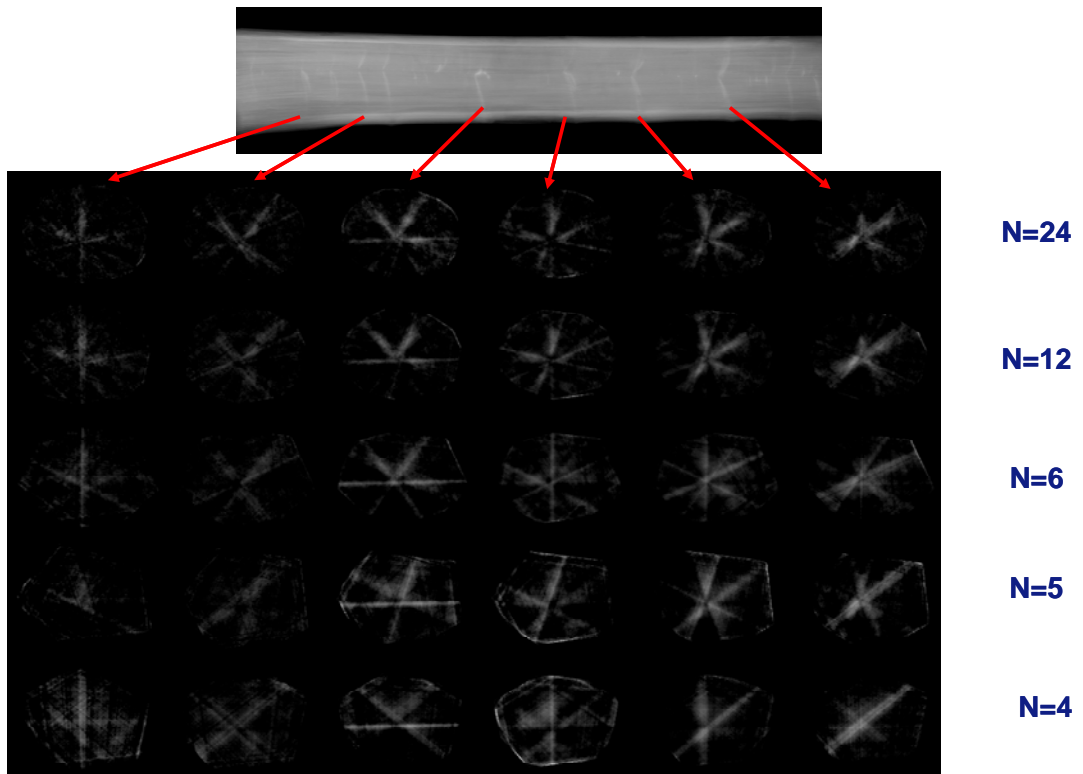
² Vaikka piirtäisi vain oksien reunat selkeistä oksakiehkuroista, jokainen kiehkura koostuu useasta leikkeestä, ja jokaisessa leikkeessä on yleensä monta oksaa.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



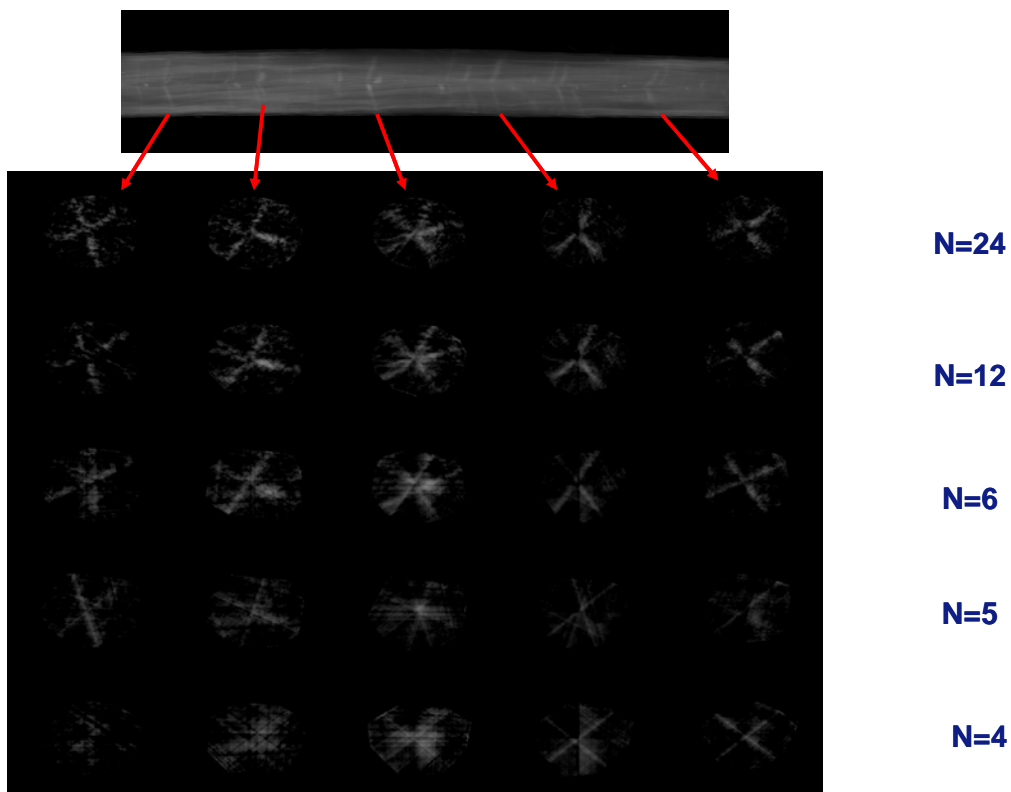
Kuva 33. Oksien tunnistus seitsemästä otsakiehkurasta: manuaalinen menetelmä ja automaattinen menetelmä käyttäen 24, 12 ja 6 projektiota. Ylärivissä oksien päällä olevat katkoviivat tarkoittavat, että oksan tunnistus manuaalisesti oli epävarma.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



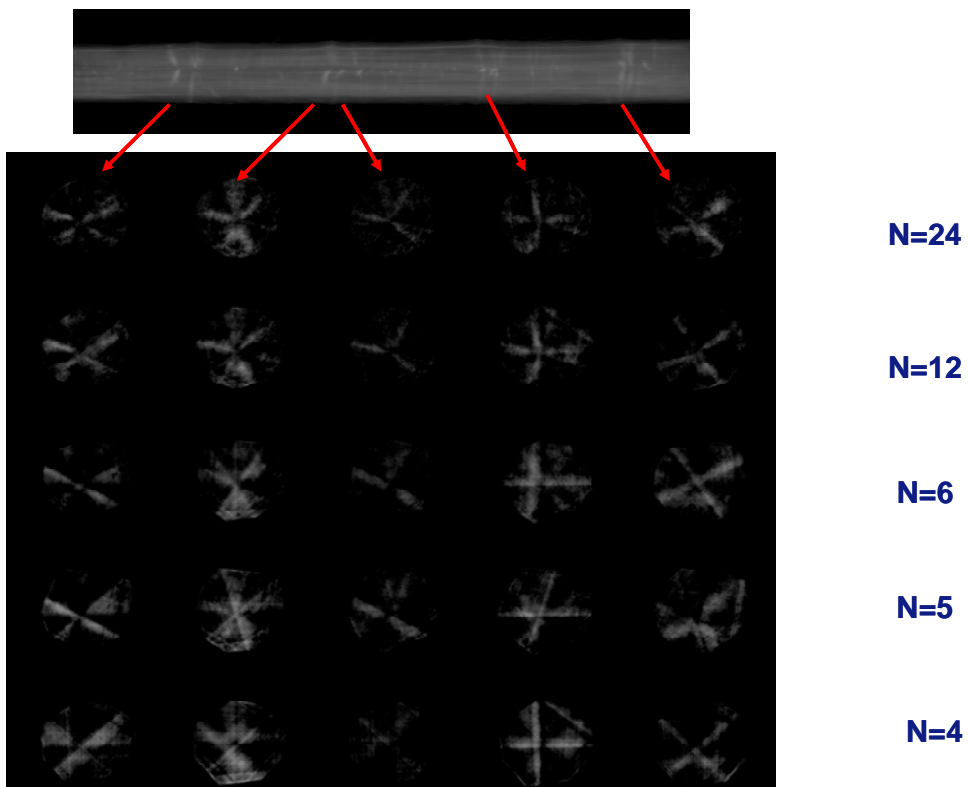
Kuva 34 Tukki no 1:n kuuden oksakiehkuran poikkileikkauskuvat laskettuna neljällä (kulmaväli 90°), viidellä (72°), kuudella (60°), kahdellatoista (30°) ja kahdellakymmenelläneljällä mittaussuunnalla (15°).

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 35. Tukki no 2:n viiden oksakiehkuran poikkileikkauskuvat laskettuna neljällä (kulmaväli 90°), viidellä (72°), kuudella (60°), kahdellatoista (30°) ja kahdellakymmenelläneljällä mittaussuunnalla (15°).

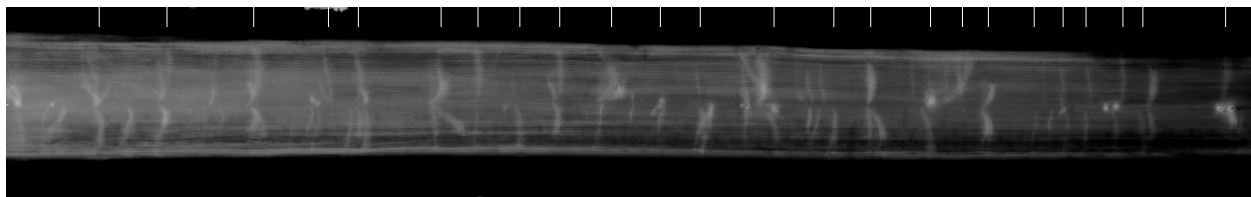
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 36. Tukki no 3:n viiden oksakiehkuran poikkileikkauskuvat laskettuna neljällä (kulmaväli 90°), viidellä (72°), kuudella (60°), kahdellatoista (30°) ja kahdellakymmenelläneljällä mittaussuunnalla (15°).

Validoinnissa käytettiin 15 asteen välein otettuja röntgenkuvia kahdeksasta tukista (4 kuusitukkaa ja 4 mäntytukkia). Yhdestä tukista oli siis 24 kuvaa. Koska rekonstruoinnissa käytettyjen kuvien lukumäärä halutaan minimoida, valittiin kuvista osajoukkoja; pienimmillään rekonstruktiossa käytettiin vain neljää kuvaa. Kustakin tukista valittiin selkeimmät oksakiehkurat manuaalista segmentointia varten (kuva 37). Jokaisesta oksakiehkurasta määritettiin oksien suunnat oksakiehkuran keskipisteestä. Yhteensä kuvista tunnistettiin manuaalisesti noin 500 oksaa.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 37. Röntgenkuva kuusitukista. Valkoiset kuvan yläreunassa näkyvät viivat osoittavat niiden oksakiehkuroiden kohdat, joista referenssisegmentointi määritettiin 3D-rekonstruktiossa.

Tunnistustarkkuudelle määritettiin seuraavat suureet: S1 = kuinka suuren osuuden automaattinen menetelmä tunnisti manuaalisesti määritetyistä oksista (sensiitiivisyys) ja S2 = kuinka suuri osuus automaattisesti tunnistetuista oksista on tunnistettu myös manuaalisesti (vrt. spesifisyys). Tulokset on esitetty taulukossa 12. Kuvassa 34 näkyy seitsemän oksakiehkuraa tunnistettuna manuaalisesti ja automaattisesti käyttäen 24, 12 ja 6 projektiota rekonstruktiossa.

Taulukko 12. Oksien tunnistustarkkuus S1 ja S2.

Kuusi	S1	S2		Mänty	S1	S2
24	0,69	0,70		24	0,65	0,44
12	0,65	0,65		12	0,58	0,44
8	0,59	0,62		8	0,58	0,44
6	0,68	0,57		6	0,56	0,38
4	0,64	0,48		4	0,48	0,36

Tuloksissa ei näy selkeää pudotusta tietyllä projektioiden lukumäärällä. Kun kuvia tarkastelee visuaalisesti, kipukynnys lienee 6–10 projektion kohdalla. Tämän jälkeen kuvista on usein vaikea arvioida edes visuaalisesti oksien suuntaa kovinkaan tarkasti.

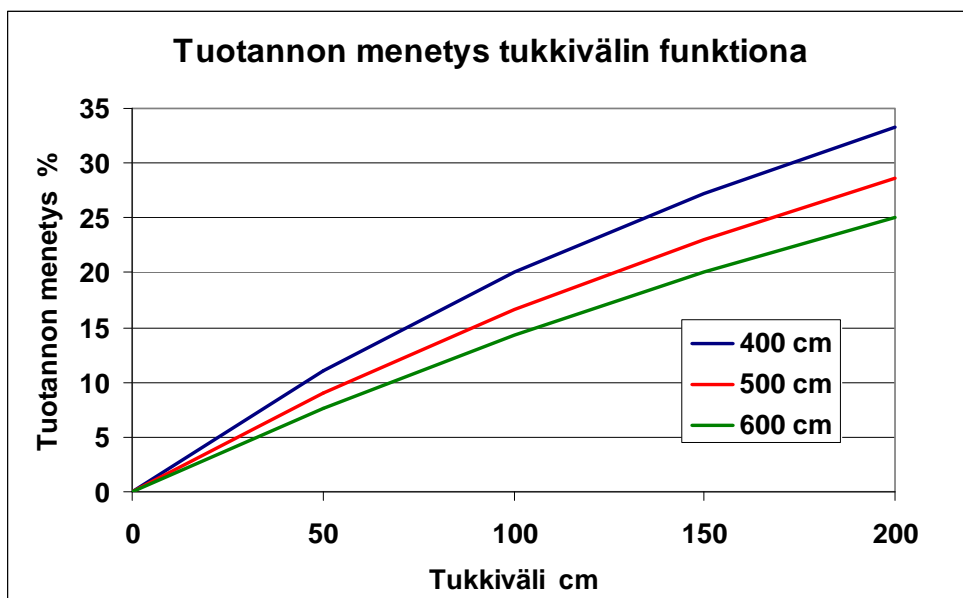
Menetelmän selkein haaste on 3D-rekonstruktioden segmentointitarkkuus, johon tulee kiinnittää jatkossa huomiota. Yksi selkeä ongelmakohta on, että nykyinen algoritmi keskittää tunnistettavan oksakiehkuran rungon keskelle, vaikka joissain tukeissa oksakiehkuran keskikohta oli selkeästi sivussa.

Tuloksia tarkastelemalla on päädytty siihen, että 6–8 mittaussuuntaa antaa riittävän tarkkuuden asetevalinnalle ja tukin asemoinnille sahakoneeseen syöttöä varten.

6.3 Tukkien dynaaminen lajittelu

6.3.1 Lajittelun perusteista

Pohjoismaisessa sahaustavassa tukit lajitellaan ennen sahausprosessia erilaisten tukista mitattavien tunnuslukujen perusteella luokkiin. Kunkin luokan tukkeja sahataan sitten yhdellä tai useammalla tähän luokkaan sopivalla asetteella. Mikäli luokittelua ei tapahtuisi, sahalinjalle tulisi peräkkäin erikokoisia tukkeja ja sahakoneiden asetuksia olisi muutettava tukkikohtaisesti, jotta sahausksen saanto ei huononisi tukille sopimattomien asetteiden käytön vuoksi. Tämä veisi aikaa, minkä vuoksi tukkiväliä sahalinjalla pitäisi kasvattaa. Tämä taas pienentäisi sahalinjan kapasiteettia. Kuvasta 38 nähdään, että tukkien keskipituuden ollessa 500 cm kapasiteetista menetetään lähes 30 prosenttia, jos tukkien keskimääräinen väli on 2 metriä. Lisäksi syntyvien sahatavaradimensioiden määrä kasvaisi huomattavasti mikä taas vaikeuttaisi sahausprosessin hallintaa.



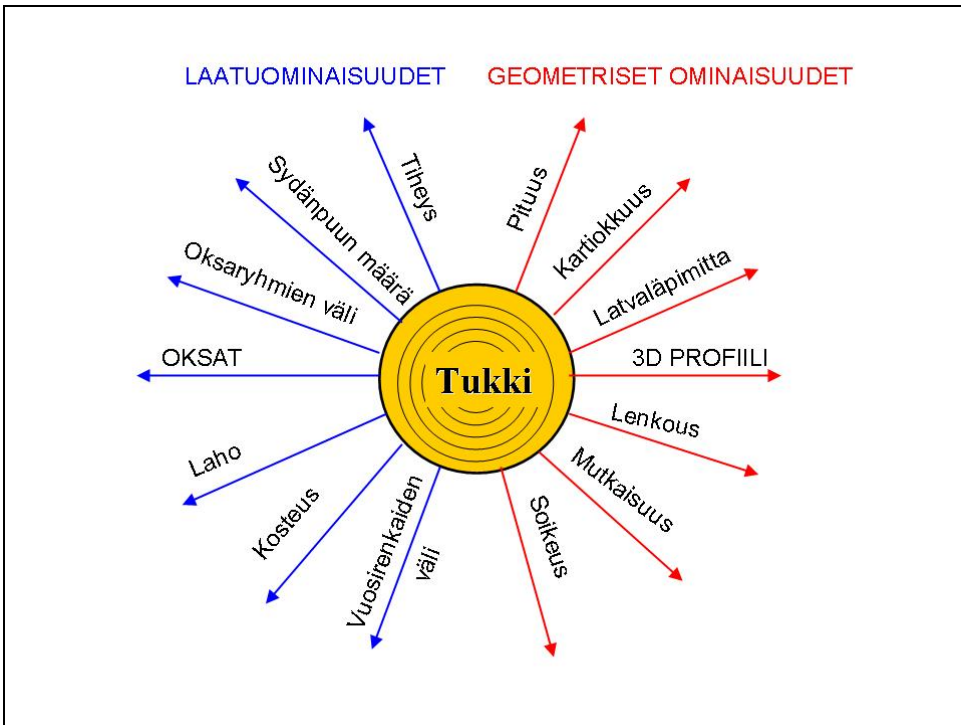
Kuva 38. Sahaamon kapasiteetin menetys tukkivälin funktiona kolmella tukkipituudella.

Tukkien lajittelulaitoksen tukkimittarilla määritetään tukin geometria. Mitattavia suureita ovat muun muassa latvaläpimitta, pituus, kapenevuus, lenkous, mutkaisuus ja soikeus. Ulkoinen laatu määritetään visuaalisesti. Mittarilla voidaan ha-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

vaita mahdolliset oksakryhmyt, joista voidaan tehdä päätelmiä tukin sisäisestä laadusta.

Liittämällä mittausasemaan tukin läpivalaisu röntgensäteillä saadaan tukin sisäisestä laadusta informaatiota tietyllä tarkkuudella. Ominaisuuksia ovat esimerkiksi oksaisuus, sydänpuun osuus, oksakiehkuroiden väli, ja tulevaisuudessa myös tiheys, kosteus ja vuosirengasväli. Kuvassa 39 on esitetty tukista mitattavia ominaisuuksia.



Kuva 39. Tukista mitattavissa olevat ominaisuudet voidaan jakaa geometrisiin ominaisuuksiin ja sellaisiin ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat tuotettavan sahatavaran laatuun.

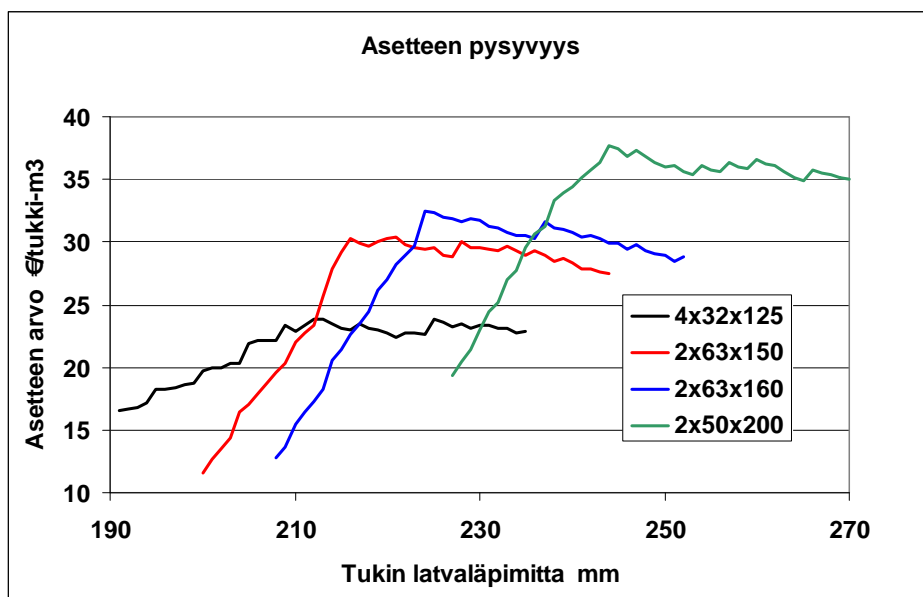
Kullakin sahausasetteella on optimaalinen latvaläpimitta-alue. Sahattaessa asetetta liian pienestä tukista sahaustulos huononee voimakkaasti syntyvien vajasärmäisten kappaleiden takia. Jos taas asetetta sahataan liian suuresta tukista, sahaustulos huononee, koska asete ei pysty käyttämään tukkia täysin hyväkseen ja hakkeen määrä kasvaa.

Kuvassa 40 esitetään läpimitta-akselilla neljän asetteen sahaustulos yhden millimetrin latvaläpimittavälein. Kuvasta nähdään, että jokaisella asetteella on op-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

timaalinen tukin latvaläpimitta, joka tuottaa maksimaalisen sahausarvon. Kun tukin latvaläpimitta pienenee tästä optimiarvosta, arvosanto romahtaa jyrkästi. Pienikin pudotus latvaläpimitan arvossa voi merkitä useiden prosenttien menetystä tuotannon arvossa. Sahauksessa on erittäin tärkeää, että tukin latvaläpimitta on vähintään optimaalisen latvaläpimitan suuruinen. Optimaalinen latvaläpimitta on samalla kriittinen. Jos taas tukin koko ylittää mainitun optimiarvon, arvosanto laskee mutta lievemmin. Tämä johtuu siitä, että puuta ei pystytä hyödyntämään täysimääräisesti.

Tukkijakauma on aina jaettavissa latvaläpimitta-alueisiin, joista jokaiselle on löydettävissä paras asete. Tätä aluejakoa voidaan käyttää myös tukkien latvaläpimitaan perustuvan lajittelun perustana. Jos kuitenkin luokiteltuja tukkeja sahaetaan parhaalla aseteellaan, se johtaa saatavan sahatavarajakauman vääristymiseen: ts. tuotteiden määrät eivät vastaa markkinoiden tarpeita.



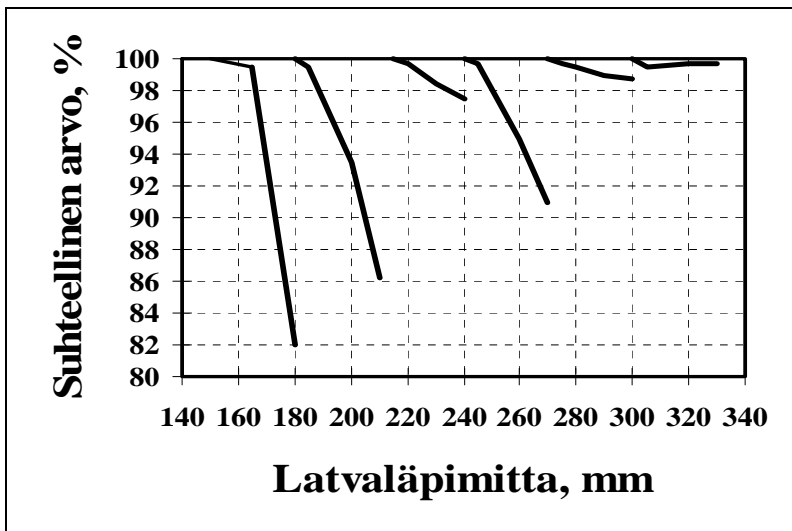
Kuva 40. Sahaustulos läpimitan funktiona neljällä aseteella. Asetteiden arvot on laskettu yhden millimetrin luokissa.

Tukkien latvaläpimitaan perustuva luokitus merkitsee sitä, että tukit joiden latvaläpimitat ovat suuremmat kuin tukkiluokan alaraja ja pienemmät kuin yläraja, lajitellaan samaan tukkiluokkaan. Jokaiselle alarajan ja ylärajan välillä olevalle tukille voidaan laskea optimaalinen, parhaan arvosannon antava sahausasete.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Sahaus tukkiluokittain merkitsee sitä, että koko tukkiluokka sahataan samalla asetteella. Tukkiluokan sahaus merkitsee aina kompromisseja latvaläpimitakoh- taisten asetteiden välillä.

Tukkiluokalle voidaan aina määrittää kokonaisuuden kannalta paras asete, joka voi poiketa yksittäisten tukkien parhaista asetteista. Määrittelyssä on aina otettava huomioon kaikki tukkiluokkaan ohjattavat tukit. Tukkiluokan sahaus- sessa päästäisiin parhaimpaan tulokseen siten, että jokainen tukkiluokan tukki sahattaisiin parhaimmalla asetteella. Tukkiluokissa sahaaminen merkitsee aina kompromisseja. Mitä leveämmäksi tukkiluokka tehdään, sitä enemmän kompromisseja joudutaan tekemään.



Kuva 41. Suhteellinen sahaustulos tukkiluokan leveyden funktiona kuudessa eri tapauk- sessa. Tukkiluokan leveys vaihtelee 0 mm:stä 30 mm:iin.

Kuvassa 41 esitetään kuusi tukkiluokkaa, joiden latvaläpimitan alarajat ovat 150 mm, 180 mm, 210 mm, 240 mm, 270 mm ja 300 mm. Näistä alaraja- arvoista lähtevät kuvaajat kertovat, kuinka paljon tukkiluokan sahaus- arvosaaonnossa menetetään verrattuna siihen, että jokainen tukkiluokan tukki sahatta- isiin omalla parhaimmalla asetteellaan. Tukkiluokan leveys kuvassa vaihtelee 0 mm:sta 30 mm:iin. Kuvasta 41 nähdään hyvin selvästi: mitä leveimmäksi tuk- kiluokka tehdään, sitä suurempi on arvon menetys. Jos tukkiluokan alaraja on 150 mm ja yläraja on 160 mm, arvonmenetys on 0,3 prosenttia. Vastaava arvo 30 mm leveällä tukkiluokalla on peräti 18 prosenttia. Tukkiluokan latvaläpimit-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

tarajan määrittäminen on ensiarvoisen tärkeää sahaustuloksen kannalta. Pienikin muutos tukkiluokan alarajassa saattaa merkitä huomattavaa arvosaannon parannusta. Pienemmät tukit ovat paljon herkempiä tukkiluokkien rajojen muutoksille kuin suuret tukit.

Tukkien lajittelu voidaan suorittaa

1. latvaläpimitan perusteella
2. tukin muototekijöillä korjatun latvaläpimitan perusteella
3. lajittelemalla tukit asetteiden mukaan
4. lajittelemalla tukit tuotetarpeiden mukaan
5. poimintalajittelulla
6. yhdistelmäajittelulla.

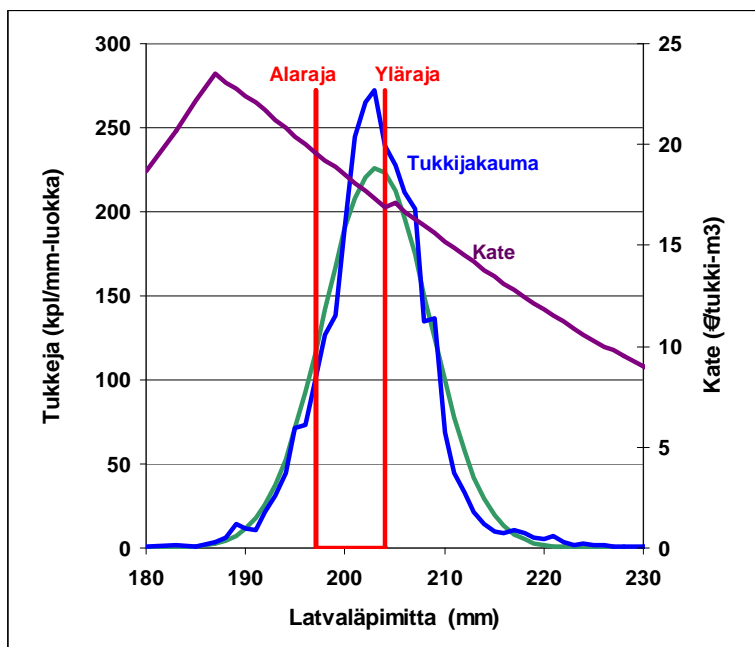
6.3.2 Tukkien lajittelu latvaläpimitan perusteella

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

Mittausvirheiden vuoksi tukkiluokkaan tulee aina optimaalisen sahaustuloksen kannalta 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 42 on esitetty tukkiluokkarajojen määräytyminen. Tukkijakauma on todellinen tukkijakauma, joka on syntynyt tukkilajittelijalle asetettujen läpimittarajojen mukaan. Luokkaan on tullut mittausvirheiden takia huomattavasti ali- ja ylimittaisia tukkeja. Sahausluokan rajat on asetettu siten, että alimittaisia tulee huomattavasti vähemmän kuin ylimittaisia. Sahausten arvosaanto on myös esitetty läpimitan funktion. Lisäksi tukkijakaumaan on sovitettu normaalijakauma.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 42. Esimerkki tukkiluokan, jonka latvaläpimitan alaraja on 197 mm ja yläraja 203 mm, todellisesta tukkien latvaläpimittajakaumasta. Kuvaan on piirretty myös kuvaaja, joka esittää sahausten katetuoton tukin latvaläpimitan funktiona.

6.3.3 Tukin muototekijöillä korjattu latvaläpimittalajittelu

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

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

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Korjaustekijät voidaan kuvata esimerkiksi toisen asteen polynomeilla:

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

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

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

KARTIO tukin kartiokkuus (mm/m)

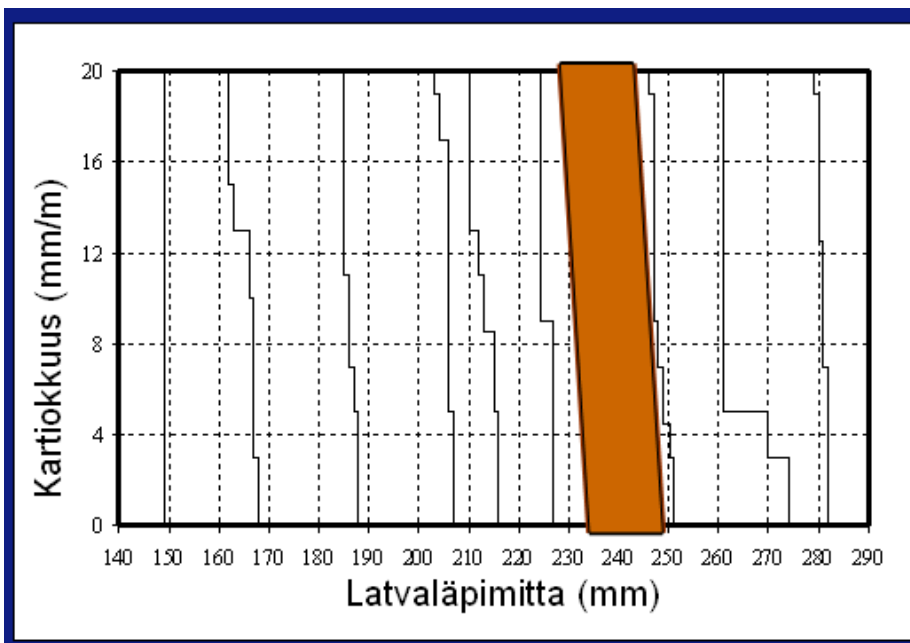
LENKOUS tukin lenkous (mm/m)

SOIKEUS tukin soikeus (mm)

A, B, C toisen asteen funktion kertoimet

Kuvassa 43 on esitetty kartiokkuuden vaikutus tukkiluokkarajojen määräytymiseen. Samaan tukkiluokkaan voi tulla läpimitaltaan pieniä tukkeja, joiden kartiokkuus on suuri.

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



Kuva 43. Tukkiluokkarajojen määräytyminen latvaläpimitan ja kartiokkuuden perusteella. Tukkien lajitelussa on yksi luokka varattu sydänpuusahatavaran sahaukseen.

6.3.4 Asetteiden mukainen lajittelu

Lajittelu voidaan myös suorittaa asetekohtaisesti, jolloin tukkiluokan sahauskesä 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 tilauskantaan 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 älykästä 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.

6.3.5 Tuotteen mukainen lajittelu

Tuotteen mukaisessa lajittelussa haetaan määrätyle tuotteelle tai tuoteryhmälle, pääsääntöisesti sydäntavaralle, sopivin mahdollinen tukkiluokka. Tilaukannasta tai myynnin tarpeesta johtuen samalle tuotteelle voidaan allokoida 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 sahatua kysytyt tuotteet mahdollisimman hyvällä kokonaiskateella. 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 tukki-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

luokan. 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. Esimerkkinä tuotepohjaisesta lajittelusta on liimapuussa käytettävän sahatavaran lajittelu.

6.3.6 Poimintalajittelu

Poimintalajittelussa poimitaan tukkisumasta ne yksittäiset tukit, jotka sopivat mahdollisimman hyvin tietyn tuotteen tai asetteen sahauskseen. 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.

Kuvassa 44 esitetään, miten 490 cm:n pituiselle tukille tukkiluokassa 250–270 mm on haettu eri lenkous- ja kartiokkuusluokkaryhmittäin optimaalinen asete 17 mahdollisen asetteen joukosta. Kuvasta nähdään, ettei tietylle sahausasetteelle ole rajattua yhtenäistä aluetta, vaan asetteen paremmuus poimii tukkeja sieltä ja täältä. Kaikilla käytetyillä parametrialuilla, latvaläpimitta, kartiokkuus ja lenkous, on vaikutusta sahausasetteen valinnassa. Esimerkiksi asetetta numero 11 (keltainen väri kuvassa 44) kannattaa käyttää koko latvaläpimitta-alueen 250–270 mm:n sahausissa, vähiten kuitenkin jos lenkouden arvo on 4 mm/m tai 16 m/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.

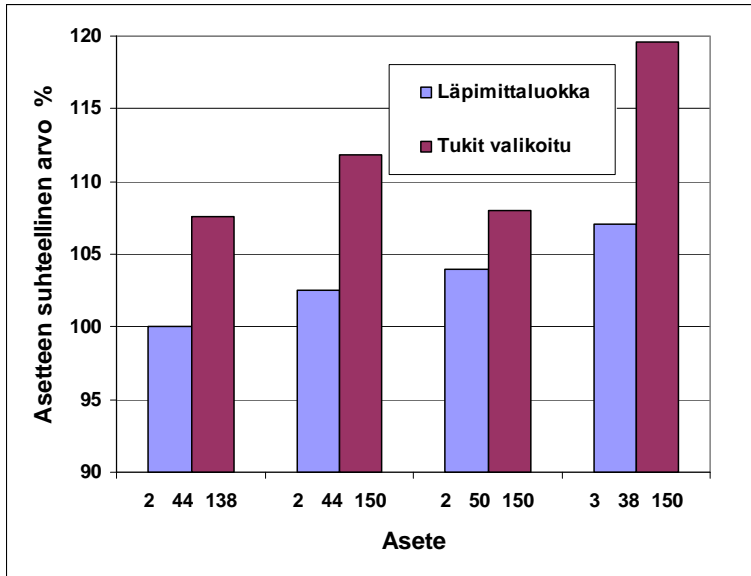
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Tukin pituus dm	Tukin latva- läpimitta mm	Lenkous mm/m																								
		0					4					8					12					16				
		Kartiokkuus mm/m																								
		0					4					8					12					16				
49	250	4	12	11	12	17		17	7	17																
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					
49	256	4	15	11	15		17	2	17	2	17			1	2	11			16	11	15					
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					
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					

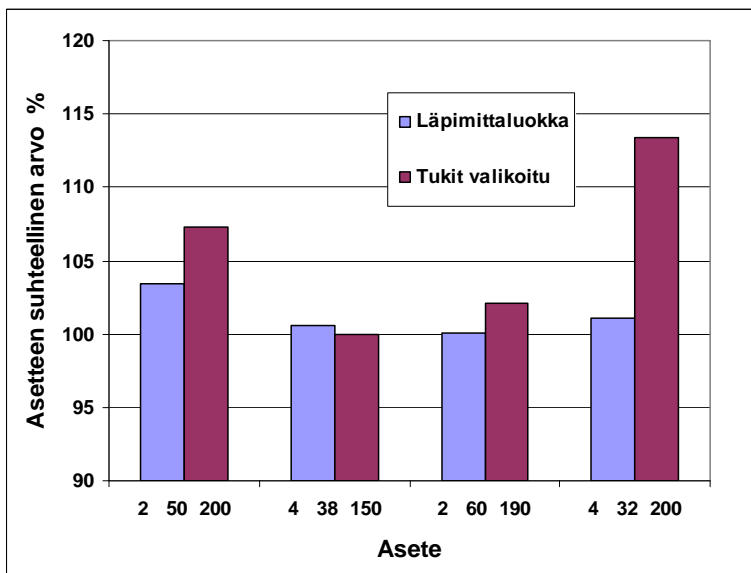
Kuva 44. Tukkiluokalle 250–270 mm on ollut käytössä 17 erilaista asetetta. Sahan toimitamista tukkitiedoista on haettu 4900 mm pitkille tukeille paras asete kahden millimetrin latvaläpimittavälein, jotka on edelleen jaettu viiteen lenkousryhmään 0, 4, 8, 12 ja 16 mm/m. Kukin läpimitta-lenkousryhmä jaettiin edelleen viiteen kartiokkuusryhmään 0, 4, 8, 12 ja 16 mm/m.

Kuvissa 45 ja 46 esitetään kahdessa läpimittaluokassa ja neljällä asetteella saattava sahauksen arvosanto sekä perinteisellä latvaläpimittaan perustuvalla lajitte- lulla että tukkien yksilölliseen poimintaan perustuvalla lajitte- lulla. Kaikissa tapauksissa poimintaan perustuva lajittelu on tuottanut selvästi paremman sahaus- tuloksen. Suurimmillaan ero on noussut noin 10 prosenttiin. Pienimmillään ero on 0 prosenttia ja keskimäärin 4 prosenttia.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 45. Perinteisellä tukkien lajittelulla ja tukkien yksilölliseen poimintaan perustuvalla lajittelulla saatava sahauksen arvosaanto tukki luokassa, johon kuuluvien tukkien latvaläpimitta vaihtelee 206 mm:sta 214 mm:iin.



Kuva 46. Perinteisellä tukkien lajittelulla ja tukkien yksilölliseen poimintaan perustuvalla lajittelulla saatava sahauksen arvosaanto tukki luokassa, johon kuuluvien tukkien latvaläpimitta vaihtelee 256 mm:sta 264 mm:iin.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

6.3.7 Yhdistelmäajittelu

Edellä mainittuja ajittelutapoja voidaan tarvittaessa yhdistellä. Voidaan esimerkiksi käyttää tukin muototekijöillä korjattua latvaläpimittalajittelua perusajitteluna ja vain tietyille tuotteille haetaan sumasta tukit poimintalajittelulla. Tukkien ajittelulaitoksella on aina rajallinen määrä tukkiluokkia. Tukkien ajittelun peruskysymyksenä on, millä tavoin allokoidaan lokerot eri ajittelutapojen käyttöön.

6.3.8 Online-tukkien mittaus ja ajittelu

Online-ajittelussa tukit mitataan hyvin tarkasti ja merkitään tunnisteella yksilöllisesti niin, että tukit ovat yksilöinä tunnistettavissa myöhemmin. Mitattu tieto tallennetaan merkinnän perusteella tietokantaan. Välittömästi ennen mittausa tukkien päihin piirretään automaattisesti viivat, jotka muodostavat koordinaation 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 Tukkilajittelijan lokeromäärän vaikutus sahaustulokseen

Laskennan lähtöarvoiksi saatiin kahdelta sahalta edustava otos tukkidataa, yhteensä noin 100 000 tukin yksilölliset mittaustiedot. Kuvissa 47, 50 ja 53 on esitetty sahojen tukkijakaumat. Sahoilta saatiin sahaussimulaattorin lähtöarvot. Toinen saha oli kuusisaha ja toinen sahasi mäntyä. Sahoilta saatiin lisäksi puolen vuoden sahaussuunnitelmat dimensioineen, laatuineen ja tuotantomäärineen. Sahaussuunnitelmissa tuotteilla oli yleensä kiinteät tuotantomäärät (m^3). Osalle tuotteita oli annettu vaihteluvaraa, esimerkiksi tiettyä tuotetta oli mahdollisuus valmistaa 1 500–2 000 m^3 . Taulukossa 13 on esitetty käytetyt dimensiot.

Tukkijakaumaotokset skaalattiin vastaamaan annettuja tuotantomääriä.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Taulukko 13. Sahojen sahatavaradimensiot.

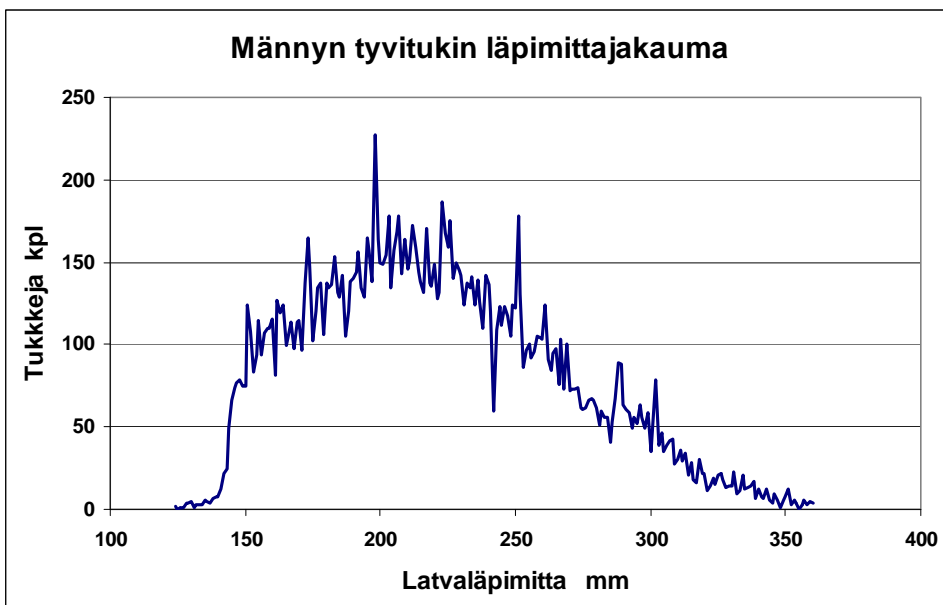
Mänty tyvitukki						
Paksuus	Leveydet					
32	150	175	200	225		
34	112					
38	100	115	125	150	200	225
50	150	180	200	225		
63	150	175	200	225		
75	125	175	200	225		
Mänty väli- ja latvatukki						
Paksuus	Leveydet					
25	125	150				
28	100					
32	125					
34	96					
35	150					
44	100	125				
50	115	115	135			
Kuusi						
Paksuus	Leveydet					
22	100	115	150			
25	225					
26	138					
28	128					
29	110					
30	200					
32	125	150	150	175	200	225
34	100	110	112			
38	100	150	150	200	225	
44	100	125	150			
47	100	110	115	125	150	
50	100	115	125	150	200	225
63	150	160	175	200	225	
75	150	200	225			

Lokeroiden määrän vaikutusta sahaustulokseen tutkittiin valitsemalle lokero-määräksi 6, 12, 15, 20, 25, 30 ja 40. Tukkiluokille määritettiin ensin luokkarajat VTT:n WoodCIM[®]-tukkiluokitusohjelmalla kullekin lokeromäärävaihtoehdolle. Sen jälkeen simulaattorilla laskettiin kysytyjen tuotteiden sahausaseteiden antamat määrä- ja arvosaannot. Simuloinnissa oli myös mukana sahan käyttämiä asetteita, joiden tuotteita ei ollut mukana tuotelistassa. Tukkijakaumista lasket-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

tiin kullekin kussakin lokerovaihtoehdossa lokeroihin tuleva tukkimäärä. Tämän jälkeen laskettiin lineaariseen ohjelmointiin perustuvalla sahamalliohjelmalla käytettävissä olevia tukkeja, tuotetarpeita ja simulaattorilla laskettuja tilavuus- ja arvosaantoja käyttäen sahausohjelma. Tuloksena saatiin muun muassa sahan arvo- ja määräsaannot.

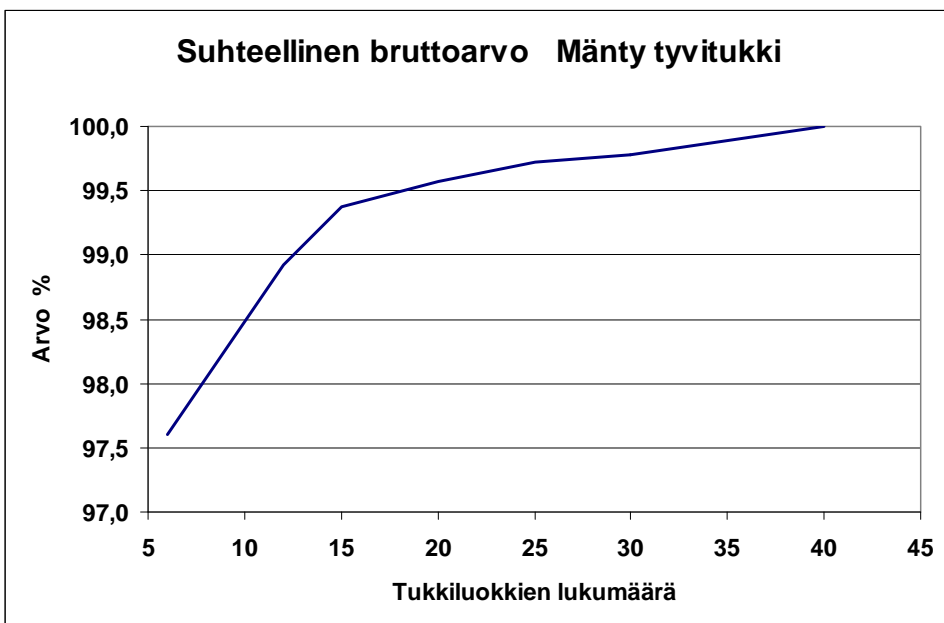
Männyn tyvitukin läpimittajakauma (kuva 47) alkaa minimiläpimitasta 140 m. Suurimmat tukit ovat läpimitaltaan 350 mm. Jakaumassa on muutamia piikkejä. Ilmeisesti joitakin läpimittoja on suosittu ja ainakin yhtä kartettu.



Kuva 47. Männyn tyvitukin latvaläpimittajakauma millimetrin luokissa.

Kuvassa 48 on esitetty männyn tyvitukin sahauksen bruttoarvon riippuvuus tukkiluokkien lukumäärästä. Lokeromäärällä 40 saatu bruttoarvo on merkitty sadalla ja muiden lokeromäärien arvot on suhteutettu siihen. Kuudella lokerolla saatu tulos on 97,6 prosenttia. Arvokäyrä nousee ensin jyrkästi 14 lokeroon asti ja siitä lähtien loivemmin. Kahdellakymmenellä lokerolla saavutetaan 99,6 prosenttia ja kolmellakymmenellä lokerolla 99,75 prosenttia 40 lokeron arvosta.

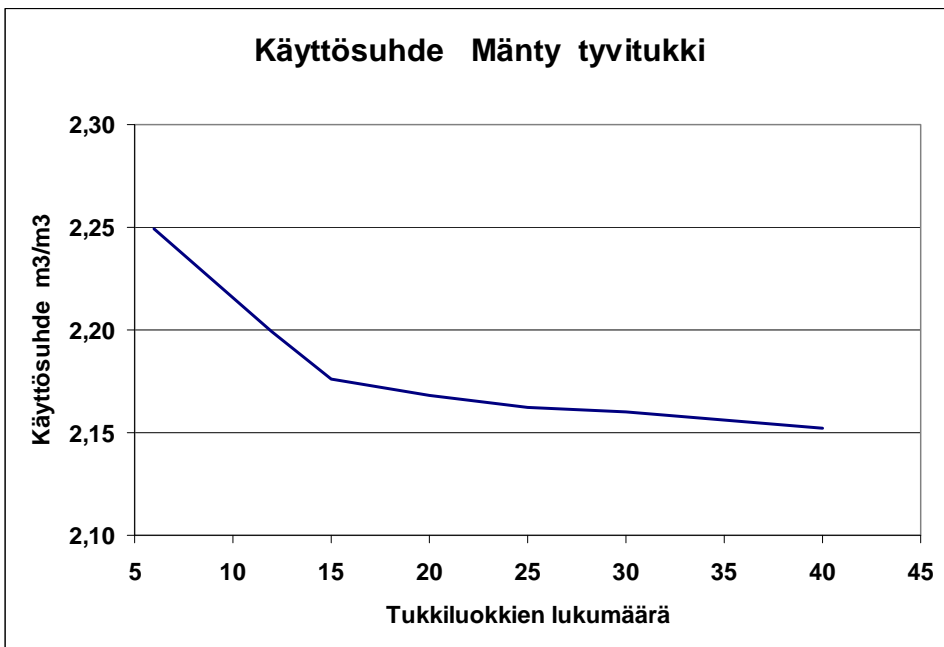
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 48. Männyn tyvitukin sahauksen suhteellinen bruttoarvo lokeromäärän funktiona.

Kuvassa 49 on esitetty männyn tyvitukin sahauksen käyttösuhteen riippuvuus sahan tukkiluokkien lukumäärästä. Lokeromäärän ollessa 6 on käyttösuhde 2,25, josta se ensin putoaa voimakkaasti lokeromäärän kasvaessa viiteentoista. Viidellätoista lokerolla käyttösuhde on 2,17. Lokeromäärän kasvaessa neljäänkymmeneen, käyttösuhde laskee 2,15:een.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 49. Männyn tyvitukin sahauksen käytösuhde lokeromäärän funktiona.

Männyn väli- ja latvatukin jakauma (kuva 50) lähtee 120 millimetristä ja päättyy 290 millimetriin. Jakaumassa on havaittavissa huippu noin 150 mm:n kohdalla ja toinen huippu noin 190 mm:n kohdalla.

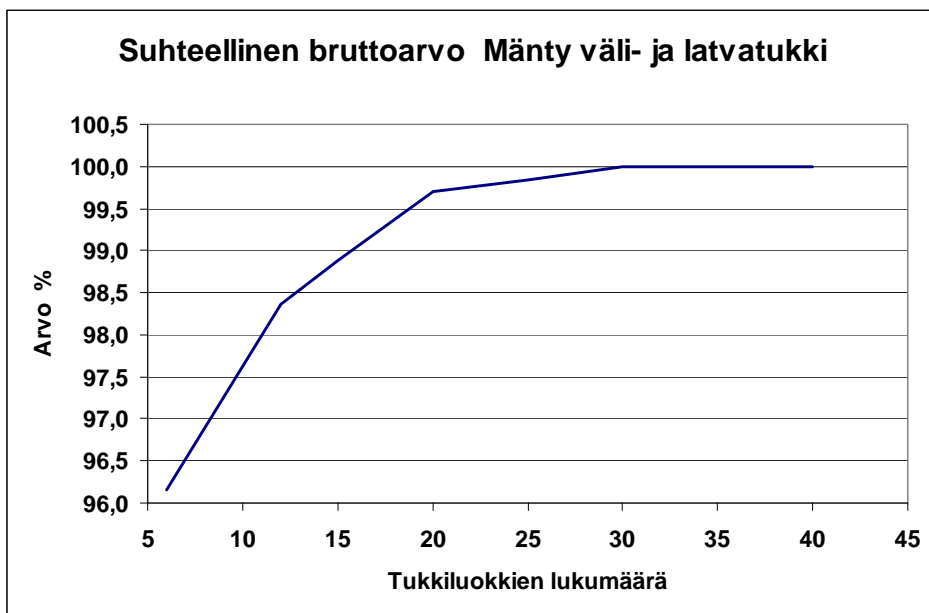
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 50. Männyn väli- ja latvatukin latvaläpimittajakauma millimetrin luokissa.

Kuvassa 51 on esitetty männyn väli- ja latvatukin sahauksen bruttoarvon riippuvuus tukkiluokkien lukumäärästä. Neljälläkymmenellä lokerolla saavutettua arvoa on merkitty sadalla ja muiden lokeromäärien arvot on suhteutettu siihen. Kuudella lokerolla päästään 96,2 prosenttiin 40 lokeron arvosta. Viidellätoista lokerolla bruttoarvo on 98,4 prosenttia, kahdelläkymmenellä lokerolla 99,7 ja kolmelläkymmenellä lokerolla 100 prosenttia 40 lokeron arvosta. Neljäkymmenen lokeron tulos saavutetaan jo kolmelläkymmenellä lokerolla. Läpimitta-alue väli- ja latvatukilla on 140–280 mm, joten alue on kapeampi kuin tyvitukin läpimitta-alue 140–350 mm. Tämän vuoksi lokeroita tarvitaan vähemmän.

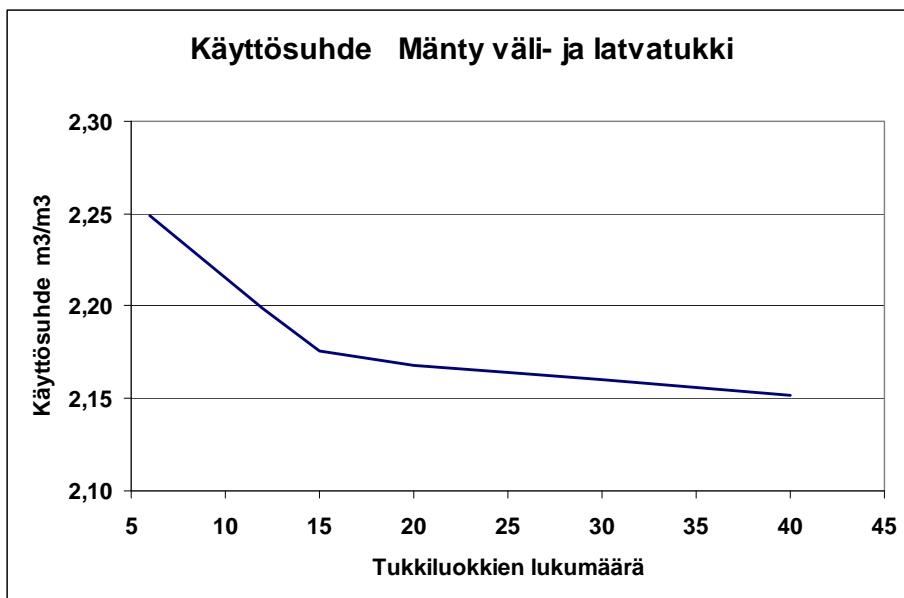
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 51. Männyn väli- ja latvatukin sahauksen suhteellinen bruttoarvo lokeromäärän funktiona.

Kuvassa 52 on esitetty männyn väli- ja latvatukin käyttösuhteen riippuvuus tukkiluokkien lukumäärästä. Käyttösuhte on kuudella lokerolla 2,25 ja laskee 2,17:ään lokeromäärän kasvaessa viiteentoista. Lokeromäärän kasvaessa edelleen neljäänkymmeneen käyttösuhte laskee tasaisesti 2,15:een.

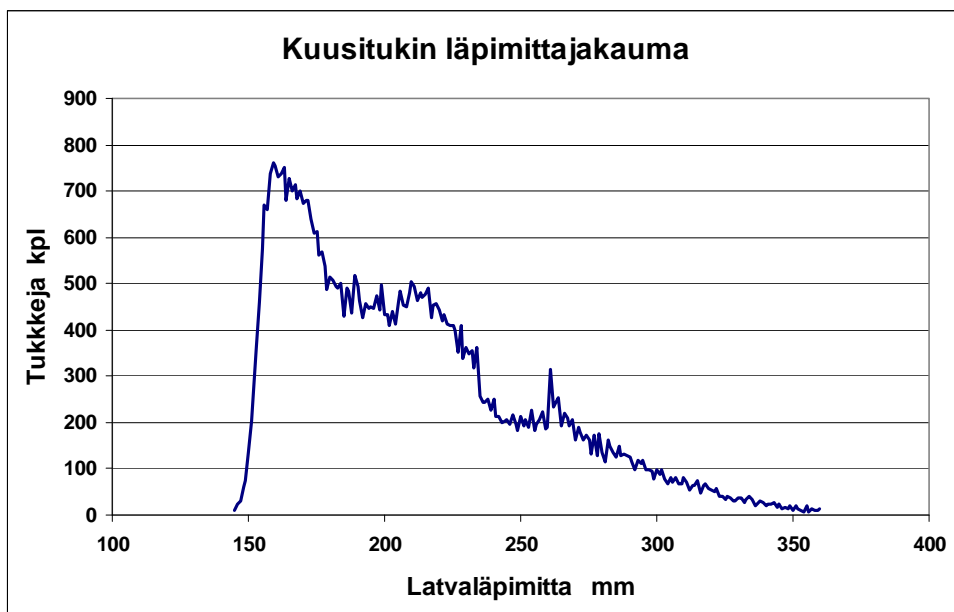
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 52. Männy väli- ja latvatukin sahauskuksen käyttösuhte lokeromäärän funktiona.

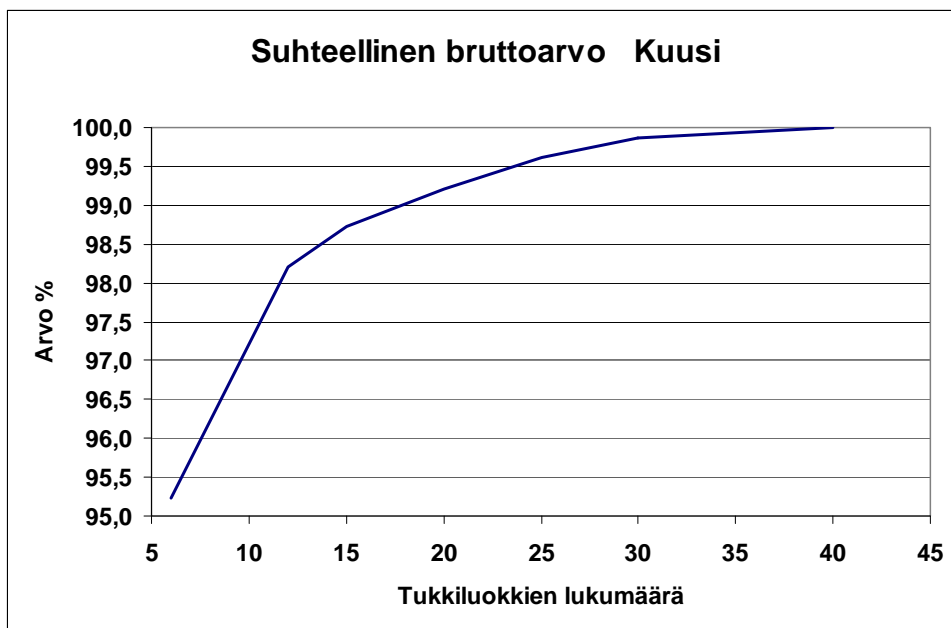
Kuusen läpimittajakauma (kuva 53) alkaa miniläpimitasta 150 mm ja päättyy 350 mm:n läpimittaan. Jakaumassa on havaittavissa kolme huippua, ensimmäinen 160 mm:n kohdalla, toinen 210 mm:n kohdalla ja kolmas 260 mm:n kohdalla. Huiput syntyvät valtapituisten runkojen latvasta lähtien ensimmäisen, toisen ja kolmannen tukin katkaisukohtiin.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 53. Kuusen latvaläpimittajakauma millimetrin luokissa.

Kuvassa 54 on esitetty kuusen sahauksen bruttoarvon riippuvuus sahan tukki-
luokkien lukumäärästä.

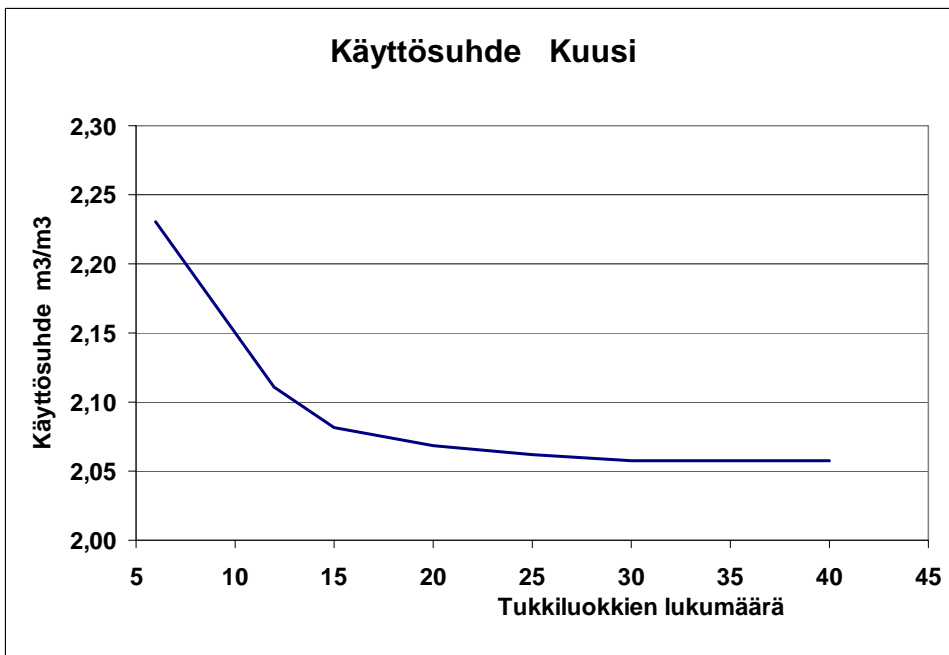


Kuva 54. Kuusen sahauksen bruttoarvo lokeromäärän funktiona.

Lokeromäärän vaikutus kuusitukkisuman sahausarvoon on esitetty kuvassa 54. Neljälläkymmenellä lokerolla saatua bruttoarvoa on merkitty sadalla ja muut arvot on suhteutettu siihen. Kuudella lokerolla saavutetaan 95,5 prosenttia 40 lokeron arvosta. Kahdellatoista lokerolla päästään 98,5 prosenttiin. Lokeromäärän kasvaessa tästä bruttoarvo kasvaa hitaammin, kahdellakymmenellä lokerolla päästään 99,2 prosenttiin, kolmellakymmenellä 99,8 prosenttiin 40 lokeron bruttoarvosta. Tuloksesta voidaan päätellä, että lokeroita ei tarvita enempää kuin 27–30 kappaletta.

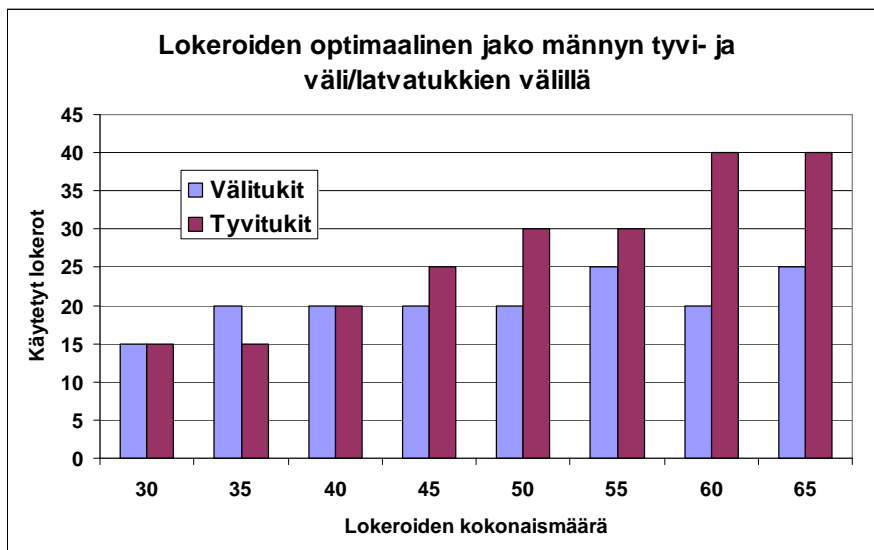
Kuvassa 55 on esitetty kuusen sahauksen käyttösuhteen riippuvuus tukkiluokkien lukumäärästä. Kuudella lokerolla käyttösuhte on 2,24, josta se pienenee voimakkaasti lokeromäärän kasvaessa. Viidellätoista lokerolla käyttösuhte on 2,08. Lokeromäärän kasvaessa käyttösuhte pienenee hitaasti ollen 30 lokerolla 2,06, josta se ei enää pienene.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 55. Kuusen sahauksen käyttösuhde lokeromäärän funktiona.

Kuvassa 56 on esitetty, miten tutkitun mäntysahan kannattaisi jakaa rajalliset lokerot kahden tukkilaadun välillä. Käytössä olevat lokeromäärät vaihtelevat 30:stä 65:een viiden lokeron välein. Tyvitukeille kannattaisi varata enemmän lokeroita kaikissa muissa vaihtoehdoissa paitsi kun lokeroita on käytössä 35. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että laskennat kummallakin tukkilaadulla on tehty melko karkeasti simulointipisteiden ollessa (6, 12), 15, 20, 25, 30 ja 40 lokeroa.



Kuva 56. Mäntysahan lokeromäärien allokointi tyvi- ja väli/latvatukkien välillä.

6.5 Sahausmenetelmät ja asetteet

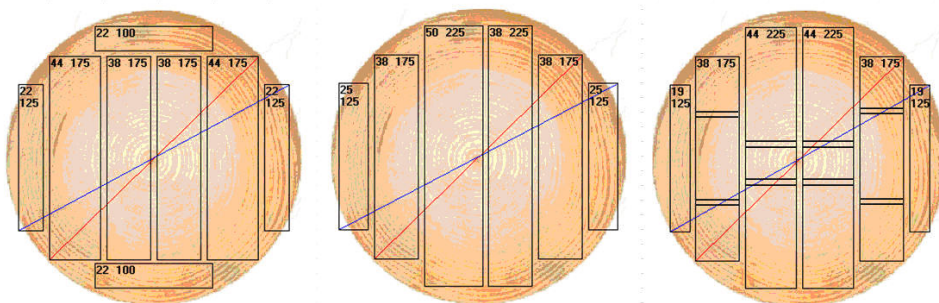
6.5.1 Nelisahauksen ja läpisahauksen vertailu

Perinteisesti Pohjoismaisessa sahausessa käytetään nelisahausta (kuva 57), jossa sahauksen ensimmäisessä vaiheessa tukin keskeltä sahataan keskikappale, pelkka, ja tukin sivuilta särmättäviä sivulauta-aihoita. Jakosahausvaiheessa pelkan keskeltä otetaan sydäntavarakappaleita ja sivuilta sivulautoja tai sivulauta-aihoita. Jakosahauksessa ei enää voida vaikuttaa sydäntavaran leveyteen, koska se on määräytynyt jo pelkkasahauksessa. Asetteesta riippuen jakosahauksessa voi syntyä myös pelkan levyisiä sivulautoja. Usein kuitenkin aihiot särmätään esimerkiksi erillisillä särmäsahoilla.

Profilointisahausta, jossa kaikkien sahatavarojen särmäys lopulliseen leveyteen tapahtuu varsinaisella sahalinjalla, on eräs nelisahauksen muoto.

Läpisahausmenetelmässä (kuva 57) tukki sahataan, siivutetaan paksummiksi tai ohuemmiksi viipaleiksi, lamelleiksi. Viipaleet kuljetetaan särmäysvaiheeseen, jossa jokainen viipale särmätään haluttuun sahatavaran leveyteen viipaleen geometristen ja laadullisten ominaisuuksien perusteella. Mikäli särmäsaha on moniteräinen, viipaleesta voidaan sahata useita sahatavarakappaleita samanaikaisesti.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 57. Periaatteellinen kuva nelisahauksesta ja läpisaauksesta

Nelisahaus tuli vallitsevaksi sahausmenetelmäksi viime vuosisadalla erilaisista syistä. Seuraavassa tarkastellaan perinteisen nelisahauksen ja läpisaauksen etuja ja haittoja.

Nelisahauksen etuja:

- Sydäntavaran saanto, jonka osuus sahatavaran kokonaismäärästä on noin 70 prosenttia, on yleensä määrällisesti taattu kun tukkiluokka on oikein valittu.
- Sydäntavaran laatujauma on ollut ennustettavissa, kun sahataan samaa tukkiluokkaa samalla asetteella toistuvasti.
- Tukin arvokkain, oksaton pintaosuus saatiin talteen sivulaudoiksi.
- Tuotejauma sahan jälkeen dimensiolajittelussa on ollut kohtalaisen pieni.
- Särmävirheet kohdistuvat ainoastaan sivulautoihin.

Nelisahauksen ongelmia:

- Sydäntavara lankeaa, ts. sen laatujaumaan ei voida vaikuttaa muulla tavoin kuin kappaletta katkaisemalla.

Läpisaauksen etuja:

- Jokainen sahatavaraviipale voidaan suunnata oikein ja särmätä optimaalisesti siihen leveyteen ja laatuun, joka tuottaa parhaan mahdollisen arvon – mikäli mekaniikka toteuttaa särmäyksen oikein.
- Samasta saheesta voidaan samanaikaisesti särmätä useita kappaleita, mikäli käytetään moniteräistä särmäsahaa.
- Voidaan vaikuttaa aktiivisesti sahatuotteiden dimensio- ja laatujaumaan.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

- Läpisaauksessa voidaan käyttää sekä lajittelemattomia että lajiteltuja tukkeja.

Läpisaauksen ongelmia entisaikaan:

- Kaikki sahatavara oli särmättävä, pääsääntöisesti käsin.
- Manuaalinen särmäys on erittäin haastava tehtävä ja särmäysvirheet saattoivat muodostua huomattaviksi. Sahatavarasaannon ja arvon menetykset olivat suuremmat nelisahaaukseen verrattuna.
- Tuotejakauma ei ollut nelisahaaukseen verrattuna yhtä hyvin hallittavissa.

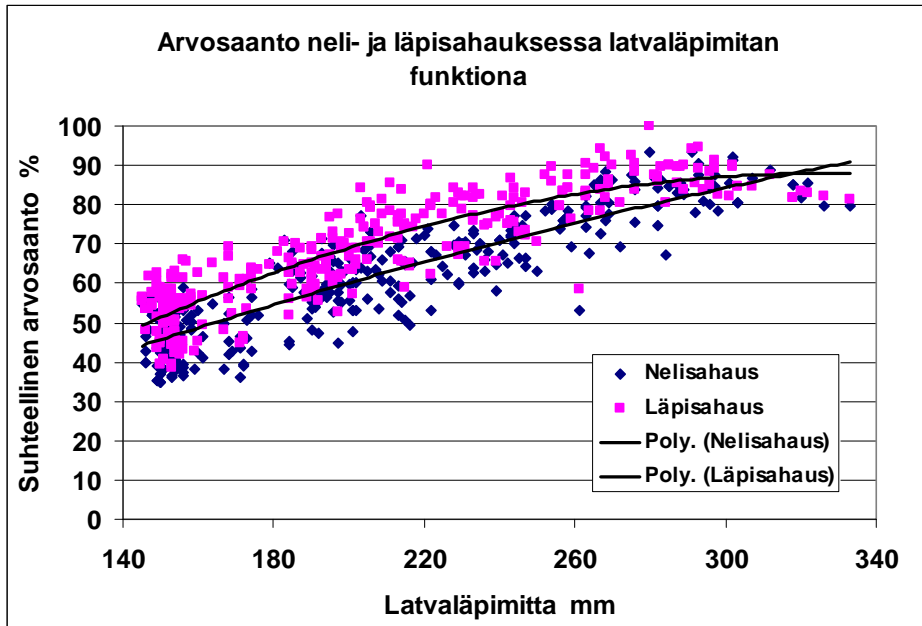
Läpisaauksen mahdollisuuksia nykypäivänä:

- Jokainen tukista saatu viipale (läpisaheen sahaus, särmäysasetteet ja -suuntaus) voidaan optimoida erikseen.
- Läpisaauksen menetelmässä viipaleiden saauksen päätöksenteko, särmäysasetteet ja kappaleiden suuntaus, perustuvat uuteen lisätietoon: ts. avattujen pintojen tarkkaan geometriaan ja laatuominaisuuksien mittaamiseen – esimerkiksi yksittäisten oksien sijainti.
- Läpisaauksessa ei lankea sydäntavara niin kuin nelisahaauksessa.
- Voidaan hyödyntää tukkien sisäisten ominaisuuksien mittaamista jo ennen sahausvaihetta, viipaleiden tekoa.
- Läpisaauksen menetelmässä on helppo tehdä komponentteja.

Ongelmia ja haasteita:

- Jos läpisaauksen särmäys tehdään kuivana, saheet on kuivattava. Läpisaauksen rimoitus on vaikeampaa kuin sahatavaran. Kuivauksessa energiaa kuluu turhaan reunojen kuivatukseen. Kuivahakekin on huonompaa kuin tuorehake.
- Jos särmätään useita kappaleita samanaikaisesti, kappaleiden kuljetus saattaa muodostua haasteelliseksi

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 58. Tukin sahauksessa saatavien tuotteiden suhteellinen arvosaanto (%) tukin latvaläpimitan funktiona nelisahauksessa ja läpisahauksessa. Simuloitujen tukkien kokonaismäärä on 300 kpl. Läpisahauksessa on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahauksessa. Pistejoukkoihin on sovitettu toisen asteen polynomit.

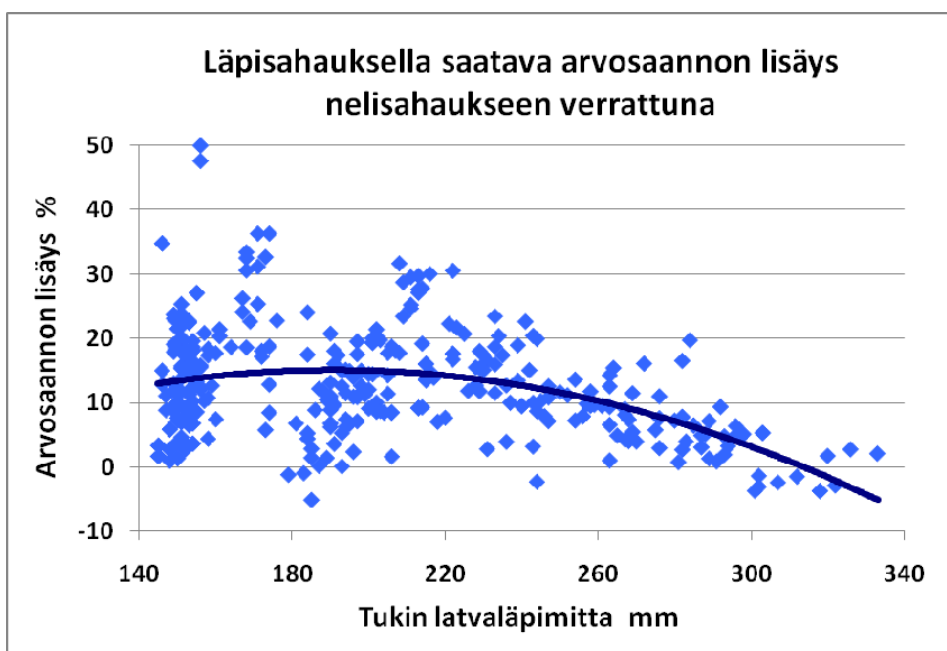
Kuvassa 58 esitetään tukin sahauksen simuloinnissa saatu suhteellinen arvosaanto (%) tukin latvaläpimitan funktiona sekä nelisahauksessa että läpisahauksessa. Arvosaanto on kuorettomasta tukista saatujen tuotteiden myyntiarvojen summa. Tukin suhteellinen arvosaanto prosentteina saadaan kun sahatavaran, hakkeen ja purun myyntiarvojen summa jaetaan parhaimman yksittäisen tukin (vertailutuki) tuottamalla myyntiarvojen summalla. Simuloitujen tukkien kokonaismäärä oli 300 kpl. Läpisahauksessa on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahausvaiheessa. Sahatavaroiden paksuudet ovat kummassakin tapauksessa samat. Nelisahausta ja jakosahausta kuvaavien pistejoukkojen kautta on laskettu myös regressiomallit.

Kuvasta 58 nähdään arvosaannon varsin suuri hajonta kummallakin sahaustavalla. Pienimmillä noin 150 mm latvaläpimitaltaan olevilla tukeilla nelisahauksen suhteellinen arvosaanto vaihtelee noin 35 prosentista 55 prosenttiin. Suurin arvo on lähes kaksinkertainen pienimpään verrattuna. Vastaavat arvot läpisahauksessa ovat 40 prosentista ja 65 prosenttiin. Latvaläpimitan suuretessa arvosaanto kasvaa jokseenkin lineaarisesti latvaläpimitaan 280 mm saakka. Tä-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

män jälkeen arvosaanto huononee jonkin verran kummallakin sahausmenetelmällä käytettävissä olevista aseteista johtuen. Latvaläpimitan 300 mm kohdalla yksittäiset suhteelliset arvosaannot vaihtelevat 85 ja 95 prosentin välillä. Arvosaantojen hajonta pienenee selvästi tukin latvaläpimitan kasvaessa.

Läpisahausta kuvaavan regressiomallin mukaan suhteellinen arvosaanto 150 mm:n läpimittaisella tukilla on 53 prosenttia ja 300 mm:n läpimittaisella tukilla 88 prosenttia. Vastaavat arvot nelisahauksessa ovat 47 ja 87 prosenttia. Läpisahaus on arvosaannon suhteen tuottavampi menetelmä koko latvaläpimittaluueella 150 mm:sta 300 mm:iin.

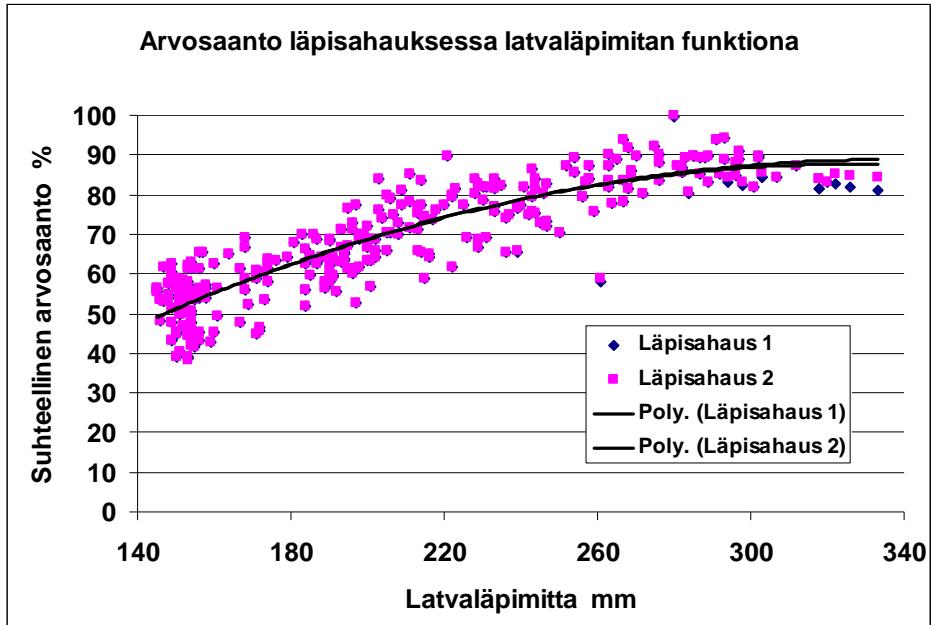


Kuva 59. Läpisahausta ja nelisahauksessa saatavien tuotteiden myyntiarvojen erotus (%) tukin latvaläpimitan funktiona. Kuvaaja laskettu 300 tukin simuloinnin perusteella. Läpisahausta on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahauksessa. Pistejoukkoon on sovitettu toisen asteen polynomi.

Kuvassa 59 esitetään, kuinka paljon parempi (prosentteissa) on läpisahausta saatava arvosaanto nelisahaukseen verrattuna. Arvot on saatu kuvassa 58 esitettyjen sahausarvojen erotuksena. Arvosaannon lisäys on 14...15 prosenttia läpimittavälillä 150-220 mm. Läpimitan kasvaessa arvoero alkaa pienentyä. Läpimitan ollessa 260 mm arvoero on kymmenen prosenttia. Läpimitan ollessa 315 mm, arvoeroa ei enää ole. Lähes koko läpimittavälillä 150-340 mm on myös

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

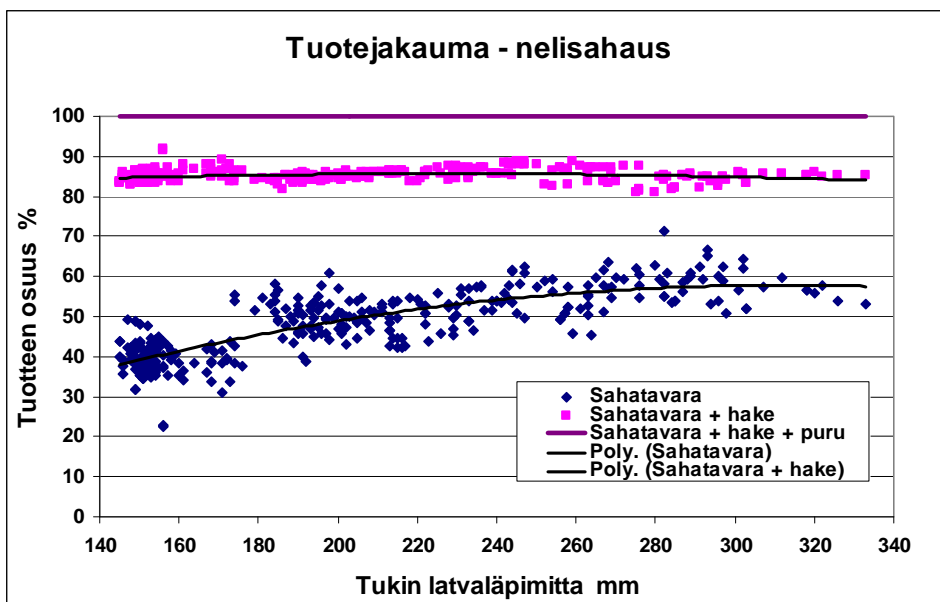
tukkeja, joilla läpisahauksessa saatava arvosanto on pienempi kuin nelisahauksella saatava arvosanto.



Kuva 60. Tukin sahauksessa saatavien tuotteiden, sahatavaran, hakkeen ja purun myyntiarvojen suhteellinen arvosanto (%) verrattuna parhaimpaan yksittäiseen arvoon tukin latvaläpimitan funktiona kahdella eri läpisahausmenetelmällä. Läpisahausmenetelmä 1:llä yhdestä läpisaheesta voidaan särmätä yksi kappale ja läpisahausmenetelmä 2:lla kaksi kappaletta. Simuloitujen tukkien kokonaismäärä on 300 kpl. Läpisahausasete on kummassakin tapauksessa sama. Pistejoukkoihin on sovitettu toisen asteen polynomit.

Läpisahausmenetelmässä tukki sahataan läpisaheiksi, viipaleiksi. Saadut läpisaheet särmätään tuotteiden edellyttämään tuorelevyteen särmäsahalla. Kaksiteräisessä särmäsahassa saadaan aihioista vain yksi kappale, mutta jos sahoja on useita, voidaan samasta aihioista sahata useita kappaleita. Kuvassa 60 verrataan suhteellisia arvosantoja kahdessa eri tilanteessa: läpisahausmenetelmä 1:ssä yhdestä läpisaheesta voidaan särmätä yksi kappale ja läpisahausmenetelmä 2:ssa kaksi kappaletta.

Kuvan perusteella nähdään hyvin selvästi, että vain kaikkein suurimpia tukkeja lukuun ottamatta riittää, kun läpisaheesta särmätään vain yksi kappale. Jos tukkikoko ylittää 300 mm, täytyy aihioista ottaa kaksi kappaletta.

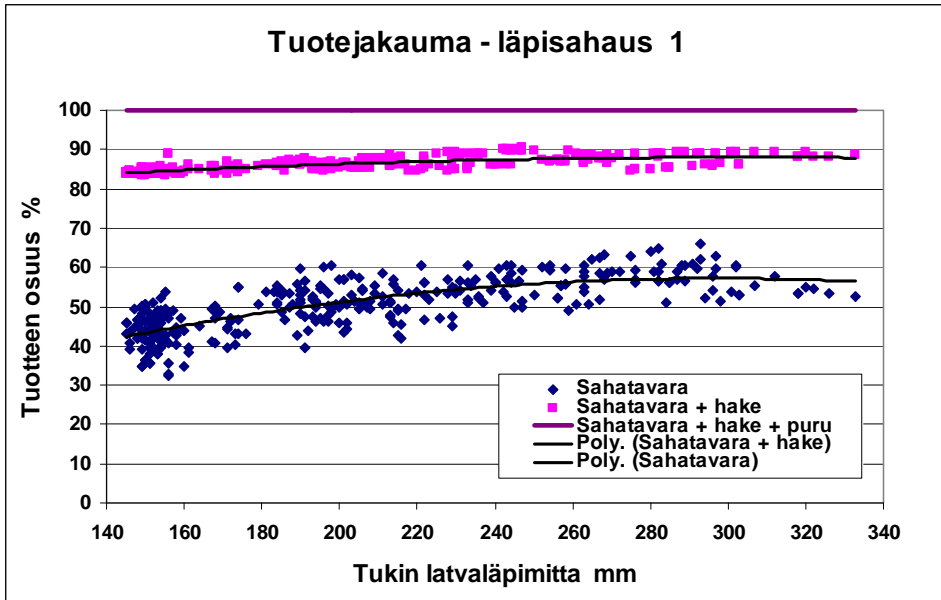


Kuva 61. Nelisahauksessa saatavat sahatavaran, hakkeen ja purun prosenttiosuudet tukin kuorettomasta tilavuudesta tukin latvaläpimitan funktiona. Sahausraon paksuus on 4 millimetriä. Pistejoukkoihin on sovitettu toisen asteen polynomit.

Kuvissa 61 ja 62 esitetään, miten kuoreton tukki muuntuu sahatavaraksi, hakkeeksi ja puruksi nelisahauksessa (kuva 61) ja läpisaauksessa (kuva 62). Prosenttiosuudet ovat suhteellisia kiintotilavuuksia tukin kiintotilavuudesta. Kuvassa 62 esitetään sahatavaran osuus, sahatavaran plus hakkeen osuus latvaläpimitan funktiona nelisahauksessa. Sahatavaran osuus pienillä tukeilla on noin 40 prosenttia, keskikokoisilla tukeilla hiukan yli 50 prosenttia ja suurilla tukeilla noin 58 prosenttia.

Sivutuotteiden, hakkeen ja purun, osuus kuorettomasta tukkien tilavuudesta laskien on pienillä tukeilla noin 60 prosenttia ja suurilla tukeilla hiukan yli 40 prosenttia. Tutkimuksen mukaan purun osuus vaihtelee noin 10 prosentista lähes 20 prosenttiin tukkikoosta ja sahausasetteesta riippuen. Tukin latvaläpimitan suureneminen vaikuttaa lievästi myös puruprosentin suurenemiseen. Keskimääräinen purun osuus tukkitilavuudesta on noin 14 prosenttia.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

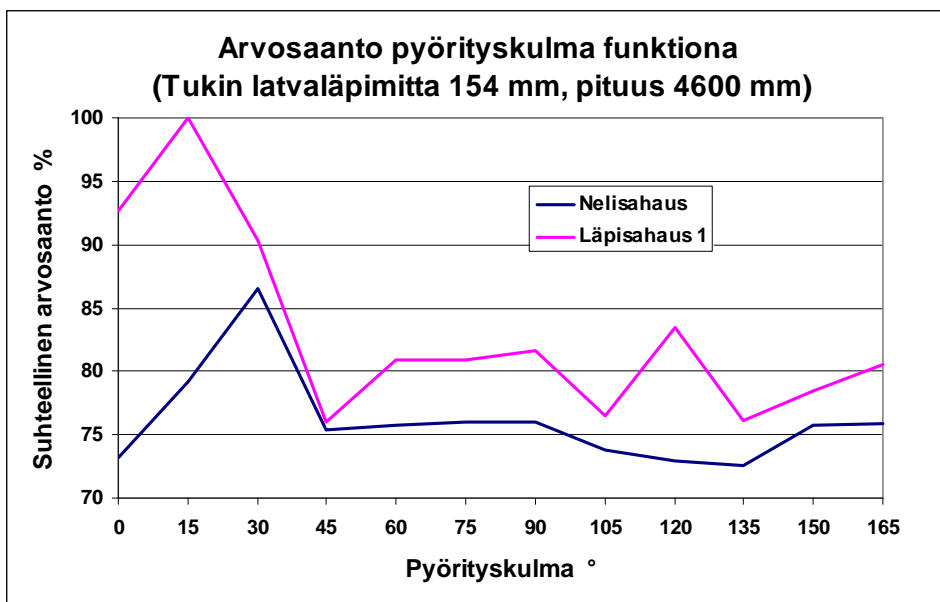


Kuva 62. Läpisahauksessa saatavat sahatavaran, hakkeen ja purun prosenttiosuudet tukin kuorettomasta tilavuudesta tukin latvaläpimitan funktiona. Läpisahauksessa voidaan särmätä vain yksi kappale läpisaheesta. Pistejoukkoihin on sovitettu toisen asteen polynomit.

Kuvassa 62 esitetään sahatavaran osuus, sahatavaran plus hakkeen osuus latvaläpimitan funktiona läpisahauksessa. Sahatavaran osuus pienillä tukeilla on noin 45 prosenttia, keskikokoisilla tukeilla noin 55 prosenttia ja suurilla parhaimmillaan noin 60 prosenttia. Tukkien latvaläpimitan ylittäessä 280 mm, sahatavaran saanto pienenee hienokseltaan, kun läpisaheesta voidaan särmätä vain yksi sahatavarakappale.

Tutkimuksen tulosten mukaan purun osuus vaihtelee 17 prosentista ja 10 prosentin välillä tukkikoosta ja sahausasetteesta riippuen. Tukin latvaläpimitan kasvaessa purun määrä pienenee, kuitenkin sitä vähemmän mitä suuremmasta latvaläpimitasta on kysymys. Läpisahauksessa keskimääräinen purun osuus tukkitilavuudesta on noin 12 prosenttia. Näin ollen läpisahauksessa purun osuus on noin 2 prosenttiyksikköä ts. noin 15 prosenttia pienempi kuin nelisahauksessa.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

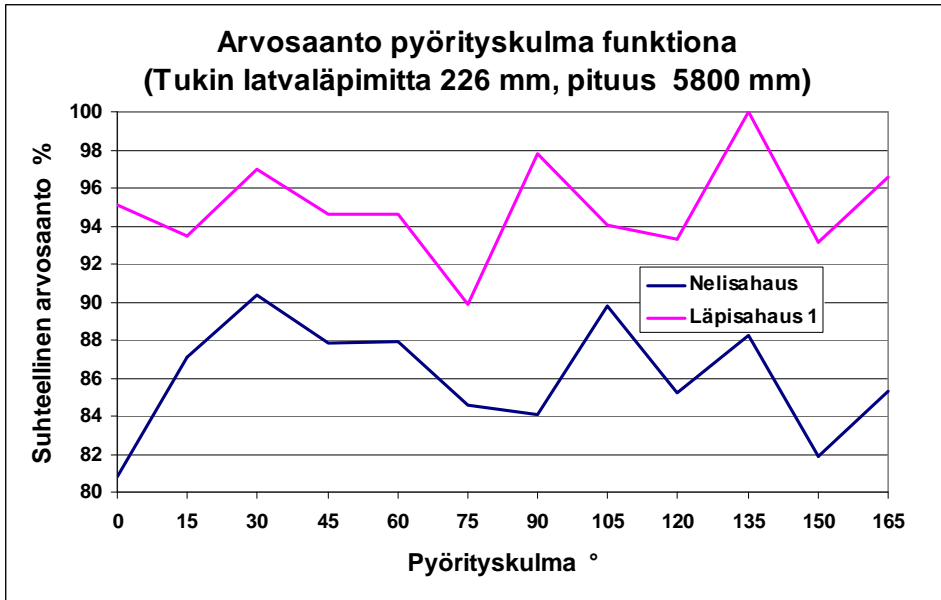


Kuva 63. Tukin sahauskassa saatavien tuotteiden, sahatavaran, hakkeen ja purun myyntiarvojen summan suhteellinen arvo (%) parhaimpaan arvoon (= 100 %) verrattuna tukin pyörityskulman funktiona nelisahauksessa ja läpisahauskassa. Simuloidun esimerkkikutukin latvaläpimitta on 154 mm ja pituus 4600 mm. Läpisahauskassa on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahauksessa. Kukin läpisahe on särmätty vain yhdeksi kappaleeksi.

Sahausprosessissa tukki pyritään pyörittämään ennen ensimmäistä sahakonetta sellaiseen asentoon, jossa sahattuna se tuottaa mahdollisen hyvän arvosaannon. Kuvissa 63–66 esitetään, miten pyörityskulma vaikuttaa tukista saatavaan arvosaantoon neljällä eri tukilla, joiden latvaläpimitta vaihtelee 154 mm:stä 250 mm:iin. Kuvista on todettavissa, että oikea pyörityskulma on merkittävä tekijä sahaustuloksen muodostumisen kannalta.

Kuvan 63 tapauksessa tukin latvaläpimitta on 154 mm. Parhaimpaan arvoon (100 %) päästään läpisahauskassa 15 asteen pyörityskulmalla. Huonoimmillaan läpisahaus on tuottanut vain 76 prosentin suhteellisen arvosaannon. Nelisahauksessa paras arvo 86 prosenttia saavutetaan 30 asteen pyörityskulmalla. Suhteellinen arvo on 14 prosenttia pienempi kuin läpisahauskassa saatava paras arvo. Tuloksista nähdään, että tukin pyörityksessä on alue 45 asteesta 180 asteeseen, jossa arvosaannon vaihtelut ovat varsin pienet sekä läpisahauskassa, että nelisahauksessa.

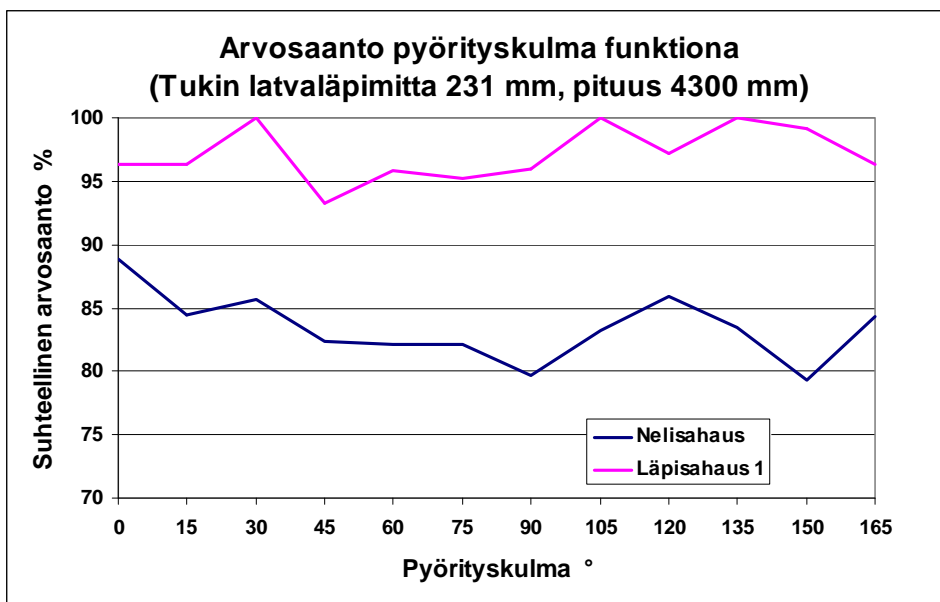
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 64. Tukin sahauskassa saatavien tuotteiden, sahatavaran, hakkeen ja purun myyntiarvojen summan suhteellinen arvo (%) parhaimpaan arvoon (= 100 %) verrattuna tukin pyörityskulman funktiona nelisahauksessa ja läpisahauskassa. Simuloidun esimerkkikutin latvaläpimitta on 226 mm ja pituus 5 800 mm. Läpisahauskassa on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahauksessa. Kukin läpisahe on särmätty vain yhdeksi kappaleeksi.

Kuvan 64 tukilla, jonka latvaläpimitta on 226 mm, läpisahaus tuottaa selkeästi paremman taloudellisen sahaustuloksen pyörityskulmasta riippumatta. Läpisahaustuksen huonoin pyörityskulmakin tuottaa saman suhteellisen arvosaantotuloksen kuin nelisahauksen paras pyörityskulma. Kuvasta 64 nähdään, että sekä läpisahauskassa että nelisahauksessa on kolme pyörityksen kohtaa, jotka tuottavat hyvän sahaustuksen arvosaannon. Kummallakin sahaustusmenetelmällä on yksi pyörityskohta, jossa arvo on alimmillaan. Tätä kohtaa pitää voida välttää pyörityttäessä tukkia ennen sahakonetta. Parhaimman ja huonoimman pyörityskulman ero on noin 10 prosenttiyksikköä sekä läpisahauskassa että nelisahauksessa. Kuvasta 64 nähdään että läpisahaustusta kuvaava kuvaaja on hyvin samanmuotoinen kuin nelisahauksusta esittävän kuvaajan.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

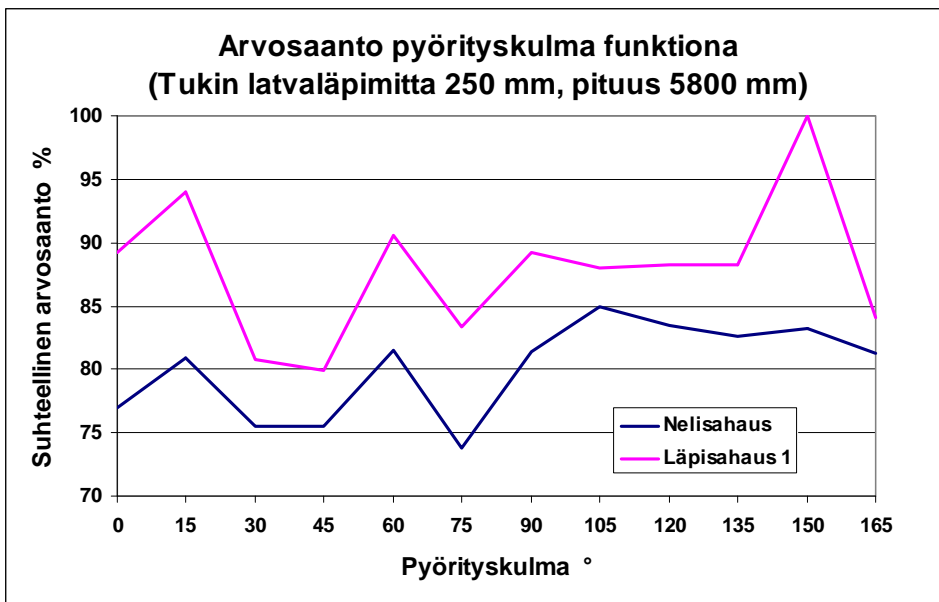


Kuva 65. Tukin sahauskassa saatavien tuotteiden, sahatavaran, hakkeen ja purun myyntiarvojen summan suhteellinen arvo (%) parhaimpaan arvoon (= 100 %) verrattuna tukin pyörityskulman funktiona nelisahauksessa ja läpisahauskassa. Simuloidun esimerkkikutin latvaläpimitta on 231 mm ja pituus 4300 mm. Läpisahauskassa on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahauksessa. Kukin läpisahe on särmätty vain yhdeksi kappaleeksi.

Kuvassa 65 esitettävällä tukilla latvaläpimitta on 231 mm, läpisahaus tuottaa selkeästi paremman taloudellisen sahaustuloksen kuin nelisahaus pyörityskulmasta riippumatta. Läpisahauskassa huonoin pyörityskulmakin tuottaa noin viisi prosenttiyksikköä paremman sahaustuloksen kuin nelisahaus. Läpisahauskassa sahaustulokset ovat noin viiden asteen sisällä kun taas nelisahauksessa arvot ovat noin kymmenen prosentin sisällä. Näin ollen kuvan 65 tapauksessa nelisahaus on herkempi pyöritysvirheen aiheuttamille saannonmenetyksille.

Kuvasta 65 nähdään, että läpisahausmenetelmää käytettäessä päästään hyvään tulokseen, jos pyörityskulma on 100 asteen ja 150 asteen välillä. Huono sahaustulos saadaan, jos pyörityskulmaksi valitaan arvo, joka on 40 asteen ja 90 asteen välillä. Nelisahauksessa ei ole näin selviä pyörityskulman alueita havaittavissa. Nelisahauksessa parhaimpaan tulokseen päästään, jos pyörityskulma on 160 asteen ja 185 asteen välillä. Toinen alue alkaa 105 asteesta ja päättyy 135 asteeseen.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 66. Tukin sahauskassa saatavien tuotteiden, sahatavaran, hakkeen ja purun myyntiarvojen summan suhteellinen arvo (%) parhaimpaan arvoon (= 100 %) verrattuna tukin pyörityskulman funktiona nelisahauksessa ja läpisahauskassa. Simuloidun esimerkkikutin latvaläpimitta on 250 mm ja pituus 5800 mm. Läpisahauskassa on käytetty samaa asetetta kuin nelisahauksen jakosahauksessa. Kukin läpisahe on särmätty vain yhdeksi kappaleeksi.

Arvosaannon ero vaihtelee varsin paljon. Läpisahaus menetelmänä on kaikissa tapauksissa nelisahausta tuottavampi arvosaannon suhteen, kun tukin pyöritysasento optimoidaan. Kahdella tukilla (kuvat 64 ja 65) läpisahauskassa huonoinkin pyörityskulma tuottaa paremmin kuin nelisahauksen paras pyörityskulma.

Kun läpisahauskassa parhaimman ja huonoimman pyörityskulman tuottoero on selvästi suurempi kuin nelisahauksessa, on läpisahaus siten herkempi myös sahaustuloksen vaihteluille.

6.6 Sahausraon taloudellinen merkitys sahauskassa

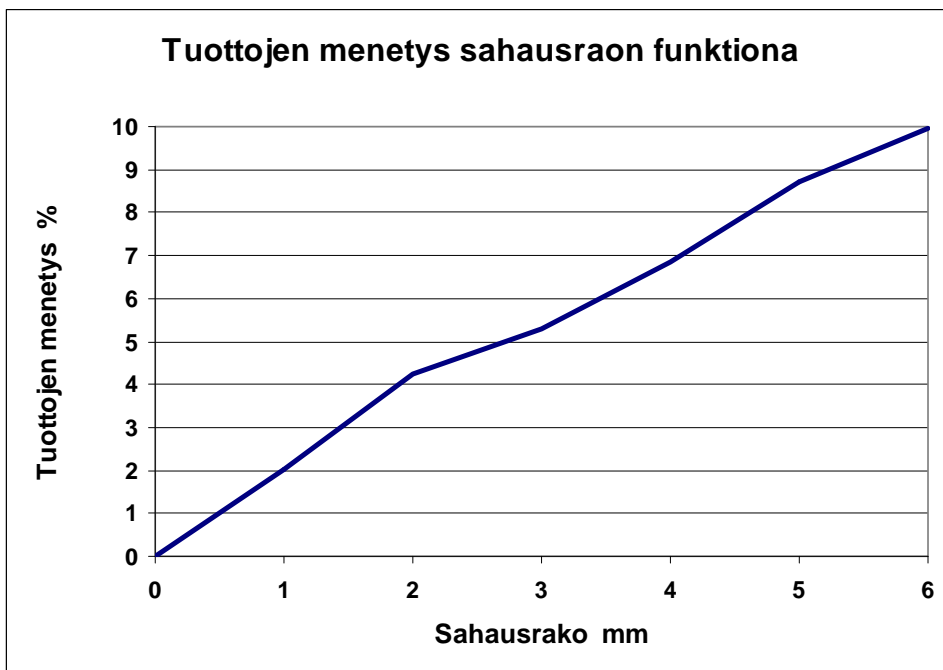
Varsinaisen sahauskassa työstötapahtumassa, ts. terien leikkauksessa, saavutettava arvosaanto riippuu sahausraosta ja mittatarkkuudesta. Mitä suuremmaksi sahausrako tulee, sitä suurempi osa tulevasta puuraaka-aineesta muuntuu sahanpuruksi, ja sitä pienempi osuus tukista saadaan sahatavaraksi.

Sahausraon vaikutusta sahaustulokseen tutkittiin simuloimalla sahan asetteet ja laskemalla edelleen sahamallilla tietyn sahausjakson tuotanto. Simulointi suo-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

ritettiin 0, 1, 2, 3, 4, 5 ja 6 mm:n sahausraoilla. Tuloksena saatiin myyntituotot sahausraon funktiona.

Myyntituottojen menetys (kuva 67) kasvaa jokseenkin lineaarisesti sahausraon suurennettaessa.



Kuva 67. Myyntituottojen menetys sahausraon paksuuden funktiona.

Sahausraon vaikutusta sahaustulokseen tutkittiin myös simuloimalla viiden tukkiluokan (latvaläpimittarajat: 148–165 mm, 166–175 mm, 193–205 mm, 221–240 mm ja 285–300 mm) sahausta 3–5 asetteella kussakin luokassa käyttämällä pelkkasahan sahausrakona 0 mm, 2 mm, 4 mm ja 6 mm ja jakosahan sahausrakona 0 mm, 2 mm, 4 mm ja 6 mm siten, että kaikki kombinaatiot laskettiin. Tuloksista laskettiin tuottojen menetys prosentteina verrattuna tilanteeseen, että sahausraot olisivat 0 mm.

Taulukossa 14 on esitetty tuottojen menetykset 1 mm sahausraon lisäystä kohden. Jakosahan sahausraon merkitys on kaikissa tukkiluokissa suurempi kuin pelkkasahan. Myyntitulon suhteelliset menetykset ovat pienintä tukkiluokkaa lukuun ottamatta vähintään kaksinkertaiset.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Jakosahan sahausraon suurempi merkitys johtuu luonnollisesti siitä, että jakosahauksessa saadaan 80–85 prosenttia sahatavarasta. Jakosahauksessa pyritään Pohjoismaissa sahaamaan mahdollisimman suuret sydäntavarakappaleet. Jos jakosahauksessa otettaisiin pelkästään lautapaksuuksia, sahausaron merkitys korostuisi entisestään.

Taulukko 14. Keskimääräiset myyntitulon menetykset prosentteina 1 mm sahausraon lisäystä kohti sekä pelkka- että jakosahauksessa viidessä eri tukkiluokassa.

Tukkiluokan latvaläpimittarajat, mm	Myyntitulon menetys (%)	
	Pelkkasaha	Jakosaha
148—165	1,0	1,3
166—175	0,7	2,0
193—205	0,9	1,8
221—240	0,6	2,2
285—300	0,4	1,6
Keskiarvo	0,7	1,8

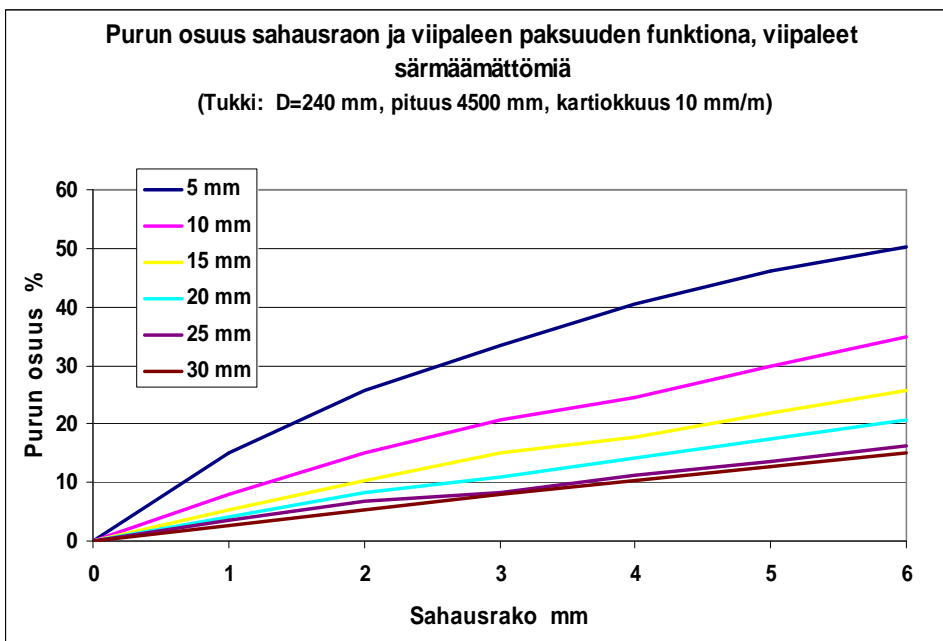
Latvaläpimitan suurentaminen vaikutti pelkkasahan sahausraon merkitystä pienentävästi (taulukko 14). Tämä johtuu siitä, että tukin läpimitan pienessä menetetään uloin sivulauta sitä todennäköisemmin mitä suuremmaksi sahausrako kasvaa.

Jos verrataan pyörösahausta (sahausrako 4,0 mm) ja vannesahausta (sahausrako 2,9 mm) keskenään, menetelmien keskimääräinen saantoero on

$$1,1 \times 0,7 \% + 1,1 \times 1,8 \% = 2,75 \%$$

olettaen, että kummankin menetelmän sahausmitat ovat samansuuruiset.

Sahausraon paksuuden vaikutusta sahatavasaantoon tutkittiin särmäämättömien viipaleiden läpisahauksessa. Simulointi suoritettiin kuudella viipalepaksuudella (5, 10, 15, 20, 25 ja 30 mm) ja seitsemällä sahausraolla (0, 1, 2, 3, 4, 5, ja 6 mm). Tukin latvaläpimita oli 240 mm, pituus 4 50 cm ja kartiokkuus 10 mm/m. Simuloinnin tulos on esitetty kuvassa 68.



Kuva 68. Purun osuus sahattavan tukin kokonaistilavuudesta sahausraon paksuuden funktiona viipaleiden läpisaauksessa. Laskenta on suoritettu kuudella viipalepaksuudella. Tukista on sahattu vain samanpaksuisia viipaleita.

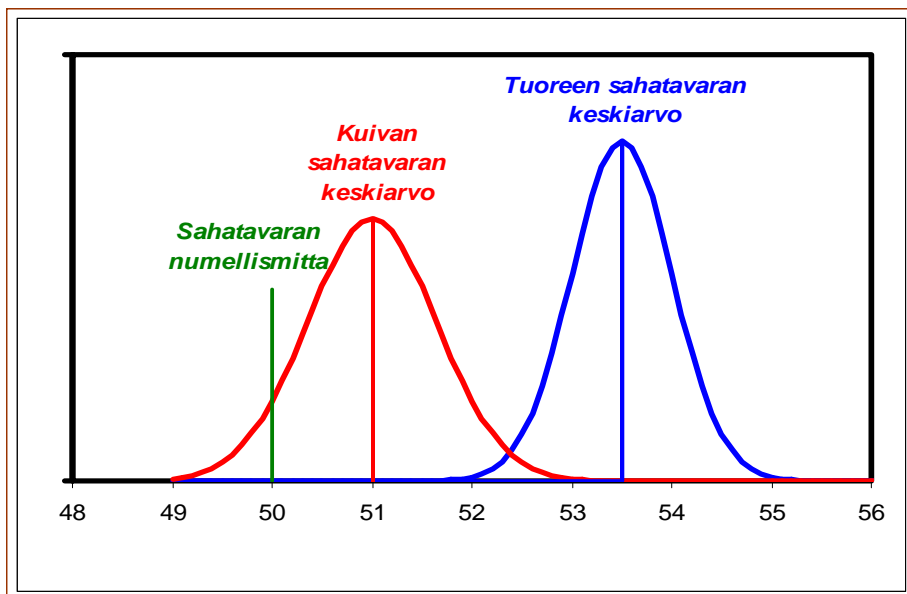
Sahausraon paksuuden lisääminen kasvattaa purun osuutta jokseenkin lineaarisesti – tosin pientä degressiivisyyttä on havaittavissa erityisesti pienillä viipalepaksuuksilla. Viipaleiden paksuuden suureneminen nostaa purun osuutta progressiivisesti. Sahausraon ollessa 4 mm ja viipalepaksuuden 5 mm, 40 prosenttia tukin tilavuudesta muuntuu saauksessa puruksi. Vastaava arvo 20 mm viipaleella on enää 15 prosenttia ja 30 mm:n viipalepaksuudella enää 10 prosenttia. Sahausraon paksuudella on erittäin merkittävä vaikutus viipalesaantoon. Merkitys on sitä suurempi mitä pienemmäksi viipalepaksuus tulee.

6.7 Mittatarkkuuden taloudellinen merkitys saauksessa

Varsinaisen saauksen työstötahtumassa, ts. terien leikkauksessa, saavutettava arvosaanto riippuu sahausraosta ja mittatarkkuudesta. Jos mitat vaihtelevat hyvin vähän, mittatarkkuus on hyvä, jos ne vaihtelevat laajoissa rajoissa, mittatarkkuus on huono. Sahatavaran mittatarkkuutta kuvataan tietyn nimellismitan, paksuusmitan tai leveysmitan, keskihajonnan, standardipoikkeaman S avulla.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Puuttumatta enempää sahausmittojen määräämisen filosofiaan, voidaan todeta, että tuoreen sahatavaran keskimääräinen tavoitemitta määräytyy suoritettavan vastaanottotarkastuksen perusteella ja se voidaan esittää kuvan 69 tavalla ja kirjoittaa kaavan (5) muotoon.



Kuva 69. Sahtavaran tuoremitan tavoitearvo määrätty sahaustarkkuuden, kuivauskutistuman ja sahatavaran vastaanottotarkastuksen perusteella.

$$\bar{X}_t = M + \lambda * \sqrt{S_t^2 + S_{kv}^2} + KV \quad (5)$$

\bar{X}_t	sahausmitta (mm)
M	nimellismitta (mm)
λ	todennäköisyyskerroin
S_t	tuoreen sahatavaramitan keskihajonta (mm)
KV	keskimääräinen kuivauskutistuma (mm)
S_{kv}	kuivauskutistuman keskihajonta (mm)

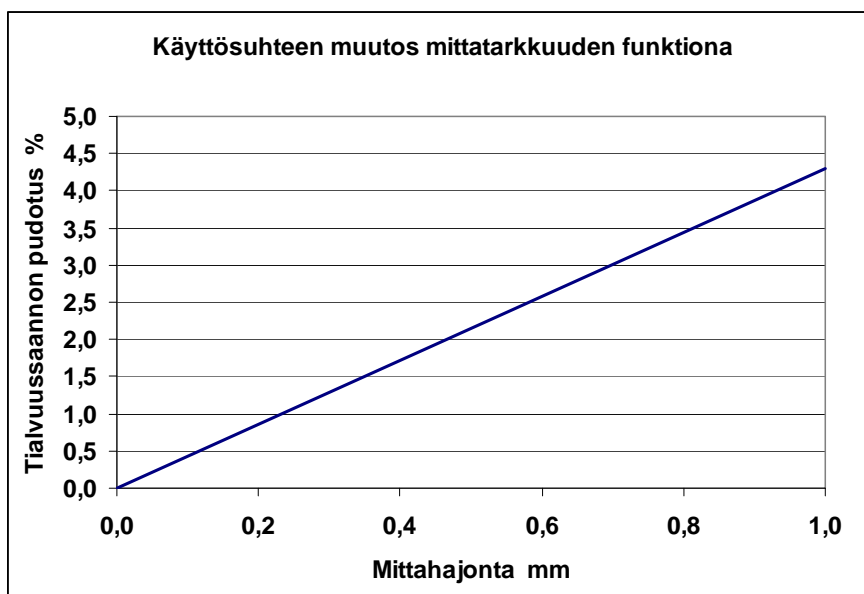
Kaavassa (5) esitetyistä suureista S_t (tuoreen sahatavaran tietyn dimensiomitan keskihajonta) on se, johon saha voi itse vaikuttaa joko sahakonevalinnalla tai suorittamalla mittojen valvontaa. Kaavasta (5) nähdään sahausmitan X_t suurenevan mittatarkkuuden huonotessa eli S_t :n kasvaessa. Näin ollen sahattua tuotantoa

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

kohti tarvitaan sitä enemmän puuraaka-ainetta mitä huonompi on sahauksen mittatarkkuus.

Saantolaskelmat suoritettiin käyttämällä keskimääräisiä kuivauskutistuma-arvoja. Kuvassa 70 on esitetty käyttösuhteen muutos dimensiomitan keskihajonnan funktiona, kun oletetaan, että keskihajonta muuntuu samanaikaisesti kaikissa dimensiomitoissa.

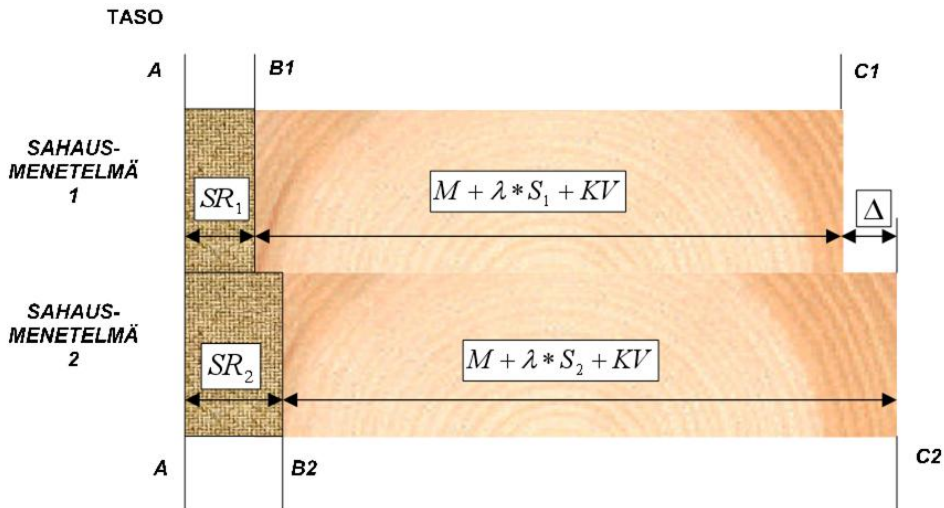
Mittatarkkuuden merkitystä sahakoneittain tarkasteltaessa voidaan todeta 0,1 mm keskihajonnan pienennyksen merkitsevän pelkkasahalla 0,12 prosentin ja jakosahalla 0,30 prosentin myyntitulon lisäystä. Näin ollen mittatarkkuuden merkitys on huomattavasti suurempi jakosahausvaiheessa. Verrattaessa kahta sahauslinjaa, joista toisen mittojen keskihajonta on 0,4 mm ja toisen 0,8 mm, käyttösuhteen erotukseksi saadaan noin 1,6 prosenttia.



Kuva 70. Tilavuussaannon muutos mittatarkkuutta kuvaavan keskihajonnan funktiona.

Sahausraon ja sahausmitan yhteisvaikutusta tarkastellaan kuvassa 72.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 71. Sahatavarakappaleen sijoittuminen edellisen yläpintaan A nähden. SR1 ja SR2 ovat sahausrajoja, M on nimellismitta, λ on todennäköisyyskerroin, S1 ja S2 ovat mittojen keskihajontoja, KV on kuivausvara ja Δ on sahatavarakappaleen yläpintojen erotus.

Kuvassa 71 taso A voi olla esimerkiksi sydäntavarakappaleen ulkopinta. Kahdella eri menetelmällä sahattaessa syntyvät sahausraot SR1 ja SR2. Sahatavarakappaleen ulkopinnan etäisyydet tasoista B1 ja B2 ovat sahatavaradimension tuoremittojen suuruiset.

Sahatavarakappaleiden yläpintojen erotukseksi Δ saadaan

$$\begin{aligned} \Delta &= SR_2 + M + \lambda * S_2 + KV - SR_1 - M - \lambda * S_1 - KV \Rightarrow \\ \Delta &= SR_2 - SR_1 + \lambda * (S_2 - S_1) \end{aligned} \quad (6)$$

- Δ kahdella sahausmenetelmällä 1 ja 2 sahattujen sahatavarakappaleiden pintatasojen kohtisuora etäisyys (mm)
- SR_1 ja SR_2 sahausmenetelmien 1 ja 2 sahausraot (mm)
- KV keskimääräinen kuivauskutistuma (mm)
- λ todennäköisyyskerroin

Kaavan (7) avulla saadaan laskettua kahden eri sahausmenetelmän sahausraot ja mittatarkkuudet "redusoiduksi sahausraoksi". Todennäköisyyskerroimen λ arvona voidaan käyttää 1,63. Jos sahatavarojen pintatasojen pitäisi olla samalla kohtaa ($\Delta = 0$, kuva 6 ja kaava 3) saadaan

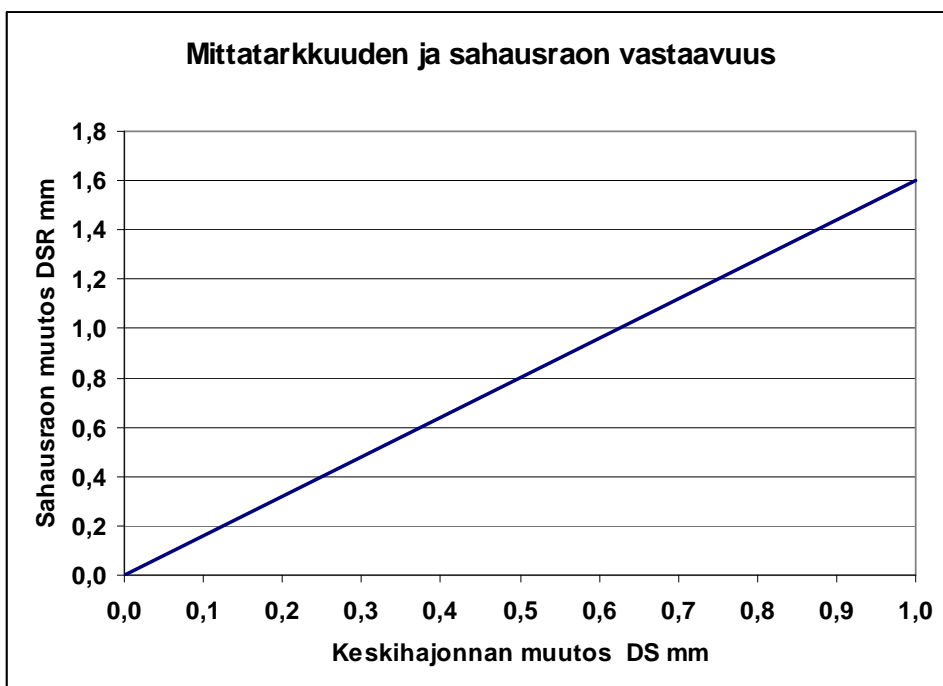
6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

$$SR_1 - SR_2 = \lambda * (S_2 - S_1) \quad (7)$$
$$\Delta SR = \lambda * \Delta S$$

ΔSR sahausraon muutos (mm)

ΔS sahausmitan keskihajonnan muutos (mm)

Jos $\lambda = 1,63$, saadaan kuvan 72 mukainen riippuvuus. Näin ollen, jos kahdella eri sahausmenetelmällä mittojen keskihajonnat poikkeavat toisistaan 0,20 mm, huonomman mittatarkkuuden omaavalla menetelmällä pitäisi olla 0,33 mm pienempi sahausrako, jotta menetelmien sahaussaannot olisivat samansuuruiset.



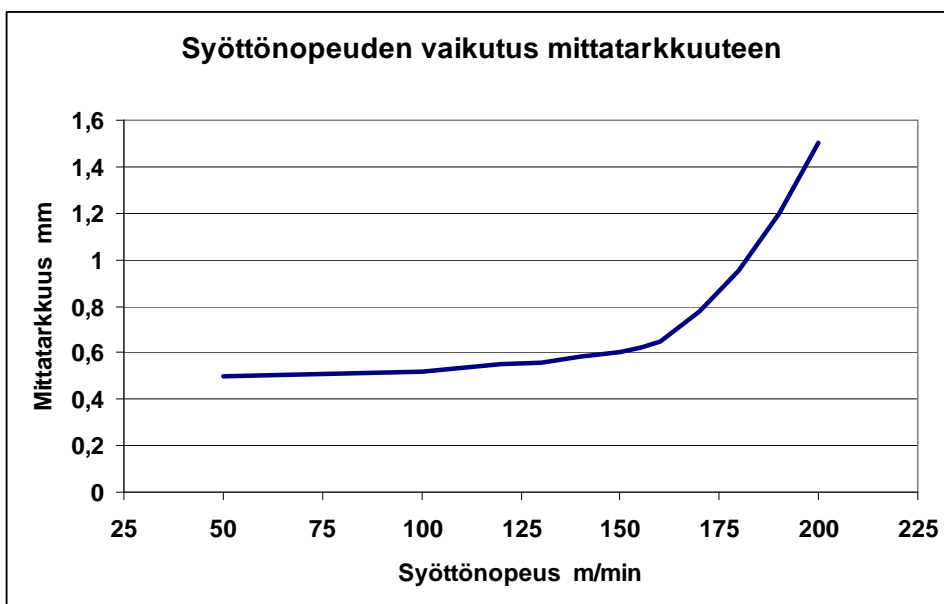
Kuva 72. Mittojen keskihajonnan muutoksen ja sahausrakojen muutoksen vastaavuus. $\lambda = 1,63$.

Mittatarkkuuden parantaminen ja sahausraon pienentäminen parantavat sahaussaantoa. On kuitenkin muistettava, että jos sahausrakoa pienennetään teräpaksuutta pienentämällä, huononnetaan yleensä myös mittatarkkuutta ja sitä kautta sahaustulosta. Mittatarkkuuden ja sahausraon vaikutukset on analysoitava samanaikaisesti.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Sahanterä ja siinä olevat hampaat ovat ne, jotka puuntyöstössä tekevät varsinaisen työn. Kun hampaan äärimmäinen särmä kohtaa sahattavan puun, alkaa muodostua lastu, jonka paksuus riippuu hampaan nopeudesta, puun syöttönopeudesta ja hammasjaosta. Työstön aikana purua kertyy hammasloveen sitä enemmän mitä pidemmälle työstö etenee. Kun hammas irtoaa puusta, puru alkaa purkautua pois hammaslovesta. Hampaan koskettaessa puuta täyttösuhde on nolla ja kun hammas irtoaa puusta, täyttösuhde on maksimissaan. Täyttösuhde on hyvin merkittävä rooli puuntyöstössä.

Kuvassa 73 esitetään periaatteellisesti sahatavaran teknisen laadun, mittatarkkuuden ja pinnansileyden riippuvuus syöttönopeudesta.



Kuva 73. Periaatekuva mittatarkkuuden riippuvuudesta tukin tai pelkan syöttönopeudesta.

Kuvasta 73 nähdään selvästi, että mittatarkkuus ja samalla tavalla myös pinnansileyks pysyvät jokseenkin muuttumattomina tai vain lievästi huononevat, kun syöttönopeutta suurennetaan pienillä syöttönopeuksilla sahattaessa. Syöttönopeutta edelleen kasvatettaessa tullaan lopuksi tilanteeseen, jossa mittatarkkuus alkaa huonontua hyvin voimakkaasti. Syöttönopeutta, jossa näin tapahtuu, voidaan kutsua kriittiseksi syöttönopeudeksi, jota ei tulisi ylittää.

Kun saavutetaan kriittinen syöttönopeus, on tultu tilanteeseen, jossa hammasloveen puristunut lastu ei enää yksinkertaisesti mahdu loveen vaan alkaa pur-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

kautua terän rungon ja sahausraon väliseen tilaan. Kun näin tapahtuu, sahausraon koon pakkautuva puru alkaa hangata terän runkoa, jolloin syntyy kitkaa. Terä alkaa lämmetä ja muuttaa muotoaan. Tästä on luonnollisena seurauksena terän luikertelu ja siten huono mittatarkkuus ja pinnansileys.

Kriittinen syöttönopeus saavutetaan silloin kuin täyttösuhteen arvo ylittää 65–70 prosenttia. Tätä täyttösuhteen arvoa pidetään kriittisenä täyttösuhteena. Jos syöttönopeutta nostetaan edelleen, täytösuhde kasvaa ja mittatarkkuus huononee hyvin radikaalisti:

- syöttönopeuden kasvaessa sahauksessa valmistusmäärä kasvaa teoriassa
- tuotteiden tekninen laatu huononee
- sahatavaratuotteet rikkoutuvat helpommin
- teräpaksuutta joudutaan kasvattamaan
- häiriöiden määrä lisääntyy
- mahdolliset vauriot tulevat suuremmiksi, jos jotakin sattuu
- tukin, pelkan, lauta-aihioiden ja sahatavaran kuljettaminen vaikeutuu
- tukin pyörityksen tarkkuus huononee
- työstöparametreja pitää muuttaa.

6.8 Tukin pyörityksen optimointi

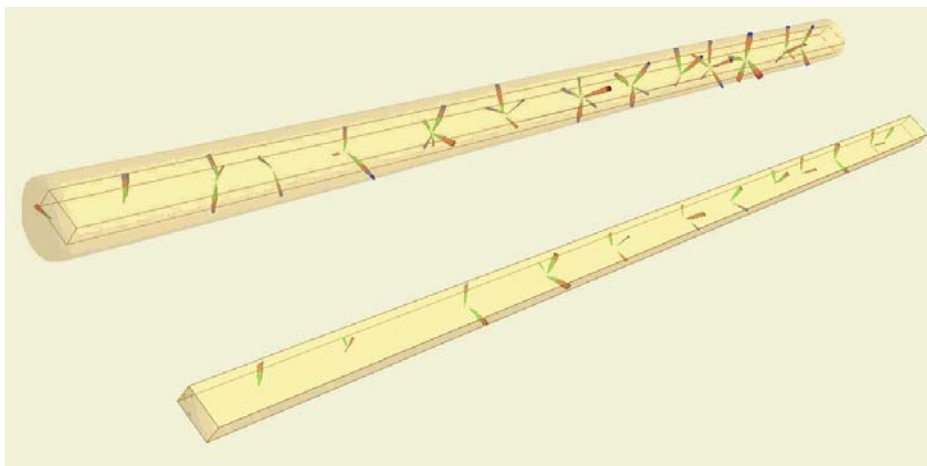
Sahakoneiden asetevalinnasta sekä tukin, pelkan ja saheiden suuntauksesta määräytyy yksiselitteisesti, miten tukissa olevat ominaisuudet ja vikaisuudet sijoittuvat lopullisiin sahatavaratuotteisiin, ottaen huomioon saheiden katkaisun lopullisiin tuotemittoihin. Sahatavarassa olevat viat vuorostaan määräävät tavaran laatualueen ja sopivuuden loppukäyttäjälle ja siten kappaleen arvon. Kuvassa 74 esitetään 220 millimetrin latvaläpimittaisesta esimerkkikutusta saatava sydäntavarakappale. Oksat asemoituvat sydäntavarakappaleen pintaan eri tavalla tukin pyörityskulmasta riippuen. Syntyvien sahatavaroiden arvo riippuu näin pyörityskulmasta. Ensimmäisenä suuntausketjussa on tukin pyöritys, jonka merkitys korostuu koska myöhemmissä sahauksen vaiheissa ei voida korjata tukin pyörityksessä tehtyä virhettä.

Tukin optimaalinen pyöritysasento on sellainen, että se mahdollistaa sahauksen, josta kaikkien tukista saatavien sahatavaroiden, hakkeen ja purun nettoarvojen summa on mahdollisimman suuri.

Perinteisessä tukin pyörityksessä tavoitteena on ollut saada pelkkasahassa tukin mahdollinen lenkous ylöspäin tai alaspäin. Tällainen sahaus tuottaa suhteel-

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

lisen symmetrisen pelkan, jossa sahatut, avatut pinnat ovat lähes samanlaiset. Pelkkasahauksessa hakkurit hakettavat tukin kummaltakin kyljeltä jokseenkin samankokoiset tilavuudet. Tällöin myös pelkkahakkurien työstössä aiheutuvat leikkausvoimat ovat yhdensuuntaiset ja lähes samansuuruiset. Tällaisessa tilanteessa tukkiin vaikuttava voimapari ei pyöritä tukkia ja pyörähdysriski pienenee.



Kuva 74. Tukista saatava sydäntavarakappale. Tukkia pyöritettäessä oksat asemoituvat eri tavalla sahatavarakappaleessa. Tukin latvaläpimitta on 220 mm. Sydäntavarakappaleen paksuus on 50 mm ja leveys 150 mm.

Optimaalisessa tukin pyöritys- ja sahausprosessissa tukin alkuperäiset ominaisuudet, esimerkiksi oksikkuus, pystytään kontrolloidusti siirtämään syntyvien kappaleiden laatuun vaikuttaviksi ominaisuuksiksi ja edelleen sahatavaran laaduksi, visuaaliseksi laaduksi tai lujuuslaaduksi. Tukki voidaan pyörittää sellaiseen asemaan, että saadaan maksimimäärä oksatonta puutavaraa tai sitten oksia on sydäntavaran syrjissä mahdollisimman vähän.

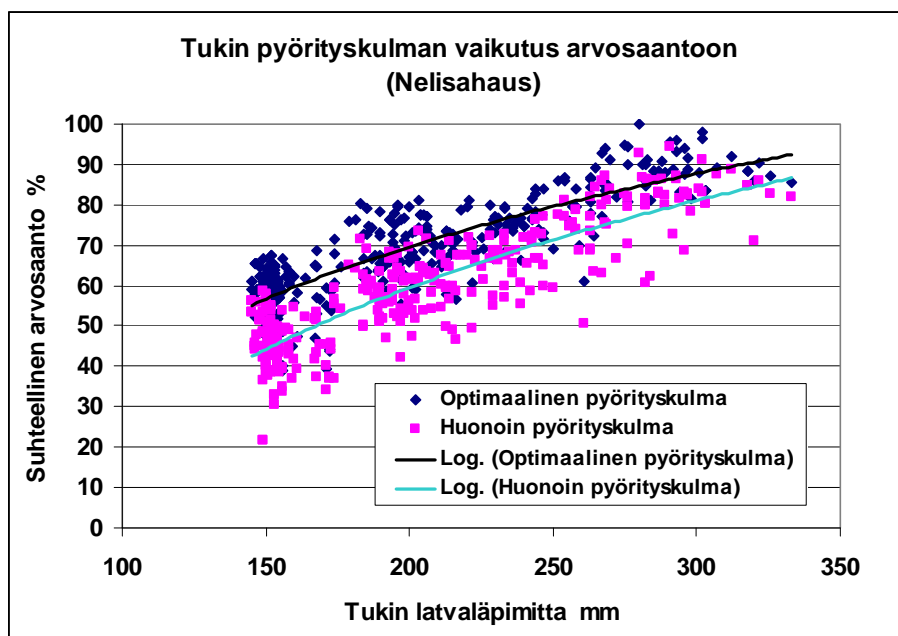
Tällainen hyvin hallittu tukin pyöritys ja sahaus edellyttää

- tukin yksittäisten oksien ja muiden vikojen ominaisuuksien ja sijainnin tarkkaa mittaamista
- tämän mittaustiedon hyödyntämistä optimointiohjelmistossa, joka laskee tukille parhaan mahdollisen pyörityskulman ja sahausasetteen
- tarkkaa tukin pyöritysmekaniikkaa.

Kuvassa 75 esitetään mäntytukkien nelisahauksessa parhaimmalla ja huonoimmalla pyörityskulmalla saatavat suhteelliset sahausarvot tukin latvaläpimitan

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

funktiona. Tukkikohtaiset tulokset osoittavat varsin suuria vaihteluita. Pienimmillään mäntytukkien arvoero voi olla lähes 0 prosenttia ja suurimmillaan jopa yli 200 prosenttia.

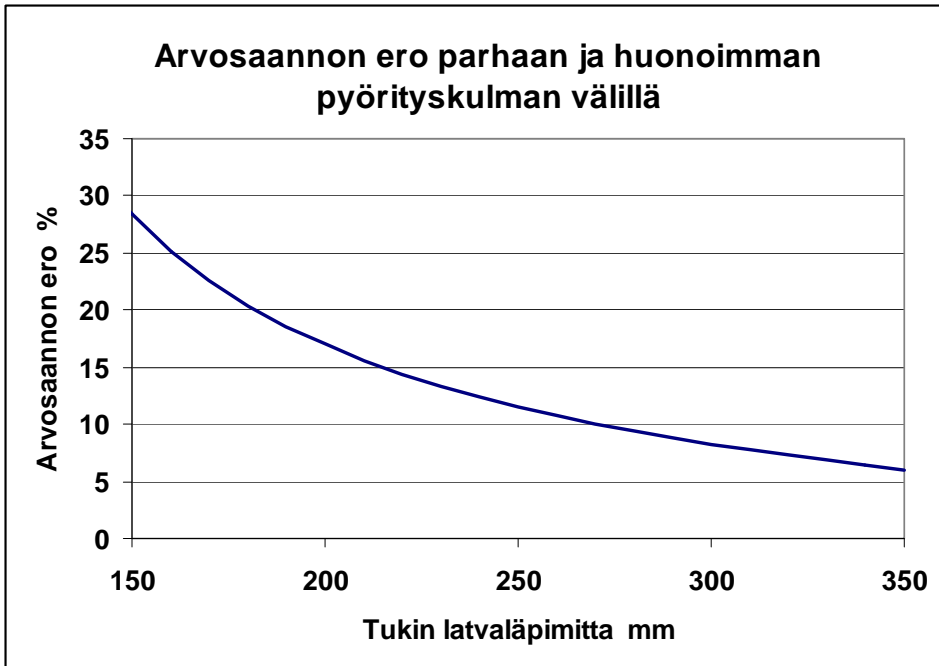


Kuva 75. Mäntytukkijoukon parhaimmalla ja huonoimmalla pyörityskulmalla saatavat suhteelliset sahausarvot tukin latvaläpimitan funktiona. Sahausarvo on tukista saatavien sahatavaroiden, hakkeen ja purun arvojen summa. Sahausmenetelmä on nelisahaus normaaleilla aseteilla. Pistejoukkoihin on sovitettu logaritmfunktiot.

Kuvassa 76 esitetään kuinka monta prosentti sahausarvo paranee, jos tukin pyöritys tehdään parhaimmalla mahdollisella tavalla huonoimpaan mahdolliseen tapaan verrattuna. Sahausarvojen erotus pienenee tukin latvaläpimitan suuretsa. Pienillä tukeilla erotus on lähes 30 prosenttia ja suurilla runsaat 5 prosenttia.

Voidaan hyvin olettaa, että suurilla tukkimäärillä ja nykyisessä pyörityskäytännössä jokainen tavoiteltava pyörityskulma on suhteellisen suorilla tukeilla lähes yhtä todennäköinen, ja käytännössä toteutuva pyörityskulma asettuu siten tasaisesti huonoimman ja parhaimman sahausarvon tuottavien vaihtoehtojen väliin. Näin ollen puolet edellä mainituista arvoista kuvaavat sitä potentiaalia, joka on saavutettavissa tukkien pyörityksen optimoinnilla.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 76. Mäntytukin parhaan ja huonoimman pyörityskulman tuottama arvosaannon erotus (%) regressiomallista laskettuna.

Kuvissa 77 ja 78 esitetään, miten sahauksen arvosaanto muuttuu tukin pyörityskulman muuttuessa kahdella lengolla tukilla ja erilaisilla sahausaseteilla. Kuvan 78 tapauksessa lenkouden arvo on 14 mm/m ja tukin arvon kuvaajat eri sahausaseteilla muistuttavat alaspäin suuntautuvia paraabeleja. Kuvaajien paikallisetkin vaihtelut ovat varsin suuria mikä johtuu tukin oksikkuudesta. Huonoimmat tukin sahausarvot ovat 65 prosenttia parhailla pyörityskulmilla saatavista sahausarvoista. Ero on hyvin huomattava.

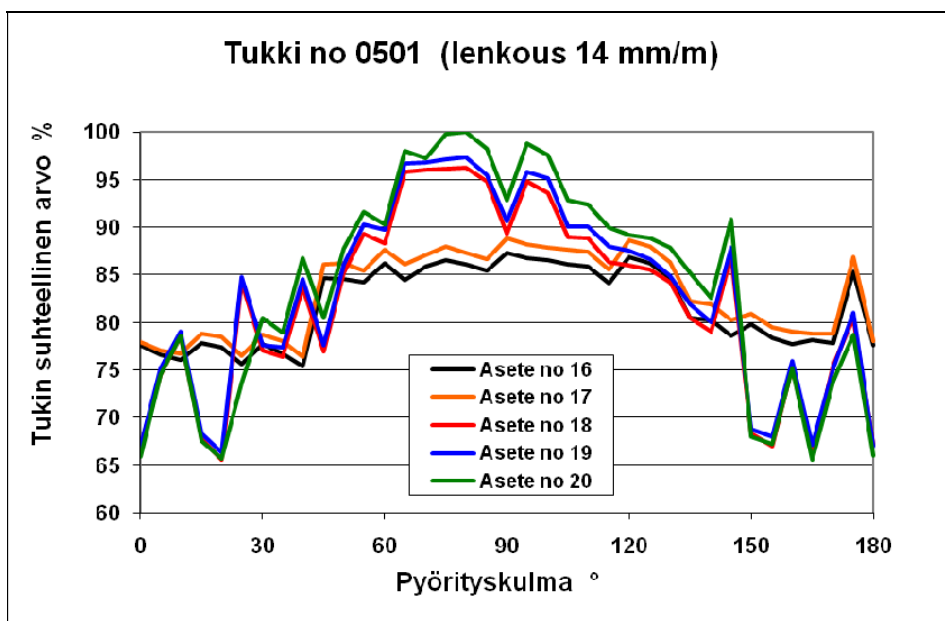
Kuvan 78 tapauksessa, jossa tukin lenkous on 4 mm/m, huonoimmat arvot ovat noin 80 prosenttia parhaimmista. Kuvaajasta nähdään, että oksikkuudesta johtuvat arvon vaihtelut ovat erittäin jyrkkiä ja suuria erityisesti sahausaseteella no 20.

Nykyisessä käytännön sahaustoiminnassa pyritään tukki kääntämään sellaiseen asentoon, että lenkouden (tukin kaarevuuden) suunta olisi ylöspäin. Tämä asema vastaa kuvissa 77 ja 78 tilannetta, jossa pyörityskulman arvo on 90 astetta. Kuvaajista nähdään selvästi, ettei minkään yksittäisen asetteen kohdalla 90 astetta ole paras mahdollinen pyörityskulma. Kuvan 77 tapauksessa, jossa tukin lenkous on suuri, optimaalinen pyörityskulma-alue vaihtelee 60 asteesta

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentialiaali

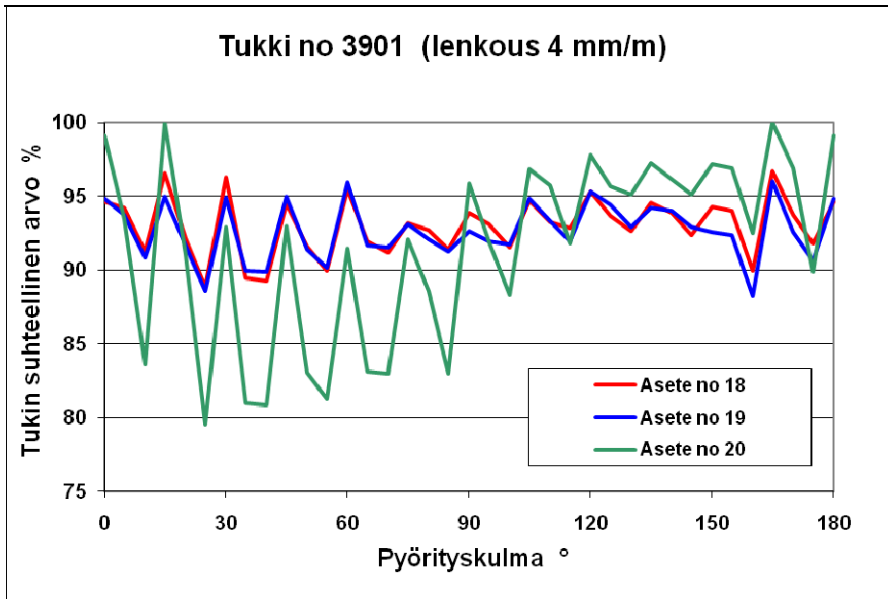
110 asteeseen. Keskimääräinen optimaalinen pyörityskulma on melko lähellä arvoa 90 astetta, kuitenkin kolmella sahausasetteella nähdään alaspäin suuntautuva piikki juuri pyörityskulman arvon 90 astetta kohdalla. Kuvan 78 tapauksessa kannattaa tukki pyörittää asemaan, joka on 120 ja 150 asteen välillä.

Tutkimuksen tuloksista voidaan nähdä selvästi, että optimaalinen tukin pyörityskulma riippuu olennaisesti myös sahausasetteesta. Toiset asetet ovat herempiä pyöritykselle kuin toiset. Kuvan 77 tukilla asetet 17 ja 19 eivät ole niin herkkiä pyöritykselle kuin asetet 16, 18 ja 20. Kuvan 78 tukin kohdalla ase 20 on erittäin herkkä pyöritykselle. Mitä lengommasta tukista on kysymys, sitä enemmän ase vaikuttaa tukin suuntauksessa.



Kuva 77. Mäntytukin sahausarvo erilaisilla tukin pyörityskulmilla viidellä eri sahausasetteella. Tukin lenkous on 14 mm/m.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 78. Mäntytukin sahausarvo erilaisilla tukin pyörityskulmilla kolmella eri sahausasetteella. Tukin lenkous on 4 mm/m.



Kuva 79. Mäntytukki, jonka latvaläpimitta on 160 mm, suhteellinen sahausarvo tukin pyörityskulman funktiona. Sahausarvo on tukista saatavien sahatavaroiden, hakkeen ja purun arvojen summa. Tukin sahausasete pelkkasahauksessa on 19-100-19 ja jakosahauksessa 25-50-50-25.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Kuvassa 790 esitetään suorasta mäntytukista sahauksessa saatavien tuotteiden suhteellinen arvo tukin pyörityskulman funktiona. Tuotteiden arvo laskettiin VTT:n InnoSIM-sahauksen simulointiohjelmalla 15 asteen tukin pyörityskulman välein. Sahatavaran laadutuksessa käytettiin pohjoismaisen sahatavaran (NT) lajittelusääntöjä. Kuvasta 79 nähdään, että paras arvo saadaan pyörityskulmalla 80 astetta ja huonoin arvo 90,4 prosenttia parhaasta arvosta 60 asteen pyörityskulmalla. Kun arvoero on näin suuri, se kuvastaa erittäin selkeästi tukin pyörityksen tärkeyttä sahausprosessin eräänä hyvin kriittisenä vaiheena arvosaannon kannalta.

Kuvasta 79 nähdään, että sahausarvon kuvaaja ”hyppii” voimakkaasti ylöspäin ja alaspäin hyvin pienelläkin pyörityskulman muutoksen matkalla. Tämä johtuu siitä, että tukissa olleet oksat sijoittuvat sahatavaroihin eri tavoin. Arvon ollessa korkea oksat ovat pääasiassa kappaleiden lappeissa ja/tai sahatavaramäärästä suuri osa on oksatonta tai vähäoksaista sahatavaraa. Arvon ollessa matala oksat sijoittuvat sahatavaran syrjiin ja särmiin, jolloin oksatonta sahatavaraa ei saada sahauksesta.

Kuvasta 79 nähdään myös, että tukissa saattaa olla tietty pyörityskulma-alue, jossa tukin arvo on selkeästi korkeampi tai matalampi kuin keskimääräinen tukin arvo. Kuvan 79 tapauksessa suhteellisen vakaa hyvä alue on 105 asteesta 125 asteeseen. Tällä alueella sahausarvo on 98 prosenttia tai enemmän parhaasta mahdollisesta arvosta. Keskimääräistä huonompi alue pyörityksessä on 130 asteesta 165 asteeseen. Sahausarvot vaihtelevat tällä alueella 93 prosentista 96 prosenttiin parhaasta arvosta. Sahaustulos vaihtelee suuresti pyörityskulmien ollessa 20 asteesta 100 asteeseen. Tällaisilla alueilla on erityisen tärkeä merkitys, jos mekaaninen pyöritystarkkuus on huono. Pyörityskulman alueita, joissa tukin arvo on huono, tulee välttää ja pyörityskulman alueita, joissa arvo on korkea, niille tulee pyrkiä pyörityskulmaa optimoitaessa.

Tukin arvo voi maksimoitua ja minimoitua myös pyörityskulmien arvoilla, jotka voivat olla hyvinkin lähellä toisiaan. Tämä näkyy selvästi kuvassa 79, jossa tukin arvo on pyörityskulman arvolla 55 astetta 99 prosenttia parhaasta. Huonoin tukin arvo 90,4 prosenttia parhaasta saadaan läheisellä pyörityskulmalla 60°. Pieni ero pyörityskulmassa romahduttaa tukin arvon. Pyöritysvirhe on riskitekijä, joka täytyy ottaa huomioon kun haetaan sitä pyörityskulman optimaalista arvoa, johon käytännössä pyritään. Pyöritystarkkuus on otettava huomioon optimaalista pyörityskulmaa laskettaessa. Jos pyöritystarkkuus on erittäin hyvä, kannattaa pyrkiä saavuttamaan yksittäinen hyvinkin paikallinen ”vuorenhuippu”.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Jos taas pyöritystarkkuus on huono, on pyrittävä löytämään ”vuoristosta” alue, joka on keskimääräistä korkeampi.

Kuvassa 80 esitetään mäntytukin pyörityksessä tapahtuvan virheen vaikutus todennäköisen sahausarvon toteutumiseen. Pyöritysvirheen keskihajonta on simuloinnissa ollut 10 astetta. Kuvasta nähdään selvästi, että

- optimaalinen pyörityskulma riippuu pyöritysvirheen suuruudesta
- pyöritysvirheen suureneminen merkitsee sahausarvon huononemista
- pyöritysvirhe merkitsee sitä, että parasta pyörityskulmaa ei saavuteta kuin sattumalta
- huonointakaan pyörityskulmaa ei saavuteta kuin sattumalta.



Kuva 80. Tukin pyöritysvirheen vaikutus optimaalisen pyörityskulman määrittämisessä. Pyöritysvirheen standardipoikkeama on 10 astetta.

Tukin pyöritysvirhe (kuva 80) merkitsee sitä, että optimaalinen pyörityskulma vaihtelee sen mukaan, miten suuri pyöritysvirheen arvo on. Pyöritysvirheen takia juuri koskaan ei saavuteta parasta pyörityskulman arvoa tai se saavutetaan sattumalta. Pyöritysvirhe merkitsee toisaalta myös sitä, ettei juuri koskaan jouduta myöskään kaikkein huonoimpaan pyörityskulman arvoon muuten kuin sattumalta.

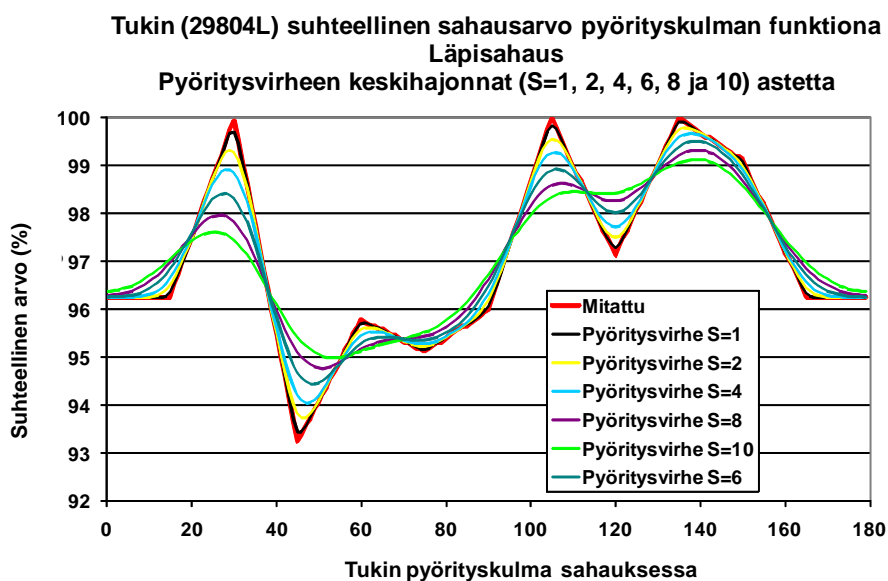
Kuvia 79 ja 80 vertaamalla nähdään, että pyöritysvirheen takia tukin tavoitepyörityskulma on 112 astetta, jolloin todennäköinen tulos olisi 98 prosenttia

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

parhaasta mahdollisesta. Pyöritysvirhe merkitsee siis 2 prosentin pudotusta arvosaannossa. Pyörityskulmien välillä on 32 asteen ero. Huonoimpia pyörityskulmia tarkasteltaessa havaitaan, että pyöritysvirheen takia voidaan todennäköisesti välttää myös kaikkein huonoimpien tukin pyörityskohtien toteutumista.

Pyöritysvirhe tasaa sekä korkeimpia huippuja että matalimpia piikkejä. Virheen huomioimisella pyritään siihen, että saavutetaan mahdollisimman hyvä sahaustulos mahdollisimman suurella todennäköisyydellä. Pyöritysvirhe ja sen todennäköisyys on aina otettava huomioon optimaalista pyörityskulmaa laskettaessa.

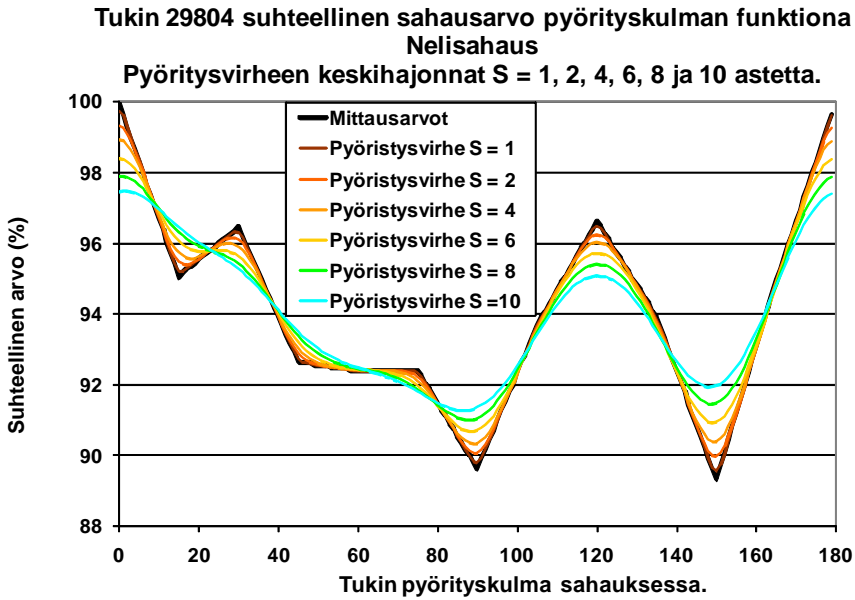
Tukin pyörityskulman ja pyöritysvirheen vaikutusta yhdellä tukilla on esitetty kuvassa 81 (läpisahaus) ja kuvassa 82 (nelisahaus). Läpisahauksessa hyvä alue on 95–150 astetta, suhteellinen sahausarvo 97–100 prosenttia parhaasta. Huono sahausarvo saadaan pyörityskulmilla 40–85 astetta. Sahausarvo on tällöin alle 96 prosenttia parhaasta.



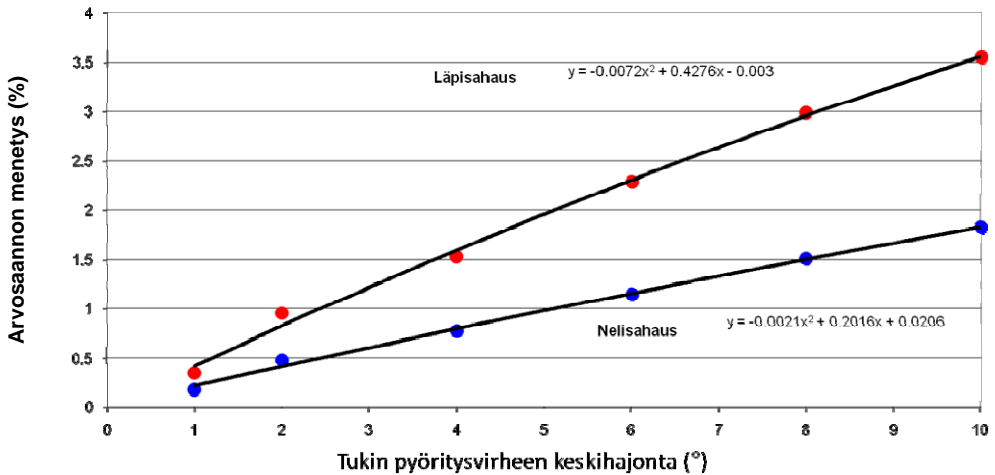
Kuva 81. Pyöritysvirheen vaikutus mäntytukin sahausarvon toteutumisessa. Läpisahausten pyöritysvirheen keskihajonta on 0°, 1°, 2°, 4°, 8° ja 10°. Mäntytukin latvaläpimitta on 150 mm.

Nelisahauksessa tulos on hieman toisenlainen. Turvallinen hyvän sahausarvon antama pyörityskulma on -10–30 astetta. Huono sahausarvo saadaan samoilla pyörityskulmilla kuin läpisahauksessa. Lisäksi huono sahaustulos saadaan pyörityskulmilla 130–160 astetta.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 82. Pyöritysvirheen vaikutus mäntytukin sahausarvon toteutumisessa. Nelisahauksen pyöritysvirheen keskihajonta on 0°, 1°, 2°, 4°, 8° ja 10°. Mäntytukin latvaläpimitta on 150 mm.



Kuva 83. Mäntytukin pyöritysvirheen aiheuttama tukin sahausarvon menetys verrattuna optimaaliseen pyöritykseen neli- ja läpisahauskassa.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentialiaali

Kuvasta 83 nähdään, että tukin pyöritysvirhe huonontaa sahauksen arvosaantoa jokseenkin lineaarisesti sekä nelisahauksessa että läpisahauksessa. 10° :n standardipoikkeama pyöritysvirheessä merkitsee nelisahauksessa noin 2 prosentin arvonmenetystä. Läpisahauksessa vastaava arvo on noin 3,5 prosenttia. Läpisahaus sahausmenetelmänä on siten herkempi tukin pyörityksessä tapahtuville virheille.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että tukin optimaalinen pyörityskulma on määritettävä tukkikohtaisesti ottamalla huomioon

- tukin todellinen muoto – ei vain lenkous
- tukin oksikkuus
- sahausasete – sahattavat tuotteet
- sahausprosessi – muuttuva-asetteinen sahaus
- tukin pyöritystarkkuus.

Tukin pyöritys pitäisi huomioida jo tukkien lajittelussa.

6.9 Pelkan suuntaus ja ohjaus

Nelisahauksessa syntyvän pelkan suuntauksen ja ohjauksen tavoitteena on ohjata pelkka hallitusti jakosahaukseen siten, että syntyvien tuotteiden myyntiarvojen summa on mahdollisimman suuri. Nykyisin pelkka ohjataan sahakoneeseen periaatteessa seuraavilla tavoilla:

- Pelkka keskitetään latvasta ja tyvestä sahauksen keskilinjaan ja kuljetetaan siinä asennossa sahakoneen läpi.
- Pelkan latvaa ja/tai tyveä siirretään sivusuunnassa haluttuun asentoon ja kuljetetaan siinä asennossa sahakoneen läpi.
- Pelkka kuljetetaan mekaniikan ohjaamana sahakoneen läpi siten, että sahanterien leikkaukset puussa mukailevat puun muotoa – käyräsahaus.

Pelkan oikea suuntaus on erittäin tärkeää erityisesti lenkojen (käyrien) pelkkojen sahausessa. Erityisesti lenkojen pelkkojen käyräsahauksesta on saatu käytännössäkin hyviä kokemuksia.

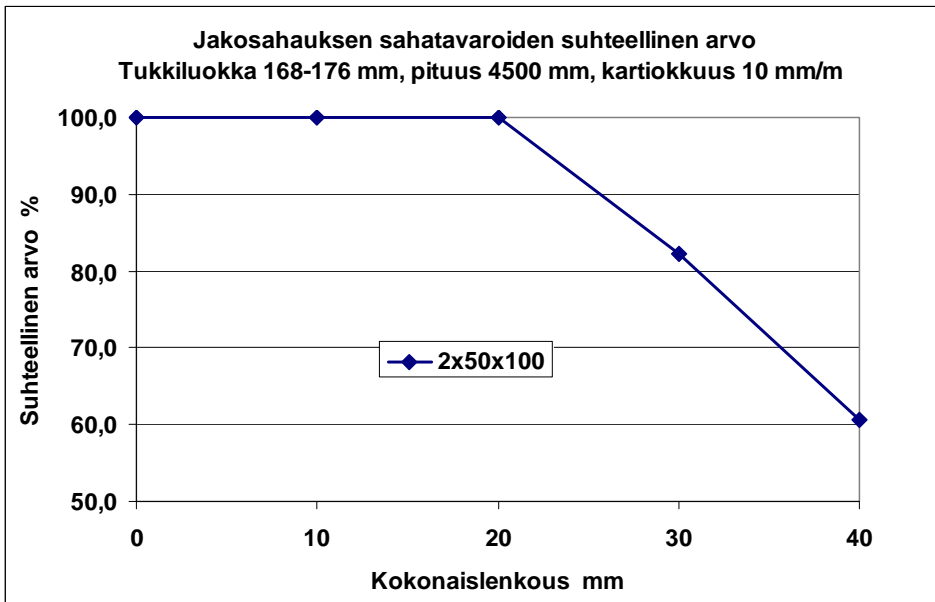
6.9.1 Saannon menetykset pelkan suuntauksessa ja ohjauksessa

Pelkan suuntauksessa ja ohjauksessa tapahtuvia saannonmenetyksiä analysoitiin simuloimalla mahdollisimman tarkasti pelkan todellista ohjausta sahakoneeseen. Tutkimuksessa verrattiin kahta erilaista menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä tukin tyvi ja latva keskitettiin ennen jakosahaa ja sahaus suoritettiin tässä suunnassa suoraan sahausena. Toisessa menetelmässä pelkka keskitettiin latvasta ja tyvestä. Pelkan ohjaus jakosahaan toteutettiin käyräsahauksena siten, että sahakoneen keskimäinen terä seurasi tukin keskilinjaa. Tulokset esitetään kuvissa 84 ja 85.

Kuvan 84 simuloinneissa tukit kuuluivat tukkiluokkaan 168–176 mm ja niiden keskimääräinen kartiokkuus oli 10 mm/m. Sahauksen sydäntavara-asete oli 2 x 50 mm x 100 mm. Tuloksista nähdään, ettei menetelmillä ollut mitään eroa, jos tukin kokonaislenkous on alle 20 mm. Suuremmilla lenkouden arvoilla arvosaanto putoaa varsin jyrkästi. 30 mm:n lenkoja tukkeja keskittämällä pelkka jakosahauksessa, menetetään jo lähes 20 prosenttia arvosta käyräsahaukseen verrattuna. 40 mm:n lenkous merkitsee jo 40 prosentin pudotusta.

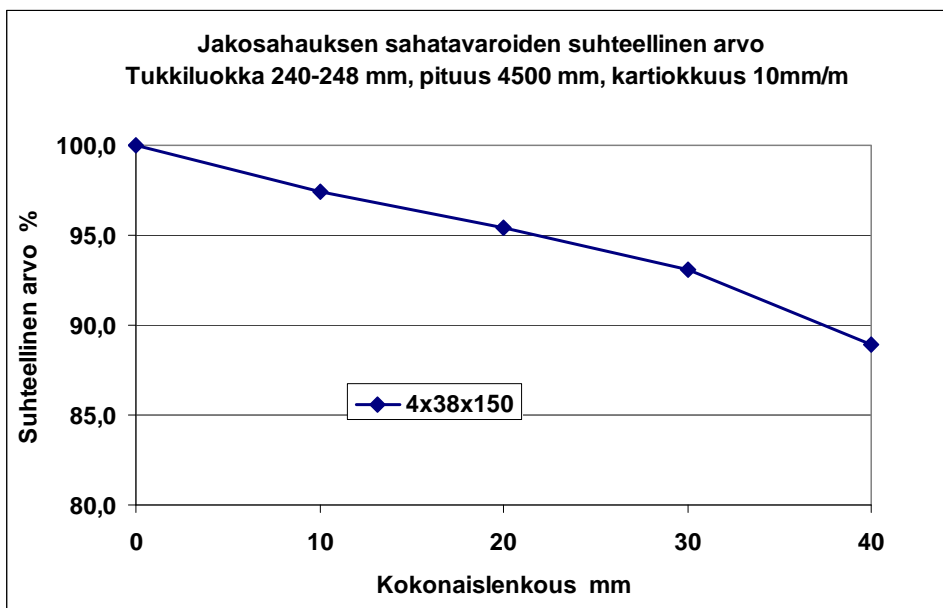
Kuvan 85 simuloinneissa tukit kuuluivat tukkiluokkaan 240–248 mm ja niiden keskimääräinen kartiokkuus oli 10 mm/m. Sahauksen sydäntavara-asetteena käytettiin 4 x 38 mm x 150 mm. Tuloksista nähdään, että arvosaanto putoaa välittömästi lenkouden kasvaessa. Tukin kokonaislenkouden ollessa 10 mm/m arvosaannon menetys on jo 2,5 prosenttia. 30 mm/m lenkouteen saakka arvosaanto huononee jokseenkin lineaarisesti. Lenkouden ylittäessä tämän arvon saatavien sahatavaroiden myyntiarvo pienenee yhä jyrkemmin.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 84. Sahaustuloksen riippuvuus tukin lenkoudesta. Tukkiluokka 168–176 mm. Sydäntavara-asete 2 x 50 x 100, jakosahalta ei oteta lautoja. Menetelmä on suora sahaus latva ja tyvi keskitettynä. Vertailumenetelmänä (suhteellinen arvo 100%) on täydellinen käyräsahaus.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali



Kuva 85. Sahaustuloksen riippuvuus tukin lenkoudesta. Tukkiluokka 240–248 mm. Sydäntavara-asete 4 x 38 x 150. Menetelmä on suora sahaus latva ja tyvi keskitettynä. Vertailumenetelmänä (suhteellinen arvo 100 %) on täydellinen käyräsahaus.

6.9.2 Pelkan uudet suuntaustavat

Pelkan sahauksen ja ohjauksen uudet konseptit perustuvat seuraaviin seikkoihin:

- Pelkka mitataan hyvin tarkasti sekä geometrisiltä että muilta ominaisuuksiltaan, esimerkiksi yksittäiset oksat ja muut viat.
- Mittaustulosten perusteella lasketaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa prosessia pelkan sahauksen optimaalinen asete ja sen suuntaukselle optimaalinen ohjauskäyrä, mikä tarkoittaa terien asemien määrittämistä pelkan sahatuilla pinnoilla; optimoinnissa otetaan huomioon myös puun ominaisuudet, esimerkiksi vinosyisyys ja siten riskit saada kieroutuvaa sahatavaraa.
- Sahausasetteena käytetään sekä symmetrisiä että epäsymmetrisiä asetteita. Epäsymmetrisiä asetteita käytetään etenkin lenkojen tukkien sahausessa.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

- Pelkan asetetta ja/tai ohjausohjetta tulisi voida muuttaa aina siihen saakka, kun varsinaiset ohjaustoimenpiteet alkavat
- Pelkan sahausksen jälkeen mitataan saatu sahaustulos, joka siirretään ohjausjärjestelmään.
- Ohjausjärjestelmässä verrataan suunniteltua ja toteutunutta sahaustulosta; vertailun perusteella tehdään tarvittavat muutokset ohjausparametreihin.
- Tuloksena on itseoppiva järjestelmä.

Pelkan optimaalisessa suuntauksella voidaan parantaa sahaustulosta erittäin paljon perinteiseen keskittävään sahaukseen verrattuna. Saannon parannus voi olla jopa 5 prosenttiyksikköä. Saannonlisäyspotentiaali on kuitenkin hyvin paljon riippuvainen tukkien lenkouden määrästä.

6.10 Jatkuvatoiminen kuivaus

Perinteisten kuivausmenetelmien hitaudesta ja eräajoluonteesta johtuen valmistuskonsepti, joka mahdollistaisi tuotannon läpiviemisen tukkilajittelusta valmiiksi tuotteeksi 1–2 päivässä, ei ole mahdollinen. Erän koko on joko kamari tai kuivaustorni. Toimivaa jatkuvatoimista kuivaustapaa ei tällä hetkellä ole olemassa. Sahatavaran kuivauksen kehittämisen tavoitteena on jatkuvatoiminen kuivausprosessi, joka on riittävän nopea ja joka voidaan asentaa osaksi nykyikäisen sahan tuotantolinjaa ja joka poistaa kuivauksen eräajoluonteesta johtuvat ongelmat.

Jatkuvatoiminen kuivaus muodostaa osan kokonaisvaltaisesta metsästä asiakkaalle -prosessista, jossa sahatavaravirtaa ohjataan asiakkaan tarpeiden ja tukkien laadun perusteella erilaisten käsittelyvaiheiden kautta ilman välivarastoja, tarpeettomia kuljetuksia ja välikäsiä. Jatkuvatoiminen kuivaus poistaa kuivausprosessista käsittelyvaiheita, kuten rimoituksen. Rimoituksen ja rimapakettien purkukustannukset jäävät pois. Näissä työvaiheissa tapahtuu myös sahatavarakappaleiden rikkoontumisia.

Toimiva jatkuvatoiminen kuivaus vaikuttaa huomattavasti nykyisiin käytäntöihin:

- Joustavuus ja asiakkaiden palvelukyky paranevat olennaisesti.
- Tuotteen läpimenoaika metsästä asiakkaalle on päiviä nykyisten viikkojen tai kuukausien asemasta.
- Varastojen kierto nopeutuu.
- Energiankulutus supistuu.

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Jatkuvatoimisen kuivauskonseptin toteuttaminen tulee vaatimaan tutkimuksia ja selvityksiä muun muassa seuraavilla osa-alueilla:

- kuivauslogistiikka
- kuivauksen energiankäyttö
- kuivauskapasiteetti
- kuivauskustannukset
- perinteisten kuivausprosessien nopeuttaminen
- kuivauksen ohjausjärjestelmän kehittäminen
- raaka-aineen lähtötiedot kuivaukseen
- lajittelu kuivausrhythmiin
- kosteuden tasaannutus
- takuu kuivauslaadulle.

Seuraavissa taulukoissa 15–17 on esitetty muutamia ratkaisuja huomioon otettavaksi esitettyjen osa-alueiden kehittämiseksi.

Taulukko 15. Kuivaukselle asetettuja vaatimuksia.

Kohde	Selite	Kanava-kuivaus	Kamari-kuivaus	Kuuma-kuivaus	Virtautettu kuivaus	Puristus-kuivaus	HF-kuivaus
Kuivauslogistiikka	1) Dimensioluettelo 2) Laadut: sydäntavara, laudat 3) Kuivauskuorman koko 4) Dimensiolajittelijan lokerot 5) Trukkipaketin koko 6) Kuivausajat: dimensio, kosteus 7) Rimoituskapasiteetti 8) Tasauskapasiteetti 9) Myynnin asetheet: dimensio, laatu, sahattu, rimoitettu, kuivaamossa, kuivaus, valmiina, myynti, toimitusaika 10) Kuivausvaihtoehdot: vuorokausi, tunti, kuivaamo: no, dimensio						
Kuivauksen energia-käyttö	1) Energian käytön vähentäminen 2) Puhallinvalmistajan kanssa voidaan etsiä energiatehokkaita ratkaisuja kamari- ja kanavakuivaukseen 3) Kamareissa voidaan alentaa ilmannopeutta kuivauksen loppuvaiheessa sähkönkulutuksen pienentämiseksi			40 kWh _e /m ³ 250 kWh _e /m ³	75 kWh _e /m ³ 550 kWh _e /m ^{3**})	500 kWh _e /m ³	

*) myös HFV, MFV, Thermowood-prosessi, öljykuivaus

***) havuviulun kuivaus 5 %, 190 °C

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Taulukko 16. Kuivaukselle asetettuja vaatimuksia.

Kohde	Selite	Kanava-kuivaus	Kamari-kuivaus	Kuuma-kuivaus	Virtautettu kuivaus	Puristus-kuivaus	HF-kuivaus
Perinteisten kuivausprosessien nopeuttaminen	<ol style="list-style-type: none"> 1) Lämpötilan nosto 80–100 °C:seen. 2) Ilman nopeuden nosto. 3) Kuivauksen ylösajovaiheen nopeuttaminen höyryllä tai korkeapaineisella vesisumulla, joka höyrytetään lämmityspatterilla 4) Tavarank sulatus / esilämmitys ennen kuivaamaa 						
Kuivauksen ohjausjärjestelmä	<ol style="list-style-type: none"> 1) Langaton anturointi kuivauksen edistämisen seuraamiseksi ja ohjaamiseksi. 2) Adaptiivinen kuivaus: kuivausta ohjataan tai kaavaa muunnetaan kuivausilmasta tehtävien mittausten perusteella. Onnistuisiko mitata ilman vesipitoisuutta infrapuna-antureilla kuormien välillä? 3) Ohjaus puun (sisälämpötilan) perusteella, puun kosteusgradientin perusteella, puun jännitystilän perusteella. 						
Raaka-ainetiedot kuivaukseen	<ol style="list-style-type: none"> 1) Leimikkotiedot, ennakkomittaus ym. asiaan vaikuttava 2) Tukkien tehdasmittauksen tiedot. 3) Röntgenin tiedot kuivaukseen: a) tiheystiedot b) syysuuntatieto 4) Tiedot mahdollisesta märkälajittelusta: a) tiheys b) syysuunta c) kosteus/paino <p>Jos kyseisten mittausten perusteella todetaan koko erän keskimääräisten ominaisuuksien poikkeavan oletusarvoista, voidaan kuivauskaavaa miedontaa tai nopeuttaa</p> <p>Lisäksi voidaan selvästi poikkeava tavara (suuri tiheys) lajitella erilleen ja kuivata erikseen, kun ko. tavaraa on kertynyt riittävästi.</p>						
Lajittelu kuivausryhmiin	<ol style="list-style-type: none"> 1) Vinosyisten tavaroiden lajittelu omaan lokeroon kuivattavaksi kuivauskuormien alimmaisissa kerroksissa kierouden vähentämiseksi 2) Jako kuivausominaisuuksien mukaan johtaa helposti suureen lokerotarpeen lisäykseen. 3) Jos mahdollista, erittäin tiheät puut kannattaisi erottaa omaksi kuivauserikseen kuitenkin lisälokeroiden tarve). Valtatavaran kuivausaikaa voidaan tällöin lyhentää laadun kärsimättä 						

6. Optimaalinen toimintatapa – konseptit prosessivaiheittain ja saannon parannuspotentiaali

Taulukko 17. Kuivaukselle asetettuja vaatimuksia.

Kohde	Selite	Kanava- kuivaus	Kamari- kuivaus	Kuuma- kuivaus	Virtautettu kuivaus	Puristus- kuivaus	HF- kuivaus
Kosteuden tasaannutus	1) Tasaannutus on varsinaisen kuivauksen yhteydessä kaksivaiheinen: kappaleiden välisten kosteuserojen pienentämiseksi sekä pinnan ja keskiosan välisen eron pienentäminen. 2) Voitaisiin tehdä eillisessä tasaannutuskamarissa kuivauksen ja jäähtymisen jälkeen. Tasaannutukseen ohjattaisiin etenkin puusepänkäyttöön menevä tavara.						
Takuukuivauslaadulle	1) Kosteusvaihtelu (ja pintakuivuus ENV 14464) EN 14298 2) Sahatavaran halkeamat 3) Sahatavaran muodonmuutokset 4) Sahatavaran värjäytyminen			Esimerkki: Tavoite kosteus 8 % (18 %) Keskikosteuden sallittu vaihteluväli 7–9 % (15,5–20 %) Yksittäisten kappaleiden vaihteluväli 5,6–10,4 % (12,6...23,4 %) 93,5 % kappaleista tällä vaihteluvälillä			
Tavoitteet	1) Tuotteen keskimääräisen läpimenoajan, metsästä asiakkaalle, lyheneminen yhteen vuorokauteen. 2) Välivarastojen kiertonopeuden kasvattaminen 10 kertaiseksi ja/tai välivarastojen pienentäminen 10 osaan nykyisestä ja 3) Tuotteiden keskihinnan nostaminen 20 prosentilla bulkkituotteisiin verrattuna	-	-	+	++	++	+
				+			
					++	++	++

Taulukossa 17 on esitetty arvio siitä, millä kuivaustavoilla nopean sahatavaran kuivauksen tavoitteet voitaisiin saavuttaa. Näiden kuivaustapojen tutkimukseen tulisi panostaa.

On selvittävä eri kuivaustapojen (HFV-, MFV-, kuuma-, puristuskuivaus, jatkuvatoiminen kuivaus, Thermowood-prosessi, öljykuivaus) uudet mahdollisuudet.

Tutkimuskokonaisuudessa on tavoitteena sahan energiatuotannon omavaraisuus sähkön ja lämmön suhteen. Tällöin myös enemmän sähköä käyttävien kuivausvaihtoehtojen taloudellisuus on tutkittava.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

Tässä luvussa esitellään tulevaisuuden sahan kokonaiskonsepteja ja prosesseja sekä implementoitavia teknologioita. Ne perustuvat osaltaan luvussa 6 esitettyihin yksityiskohtaisempiin kuvauksiin.

7.1 Tulevaisuuden sahan perusprosessi

7.1.1 Puun hankinta

Tulevaisuudessa ostettavissa ja sahaustoimintaan käytettävissä olevien leimikoiden puustosta on olemassa huomattavan tarkka ennuste sekä puuston järeydestä että erityisesti laatutekijöistä. Järeys tarkoittaa runkojen geometriaa ja laatutekijät oksaisuutta ja muita lopputuotteiden laatuun ja esimerkiksi lujuuteen liittyviä ominaisuuksia. Nämä tiedot tuotetaan ennustemalleilla, jotka perustuvat

- ilmakuvaukseen
- ennakkomittaukseen, esimerkiksi maalaserkeilaukseen
- metsäkoneiden mittauksiin
- materiaalivirran jatkuvaan koko jalostusketjun läpi tapahtuvaan tarkkaan seurantaan.

Hakkuukoneet ovat reaaliaikaisessa yhteydessä sahayrityksen kokonaisvaltaiseen ohjausjärjestelmään (Global Management Information System), joka kapellimestarin tapaan ohjaa koneiden toimintaa osittamalla tuotetarpeet eri leimikoille ja eri koneille. Metsäkoneen ohjausjärjestelmässä on simulaattori ja optimointiohjelmisto, joilla hakkuun kohteena oleva runko muunnetaan halutuiksi tuotteiksi arvoa maksimoiden. Jokaisen katkaisun jälkeen tukit merkitään yksilöllisi-

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

sesti. Merkintäkoodi, runko, tukki ja tuotetiedot siirretään sahan GMIS-ohjausjärjestelmään samoin kuin leimikkoa, maaperää ym. koskevat tiedot.

Leimikoiden hakkuujärjestys ja puuraaka-aineen kuljetus sahalle optimoidaan siten, että hankinta- ja varastointikustannukset minimoituvat. Puuraaka-aineen varastointi sahalla suoritetaan siten, että voidaan valita missä leimikkojärjestyksessä varsinainen tukkien lajittelu tapahtuu.

Puuraaka-aine voidaan tukkien asemasta toimittaa sahalle myös runkoina tai rungon osina. Tässäkin tapauksessa rungot ja niihin liittyvät tiedot taltioidaan informaatiojärjestelmään.

7.1.2 Hankinta runkoina

Puuraaka-aine voidaan tuoda sahalle myös runkoina tai rungon osina. Runkoinahankinta ja perinteinen tukkeina hankinta voivat täydentää toisiaan. Jos raaka-aine tuodaan sahalle runkoina, niin ensimmäisenä varsinaisena prosessivaiheena on runkojen tarkka mittaus. Mittaus tuottaa vastaavaa dataa kuin tukin mittaus ts. rungon tarkan geometrian ja laatuun liittyvät ominaisuuskartat oksikuudesta, sydänpuusta, tiheydestä, lujuudesta, kosteudesta jne. Kun koko runko on mitattu, optimointiohjelmisto laskee sille optimaalisen katkontatavan tilauskannan perusteella ja saatujen tukkien lajittelutavan. Mittaus- ja optimointi tuottaa tiedon, jolla runkojen katkonta voidaan suorittaa optimaalisesti arvonmuodostuksen kannalta ja todellisiin mittauksisiin perustuen. Jos runkoasema on sahalla, se voidaan asettaa tuottamaan juuri sellaisia tukkeja kuin mitä senhetkinen, välitön tarve edellyttää. Tukkien saanti metsästä merkitsee aina viiveitä. Katkontatarkkuus terminaalisissa on selvästi parempi kuin hakkuukoneilla.

Sahalle osa puuraaka-aineesta voi tulla tukkeina ja osa runkoina tai rungon osina. Lajitteluprosessi on kummassakin tapauksessa sama. Jos hankintamenetelmässä osa puuraaka-aineesta tulee tukkeina ja osa runkoina, runkoasema voidaan ohjelmoida muuttamaan esimerkiksi tukkien latvaläpimittajakaumaa tai pituusjakaumaa hallitusti siten, että tukit vastaavat tilauskannan ja sahauksen tarpeita.

7.1.3 Tukkien lajittelu

Tukkien tai runkojen mittaus suoritetaan multisensorijärjestelmällä, jonka muodostavat erilaiset mittausanturit, esimerkiksi röntgen, värikamera (RGB), laser, infrapuna (IR), mikroaallot ja ultraääni. Lisäksi mitataan uusilla sensoreilla tukin

biologista kestävyyttä ja lujuutta. Näiden sensorien toimintaa ohjataan parametreilla, jotka tuotetaan GMIS-järjestelmässä. Multisensorijärjestelmän tuottama data siirretään GMIS:ään, jossa luodaan tukin muodosta ja rakenteesta hyvin yksityiskohtainen virtuaalimalli kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa. Tämä malli pitää sisällään tukin geometrian, yksittäisten oksien, tiheyden, lujuuden, kuitujen ominaisuuksien jakauman, lahon jne. kuvauksen matemaattisina malleina. Tukit merkitään yksilöllisellä tunnisteella, merkinnällä, joka viittaa informaatiojärjestelmään taltioiduun tukkimalliin.

Tukkien luokittelu perustuu tuotetarpeeseen ja/tai asetteisiin. Luokitus ei ole läpimittaluokitus tai sen muunnos. Luokituksen optimoinnissa haetaan jokaiselle tukille yksilöllisesti (tukkimallin perusteella) se luokka ja ne asetteet, joista sahaamalla tukista saadaan kokonaisuuden kannalta mahdollisimman hyvä taloudellinen sahaustulos ottaen huomioon myös sahauskapasiteetin käytön.

Yksittäisen tukin optimaalinen tukkiluokka lasketaan tukkien lajittelun optimointiohjelmalla, joka ottaa huomioon tilauskannan, tuotetarpeen, käytettävissä olevat tukit sekä tuotannon ajoituksen ja läpimenoajan. Tukkien lajittelun optimoinnissa lasketaan myös yksittäiselle tukille varatuotteet ja vara-asete, jotka ovat myös mahdollisia kyseisen tukin sahausessa. Tukin tunnistetiedon perusteella taltioidaan tukkimalli, lajitteluluokat ja varaluokat ja vastaavat sahausasetteet ja niillä ennustettu sahaustulos GMIS-järjestelmään.

Mitatut, lajitellut ja lasketut tukit varastoidaan luokittain, kuitenkin niin että tietyn luokan tietty tukki voidaan poimia myös uuteen luokkaan, mikäli siihen tarvetta ilmenee. Tukkien päihin merkitään referenssiviivat, pisteet tai matriisi, josta näkyy miten tukki tai tukista syntynyt pelkka on suunnattava sahakoneisiin.

Lajiteltujen tukkien varastossa on tiedossa jokaisen tukin tarkat tiedot ja tukin sijainti. Näin ollen kokonaisvaltainen sahan optimointijärjestelmä voi koko ajan reaaliajassa laskea, mitkä tukit kannattaa sahata milläkin asetteella ja millaisiksi tuotteiksi. Näin ollen voidaan koko ajan muuttaa luokitusta reaaliaikaisesti vastaamaan senhetkistä tarvetta. Kun sama luokka sahataan samalla asetteella tai lähes samalla asetteella, saavutetaan maksimaalinen tuotantokapasiteetti. Asetteen vaihto erikseen jokaiselle tukille merkitsee tukkiväliä ja jopa 30 prosentin tuotantokyvyn menetystä.

Jos käytetään muuttuva-asetteista sahaa, tukkien sahausjärjestys voidaan valita optimaalisesti.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

7.1.4 Sahaus

Tulevaisuuden sahausprosessin olennaisena piirteenä on asetteen monipuolisuus. Ainoastaan monipuolisilla asetteilla saadaan hyödynnettyä tukin laatuominaisuudet mahdollisimman tarkasti ja saavutetaan hyvä arvosaanto. Periaatteessa jokainen sahanterien leikkaus pitäisi voida toteuttaa itsenäisesti riippumatta muista leikkauksista.

Kun tukkien lajittelussa on tukki mitattu ja mallinnettu tarkasti, mitään uusia mittauksia ei tarvita. Tukin tullessa sahakoneelle luetaan sen tunnistus ja haetaan informaatiojärjestelmästä tukin pyörykseen liittyvä informaatio sekä sahanterien asetukset ja ohjataan pyörystä ja sahakonetta asetusten mukaan. Pyörystä ohjaa tukin päähän merkitty vektori tai viiva referenssinä.

Mikäli tuotannossa pyritään sahatavaran ohella komponenttituotteisiin, läpisaheiden (viipaleiden) ja niiden moniteräsärmäys on erittäin vartenotettava ratkaisu. Riippuen tuotantokyvyn tarpeesta erilaiset ympärikiertoratkaisut ovat käyttökelpoisia.

Tukeista suoritettavan ominaisuuksien mittauksen rajallisuus ja tarkkuus ovat ilmeisiä ongelmia lyhyellä tähtäyksellä. Tästä syystä sahausjärjestelmät varustetaan mittareilla, jotka jokaisen teräleikkauksen jälkeen mittaavat juuri sahatun pinnan ominaisuudet ja lähettävät informaation GMIS:ään, jossa sitten optimointijärjestelmä automaattisesti parantaa tukkimallia vastaavasti ja laskee seuraavien leikkausten optimaaliset paikat.

Kaikki valmistusprosessissa syntyneet saheet merkitään yksilöllisellä tunnistella ja kaikki sahauskassa syntyneet informaatio tallennetaan GMIS:ään.

7.1.5 Tuoreen sahatavaran analysointi ja lajittelu

Tuorelajittelussa käytetään hyväksi kaikkea sitä tietoa jota kappaleista on kerätty niiden elinkaaren matkalta. Lisäksi voidaan suorittaa tiettyjä tarkennusmittauksia oksaisuudesta, lujuudesta, kosteudesta, lahonkestosta jne. Kaikki kappaleisiin liittyvä informaatio siirretään informaatiojärjestelmään, jossa optimointijärjestelmä laskee mitä kyseiselle kappaleelle kannattaa tehdä – lajitella NT-luokkaan, lujuusluokkaan tai monilaatuluokkaan tai ohjata jalostukseen esimerkiksi komponenteiksi.

Mittausten ja luokituksen perusteella kappaleelle määritetään myös kuivauskuorma ja -olosuhteet.

7.1.6 Rimoitus

Rimoitusvaiheessa luetaan kappaleen koodi ja informaatiojärjestelmään siirretään tieto myös kappaleen paikasta kuivaamossa ja kuivauskuormassa. Rimapaketti merkitään tunnisteella esimerkiksi RFID-tagilla. Näin paketin kulkua ja sen sijaintia voidaan seurata tarkasti.

7.1.7 Kuivaus

Kuivaamon täyttöä ohjataan optimointijärjestelmällä, joka ohjaa kuivaamon toimintaa kokonaisuuden kannalta mahdollisimman tehokkaasti siten että saavutetaan mahdollisimman hyvä kuivauslaatu mahdollisimman nopeasti.

7.1.8 Loppulajittelu, paketointi ja varastointi

Kappaleen tunnusteen perusteella loppulajittelussa käytetään hyväksi kaikkea sitä tietoa, jota kappaleesta on kerätty sen elinkaaren matkalta. Kappaleen loppukosteus mitataan. Lisäksi voidaan suorittaa tiettyjä tarkennusmittauksia, koska kuivauksessa on saattanut syntyä virheitä. Kaikki kappaleisiin liittyvä informaatio siirretään informaatiojärjestelmään, jossa optimointijärjestelmä laskee mitä kyseiselle kappaleelle kannattaa tehdä – lajitella NT-luokkaan, lujuusluokkaan tai monilaatuluokkaan tai ohjata jalostukseen esimerkiksi komponenteiksi.

Merkinnän avulla voidaan myös tuorelajittelun laatu siirtää loppulajittelussa hyödynnettäväksi. Merkinnän avulla saadaan tietoa myös kuivauksen onnistumisesta. Kappaleeseen liittyvä tieto muodostaa kappale- tai eräkohtaisen ominaisuuskartan WIM:in (Wood Information Model), jota voidaan hyvin monella eri tavalla hyödyntää asiakkaiden ja jalostajien palvelussa ja oman toiminnan kehittämisessä.

7.2 Komponenttikonsepti – täsmäsahatavara

Komponenteilla tarkoitetaan seuraavassa sahatavaratuotteita, joilla on selkeästi täsmälliset ominaisuudet ja jotka tuottavat lisäarvoa asiakkaille esimerkiksi puutuoteteollisuudessa, ikkunoiden ja ovien valmistuksessa, rakennusosien valmistuksessa, huonekaluteollisuudessa jne. Komponenttituotteet voivat olla dimensioiltaan ja pituudeltaan huomattavasti sahatavaraa pienempiä. Komponenttituotteet voivat olla sahapintaisia tai höylättyjä. Komponenttituotteiden valmistus voi

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

alkaa rungoista, tukeista, saheista – esimerkiksi läpisahatut viipaleet – tuoreesta sahatavarasta tai kuivasta sahatavarasta. On tärkeätä muistaa, että vaikka yritys ei itse valmistaisikaan varsinaisia komponentteja, sen toimittama sahatavara todennäköisesti ”paloitellaan” jossain jalostusvaiheessa komponenteiksi. Näin ollen on tärkeää, että ajatuksellisesti komponenttien valmistus aloitetaan jo varhaisessa vaiheessa jalostusketjua ja viimeistään silloin kun tuotetaan sahatavaraa. Ainoastaan tällä tavalla tuotettu sahatavara sopii hyvin komponenttien valmistukseen.



Kuva 86. Esimerkki puisesta komponentista puutuoteteollisuudelle.

Komponenttituotetta voidaan kuvata useilla eri määreillä, esimerkiksi puulaji, geometriset suureet kuten paksuus, leveys, pituus ja vajasärmäisyys, laatuluokka, lujuus, tiheys, vuosirengasväli ja sen suunta komponentissa ja tuotteessa, ulkonäkö ja esteettiset näkökohdat (kuva 86). Toimitusta varten on tiedettävä kuutiometri-määrä tai kappalemäärä tuote- tai komponenttiryhmittäin, toimitusaika ja hinta jne.

7.2.1 Komponenttien valmistus läpisaheista

Komponenttituotteiden valmistuksen tulisi aina alkaa tuotteisiin sopivan puuraaka-aineen valinnalla. Jos puuraaka-aineen ja kysytyjen tuotteiden ominaisuudet eivät kohtaa, seurauksena on auttamatta hävikin suureneminen. Puuraaka-aineena on joko sahatavara tai läpisahatut viipaleet – joko tuoreena tai kuivana (kuva 87). Mikäli valinta tapahtuu tuoreena, se on käsitettävä alustavaksi valin-

naksi. Kuivauksessa saattaa tapahtua sellaisia virheitä esimerkiksi halkeamia tai muodonmuutoksia, jotka ovat niin vakavia että ne saattavat tehdä komponenttien valmistuksen mahdottomaksi. Lopullisen valinnan tulisi tapahtua mieluummin kuivana.

Puuraaka-aineen valinnassa on käytettävä konenäköjärjestelmää, joka generoi saheesta ominaisuuskartan kaikilta neljältä sivulta ja tulevaisuudessa myös informaatiota sisäisestä laadusta. Ominaisuuskartta siirretään optimointiohjelmaan, joka simuloi puuraaka-aineen prosessointia erilaisiksi tuotevaihtoehdoiksi erilaisilla valmistusoptioilla, jotka käyttäjä on määritellyt. Tulokseksi saadaan tieto siitä mitä aihiolle kannattaa tehdä, tehdäänkö kappaleesta sahatavaraa vai komponentteja. Jos päätös on se, että tehdään komponentteja, niin täytyy generoida tieto millaisia komponentteja tuotetaan ja millaisella ohjeistuksella valmistus tapahtuu.



Kuva 87. Komponenttien valmistukseen konenäköjärjestelmällä lajiteltu läpisahe.

Läpisaheiden rimoitus on kokemusten mukaan varsin haastavaa, eikä samoja tuotantomääriä saavuteta kuin normaalin sahatavaran rimoituksessa. Lisäksi läpisaheiden muodon takia rimapaketin sisältämä puumäärä voi olla huomattavasti pienempi kuin sahatavaralla. Ratkaisuna läpisaheiden rimoitusongelmaan on kappaleiden reunojen särmääminen siten, että vajasärmäisyyttä saadaan poistettua riittävästi niin että rimoitus helpottuu eikä saannonmenetyksiä kuitenkaan tapahdu.

Kuvissa 88a, 88b ja 88c esitetään erilaisia vaihtoehtoja läpisaheiden särmän poistamiseksi. Särmän poistaminen edellyttää viipaleen mittaamista konenäköjärjestelmällä, joka mittaa viipaleen geometrian ja lopputuotteiden laatuun vai-

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

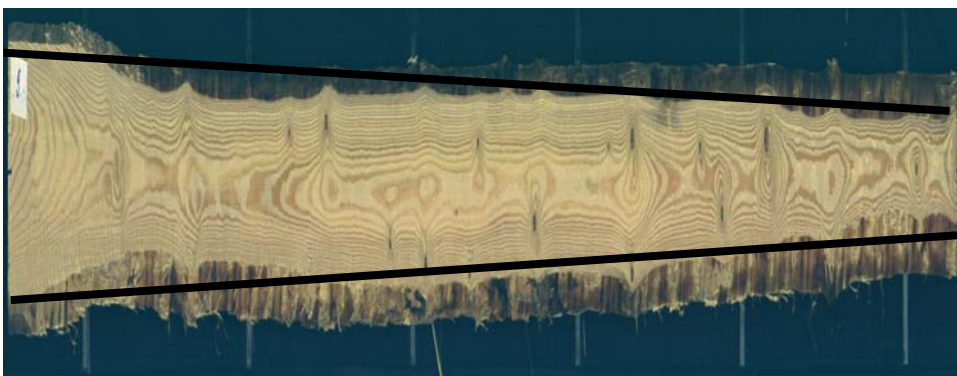
kuttavat viipaleen ominaisuudet, kuten oksien laadun, koon ja sijainnin. Tämä informaatio siirretään optimointijärjestelmään, joka päättelee

- tehdäänkö viipaleesta sahatavaraa jo tuorevaiheessa
- tehdäänkö viipaleesta sahatavaraa tuorevaiheessa ja kuivattuna mahdollisesti komponentteja
- kuivataanko viipale, josta tehdään sitten komponentteja.

Jos viipale kuivataan, optimointijärjestelmä laskee ohjeet viipaleen särmäykselle ja siirtää toteutustiedon särmäsahalle.



Kuva 88a. Läpisaheesta on särmämällä poistettu vajaasärmäisyyttä rimoitusta varten.

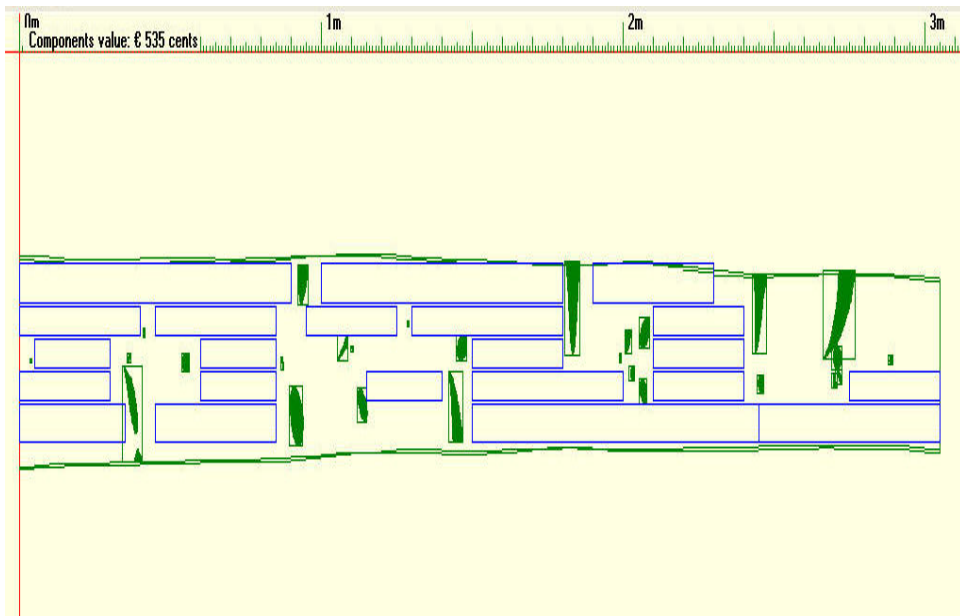


Kuva 88b. Läpisaheesta on poistettu vajaasärmäisyyttä syrjän suuntaisella särmäyksellä.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 88c. Läpisaheesta on poistettu vajaasärmäisyttä syrjien suuntaa mukailevilla särmäyksillä.



Kuva 89. Komponenttien valmistus sahaamalla läpisahe ensin moniteräisellä särmäsahalla tangoiksi, jotka sitten katkotaan lopputuotteen edellyttämiin pituuksiin katkaisusahalla.

Kuvissa 89, 90, 91 ja 92 esitetään erilaisia vaihtoehtoja komponenttituotteiden valmistamiseksi. Maksimaaliseen puuraaka-aineen tilavuuden hyväksikäyttöön päästään aina, kun komponentteihin voidaan sijoittaa mahdollisimman paljon puussa olevia vikoja. Tästä syystä toivotussa tuotelistassa tulisi olla mahdollisimman suuri tuotteiden määreiden vaihtelu, toisin sanoen paljon pituuksia, pal-

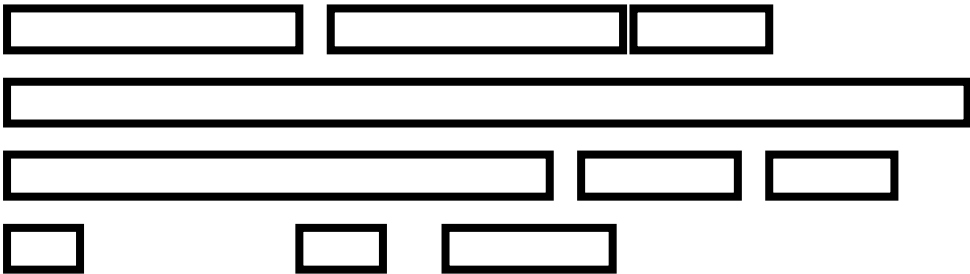
7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

jon leveyksiä ja suuri laadun vaihtelu. Hyvistä kappaleista saadaan tuloja ja huonoihin kappaleisiin saadaan sidottua puuaineen huonot osat. Jos pyritään tuottamaan pelkästään hyvälaatuisia, sinällään kallishintaisia komponentteja, saatetaan helposti tuhota tuotannon kannattavuus, koska syntyy liian paljon hukkaa.

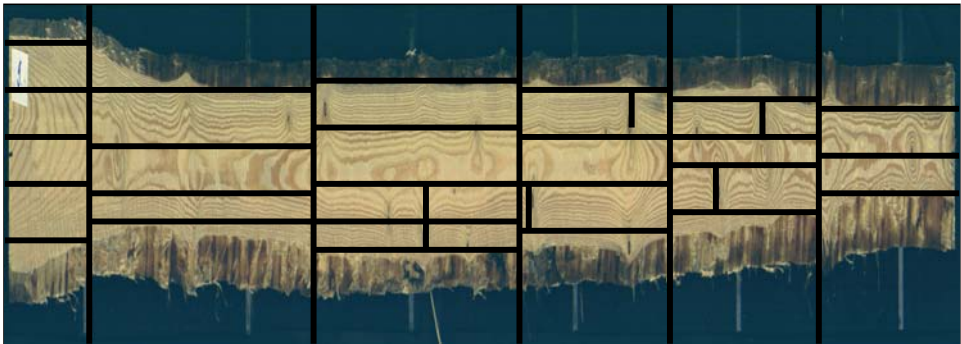
Kuvissa 89 ja 90 esitetyissä tuotantomalleissa läpisahe särmätään ensin pituussuunnassa tangoiksi. Tämän menetelmän suuri etu on siinä, että prosessin tuloksena syntyy pitkiä kappaleita, jotka useinkin ovat hyvin toivottuja. Tuotteen pituudella on aina tietty itseisarvo. Pitkistä tangoista saadaan aina katkomalla lyhyempiä kappaleita esimerkiksi vikojen poistamiseksi ja tuote-erittelyjen toteuttamiseksi.

Kuvan 91 tapauksessa läpisaheet katkotaan ensin lyhyemmiksi läpisaheiksi, jotka sitten särmätään tangoiksi. Tangot katkotaan tarpeen vaatiessa tuotepituuksiin. Tällä menetelmällä päästään hyvään tilavuussaantoon ja raaka-aineen peittoon. Mitä enemmän jalostukseen tulleissa viipaleissa on muotovikoja esimerkiksi käyryyttä, kuivausvikoja, sitä parempaan tulokseen päästään kuvissa 89 ja 90 esitettyyn toimintatapaan verrattuna.

Kaikkein paras komponenttien valmistuskonsepti on sellainen, jossa voidaan viipaleiden mitattujen ominaisuuksien perusteella valita optimaalinen valmistustapa ja valmistuksen reititys.

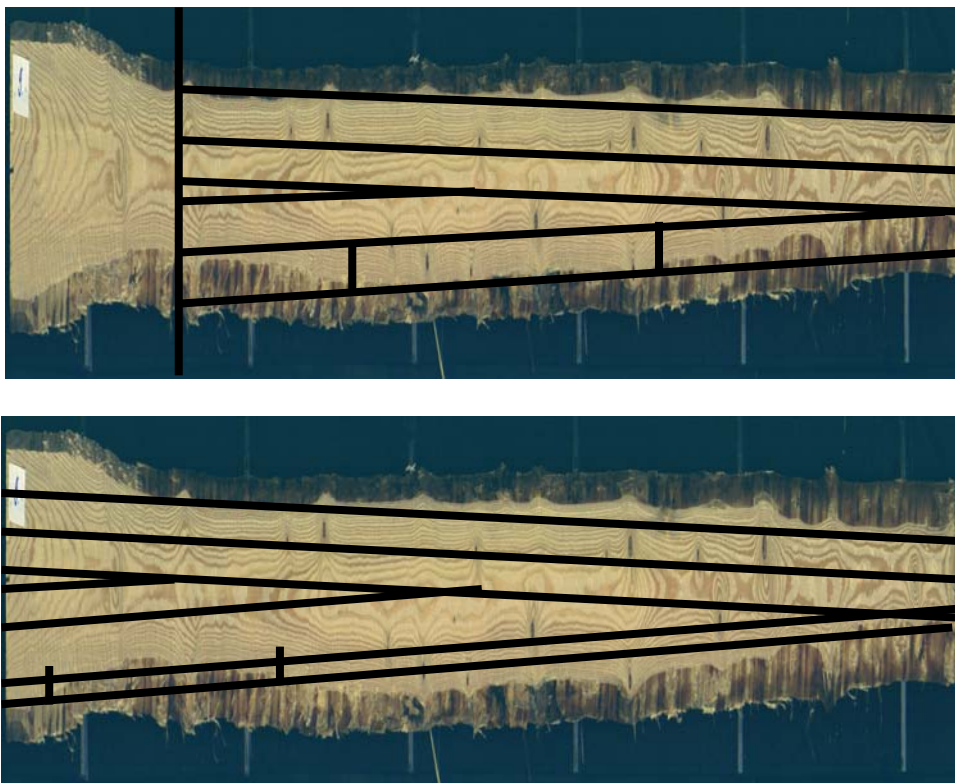


Kuva 90. Komponenttien valmistus sahaamalla läpisahe ensin moniteräisellä särmäsahalla tangoiksi, jotka sitten katkotaan lopputuotteen edellyttämiin pituuksiin katkaisusahalla.



Kuva 91. Komponenttien valmistus katkaisemalla läpisahe ensin osiin. Jokainen osista sahataan moniteräisellä särmäsahalla tangoiksi, jotka voidaan tarpeen vaatiessa katkoa lyhemmiksi kappaleiksi esimerkiksi vian poistamiseksi.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 92. Komponenttien valmistustapa, jossa sahaus suoritetaan kappaleen syrjän suuntaan.

Kuvassa 92 esitetään komponenttien valmistustapa, jossa olennaisena osana on pyrkimys hyödyntää mahdollisimman tarkoin viipaleen reuna-alueet, jotka yleensä ovat oksattomia tai vähäoksaisia tukin laadusta riippuen. Männyn tyvitukilla viipaleen reunalla oleva oksaton alue voi olla hyvinkin leveä ja tarjoaa siten hyvät mahdollisuudet oksattomien komponenttien valmistukselle. Valmistusprosessin ensimmäisessä vaiheessa viipale mitataan tarkasti ja optimoidaan leikkauskuvio. Sahauksen aluksi viipale voidaan ensin katkoa lyhyemmiksi viipaleiksi. Nämä viipaleet särmätään reunan suuntaisesti moniteräisellä särmäsahalla tangoiksi kappaleen toiselta reunalta. Tämän jälkeen viipaleen jäljelle jäänyt osa suunnataan uudelleen särmäsahaan ja sahataan tangoiksi. Lopuksi tangot katkotaan haluttuihin pituuksiin. Alkuperäisen viipaleen keskiosasta jäänyt kolmiomainen jäännöskappale haketetaan.

7.2.2 Komponenttien valmistus laserilla

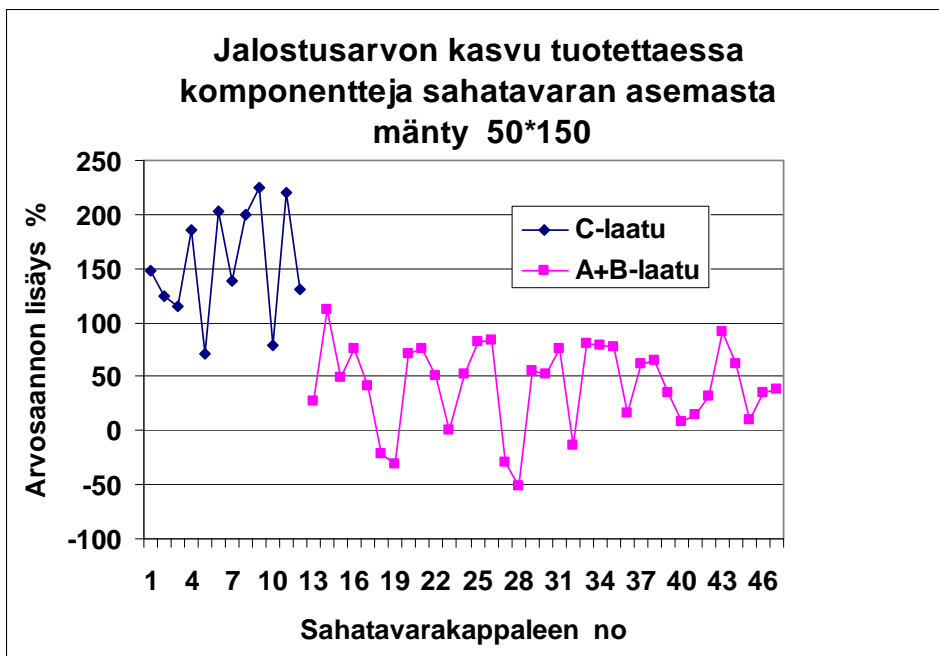
Viipaleen tarkalla mittauksella ja optimoinnilla voidaan tuottaa hyvinkin monimutkainen leikkauskuvio ilman mitään työstön aiheuttamia rajoituksia. Leikkauskuvio ei rajoitu pelkästään suorakaiteen muotoihin vaan se voi olla millainen hyvänsä palapeli. Leikkauskuvio voidaan toteuttaa laserilla. Laserilla voidaan päästä leikkuunopeuteen 50 m/min. Menetelmän haittoina ovat kustannukset, korkea energiankulutus, leikatun reunan tummuminen ja suhteellisen pieni tuotantokyky. Merkittävänä etuna on pieni sahausrako: noin 1 mm.

7.2.3 Komponenttien valmistus sahatavarasta

Komponenttien valmistus voi alkaa myös sahatavarasta. Sahatavaran valmistajan peruskysymyksenä on, kannattaako sahatavara myydä sahatavarana vai kannattaako se jalostaa komponenteiksi ja myydä komponentteja. Näitä vaihtoehtoja tutkittiin simuloimalla todellista tilannetta. Simuloinnissa käytettiin seuraavia komponenttituotteiden oksaisuuteen liittyviä laatumäärittelyjä:

- neljältä sivulta oksaton
- kolmelta sivulta oksaton
- kahdelta sivulta oksaton
- yhdeltä sivulta oksaton
- kaikilla sivuilla sallitaan oksia, joiden maksimikoko on 30 mm.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

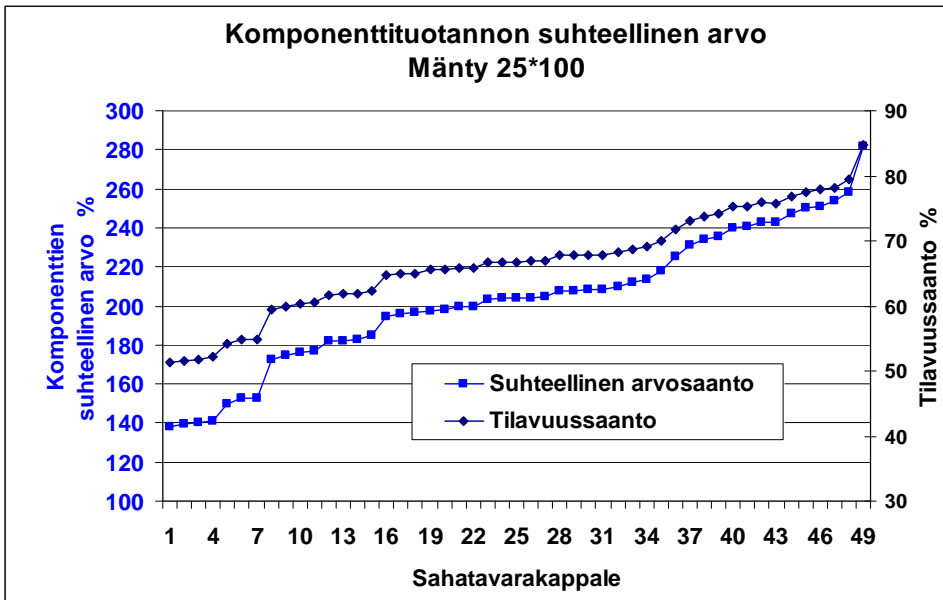


Kuva 93. Arvosaannon lisäys mäntykomponenttien tuotannossa sydäntavaralla.

Kuvassa 93 esitetään tulokset tutkimuksesta, jossa analysoitiin kuinka paljon enemmän myyntituloja saadaan, jos mäntysahatavara 50 x 100 A+B-laatu tai C-laatu jalostetaan komponenteiksi sahatavarana myynnin asemasta. Huonomman C-laadun kohdalla myyntitulojen lisäys vaihtelee 70 prosentista 230 prosenttiin. Kaikkien kappaleiden kohdalla muuntaminen komponenteiksi tuottaa selkeästi enemmän myyntituloja.

Paremmen A+B-laadun kohdalla tilanne on kaksijakoinen. On kappaleita, joista saadaan enemmän myyntituloja, jos ne jalostettaisiin komponenteiksi. Suurimmillaan arvonlisäys on 100 prosenttia. On kuitenkin kappaleita noin 25 prosenttia kokonaismäärästä, joiden kohdalla myynti sahatavarana on selvästi kannattavampaa. Huonoimmillaan arvonmenetykset voi olla jopa 50 prosenttia.

Tulokset osoittavat hyvin selvästi, että sahatavara- ja kappaleiden valinnalla on keskeinen merkitys jalostuksessa saatavaan lisätuottoon tai arvonmenetykseen. Tämä valinta on tehtävä sahausprosessissa jo varhaisessa vaiheessa.



Kuva 94. Arvosaannon lisäys ja tilavuusaanto valmistettaessa komponentteja mäntylautoista.

Kuvassa 94 esitetään tulokset tutkimuksesta, jossa analysoitiin mikä on komponenttien suhteellinen arvo, jos mäntylautoja 25 x 100 mm jalostetaan komponentteiksi sahatavarana myynnin asemasta. Huonommillaankin komponenttituotannon arvo on ollut 140 prosenttia verrattuna sahatavaran arvoon. Parhaimmillaan suhteellinen arvo on ollut lähes kolminkertainen. Arvoero on hyvin merkittävä.

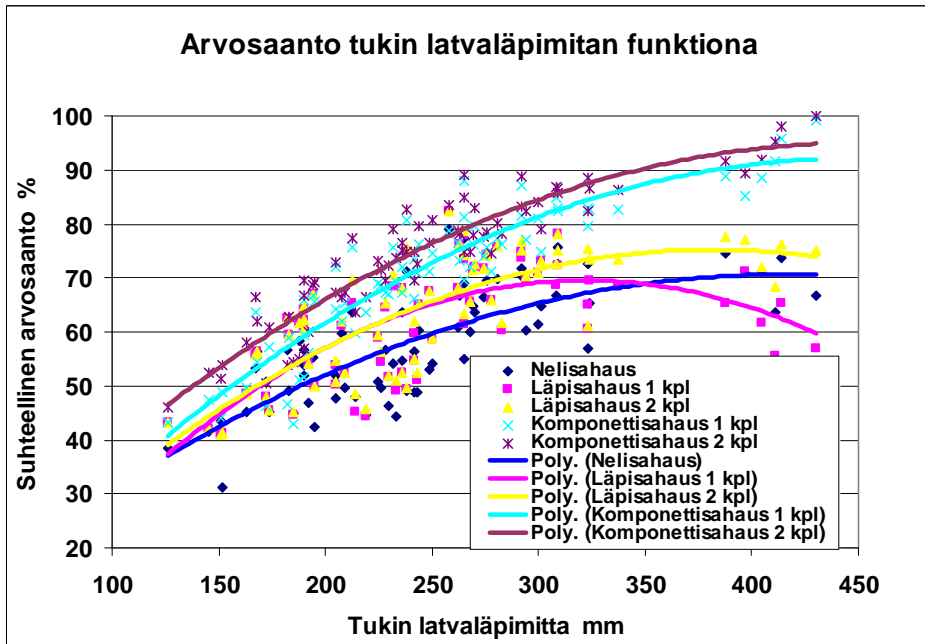
Kuvassa 94 on esitetty myös komponenttien valmistuksessa saatava tilavuusaanto, joka vaihtelee 40 prosentista 85 prosenttiin. Nämä prosenttiosuudet ovat merkittävästi suuremmat kuin käytännössä on toistaiseksi saavutettu. Tilavuusaannon ollessa suurimmillaan jalostettava kappale on saatu hyödynnettyä erittäin tarkoin. Tilavuusaannolla on myös selvä, jokseenkin lineaarinen korrelaatio arvosaantoon.

7.2.4 Komponenttituotanto verrattuna sahatavartuotantoon

Komponenttituotantoa ja eri sahausmenetelmillä saatavaa sahatavartuotantoa verrattiin toisiinsa simuloimalla. Kaikkien menetelmien kohdalla tukit olivat täysin samat. Sahatavaraa valmistettiin sekä perinteisellä nelisahausmenetelmällä että läpisahausmenetelmällä. Läpisahauksessa voitiin suorittaa sahatavaran

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

särmäys joko siten, että otettiin viipaleesta yksi kappale tai sitten kaksi kappaletta rinnakkain. Myös komponenttien sahaus toteutettiin siten, että läpisahe voitiin sahata yhdeksi pitkäksi tangoksi, joka sitten katkaistiin komponenttien edellyttämiin pituuksiin. Toisena komponenttien sahaustapana oli särmätä samasta viipaleesta kaksi katkottavaa tankoa. Simuloinnin tulokset esitetään kuvassa 95.



Kuva 95. Eri sahausmenetelmillä saatava suhteellinen arvosaanto tukin latvaläpimitan funktiona. Pistejoukkoihin on sovitettu toisen asteen polynomit.

Tutkimuksen tuloksista nähdään, että 300 mm tukin latvaläpimitaan saakka nelisahaus sahausmenetelmänä tuottaa huonoimman tuloksen. Läpisahausella saavutetaan selvästi parempi tulos. Särmäyksessä riittää yksi sahatavarakappale. Komponenttien sahausssa päästään selvästi kaikkein korkeimpaan tuotannon myyntiarvoon. Komponenttituotannossa kahden kappaleen särmääminen tuottaa selvästi paremman tuloksen kuin yhden kappaleen särmääminen.

Tukkikoon ylittäessä 350 mm nelisahaoksen kilpailukyky paranee jossain määrin läpisahauskeen verrattuna ja erityisesti, jos läpisahausessa voidaan ottaa vain yksi särmättävä kappale. Tukkikoon ylittäessä 270 mm komponenttien valmistus tuottaa suhteellisesti vieläkin enemmän myyntituloja muihin menetelmiin verrattuna kuin pienempien tukkien sahausessa.

Verrattaessa eri sahaustapoja tukin latvaläpimitan ollessa 225 mm läpisahauskella saavutetaan 10 prosenttia parempi arvosaanto kuin nelisahauskella. Jos läpisahausmenetelmällä valmistetaan komponentteja niin että särmäsahassa on vain kaksi terää, saannonparannus nelisahaukseen verrattuna on 20 prosenttia. Jos teriä on kolme kappaletta – kaksi tankoa – niin saannon parannus on nelisahaukseen verrattuna 27 prosenttia. Latvaläpimitan ollessa 350 mm nelisahaus ja yhden kappaleen läpisahaus tuottavat yhtä hyvin, sen sijaan kahden kappaleen läpisahaus tuottaa 8 prosenttia enemmän kuin nelisahaus. Komponenttien sahaus tuottaa myyntituloja huomattavan paljon enemmän. Saantoero yhden kappaleen särmäykseen verrattuna on 27 prosenttia ja kahden kappaleen särmäykseen verrattuna 31 prosenttia.

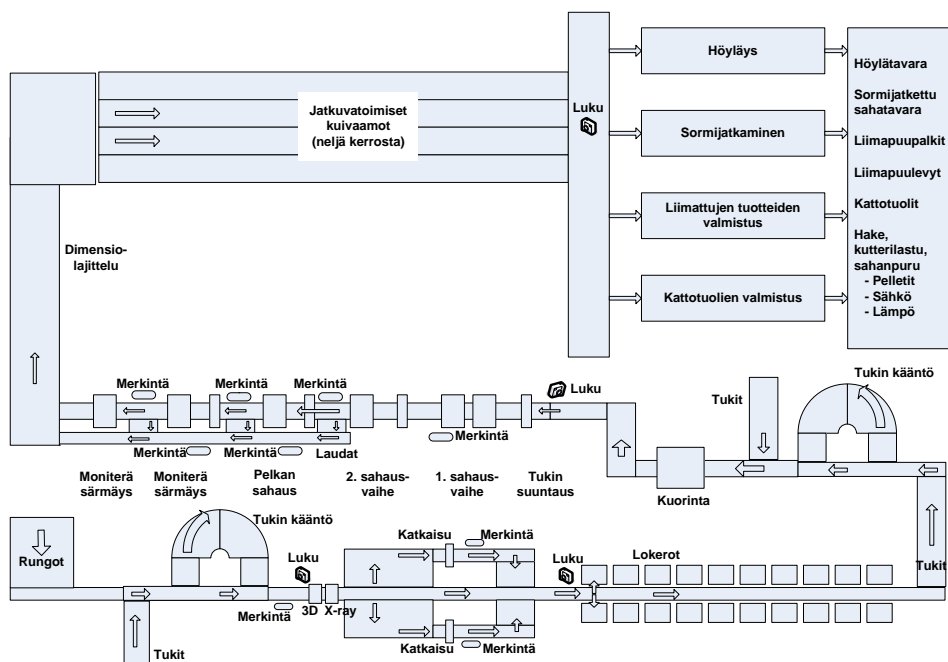
7.2.5 Esimerkki komponenttisahasta

Kuvassa 96 on esitetty esimerkki komponentteja tuottavasta sahasta. Metsästä optimaalisesti katkaistut tukit tai rungot, joiden pituus on rajoitettu esimerkiksi 18 metriin, tuodaan suoraan tehtaalle. Tukeille ja rungoille on omat tukkipöydät sahaansyötössä. Tukit mitataan 3D-röntgenmittareilla sekä ajetaan välittömästi optimoinnin ja optimipyöriksen kautta muuttava-asetteiseen sahaan tai vaihtoehtoisesti laadun, latvaläpimitan tai sydänpuuosuuden mukaiseen lokeroon. Vastaavasti rungot mitataan 3D-röntgen mittareilla, optimoidaan ja katkotaan optimoinnin perusteella sekä ajetaan välittömästi optimipyöriksen kautta muuttava-asetteiseen sahaan tai vaihtoehtoisesti laadun, latvaläpimitan tai sydänpuuosuuden mukaiseen lokeroon.

Sahausta ohjataan 3D-röntgenmittareilla joko aiemmin mitatun tiedon avulla tai tarkennettuna mittauksena välittömästi ennen sahakonetta. Kapasiteettitasosta riippuen sahattavaa tukkia voidaan kierrättää myös saman sahakoneen läpi. Aihiot ohjataan tarpeen mukaan (särmäyksen kautta) halkaisuun ja/tai rispaukseen. Mikäli tehdään myös lautadimensioita, ne ohjataan suoraan jatkuvatoimiseen kuivaukseen. Kuivattavat paksut aihiot rimoitetaan ja kuivataan perinteisemmällä tavalla tai vaihtoehtoisesti ilman rimoitusta jatkuvatoimisessa kuivaamossa.

Kuivatut aihiot käsitellään jatkojalostuksessa. Jatkojalostus käsittää ainakin aluksi perinteiset jalostusprosessit komponenteiksi; laatulajittelun, vikojen poiston, sormijatkamisen, kokopuukomponenttien valmistamisen, liimatuttujen komponenttien valmistamisen sekä mahdollisesti myös komponenttien lujuuslajittelun.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 96. Komponentteja tuottavan sahan periaatteellinen pohjapiirros.

7.2.6 Yhteenveto

Tutkimusten tuloksista on selvästi pääteltävissä, että komponenttien valmistus tarjoaa sahatteollisuudelle erittäin merkittävän mahdollisuuden parantaa tulostaan. Komponenttien valmistus alkaa aina jo jalostusketjun alkupäässä, vaikka itse fyysinen sahaus tehtäisiinkin lähempänä lopputuotetta.

7.3 Standardituotteita valmistava saha

Kuvassa 97 on esitetty esimerkki standardituotteita tuottavasta sahasta. Tukit tulevat metsästä valmiiksi katkaistuina optimoituihin pituusmittoihin. Tukkilajittelussa tukit merkitään, mitataan 3D- ja röntgenmittareilla sekä lajitellaan mittausten perusteella latvaläpimitan ja laadun mukaan lokeroihin. Lajittelussa otetaan mahdollisuuksien mukaan huomioon tukista lähtien lujuuden mukainen, kuivaukseen vaikuttava ja visuaalisen ulkonäköön vaikuttava laatu.

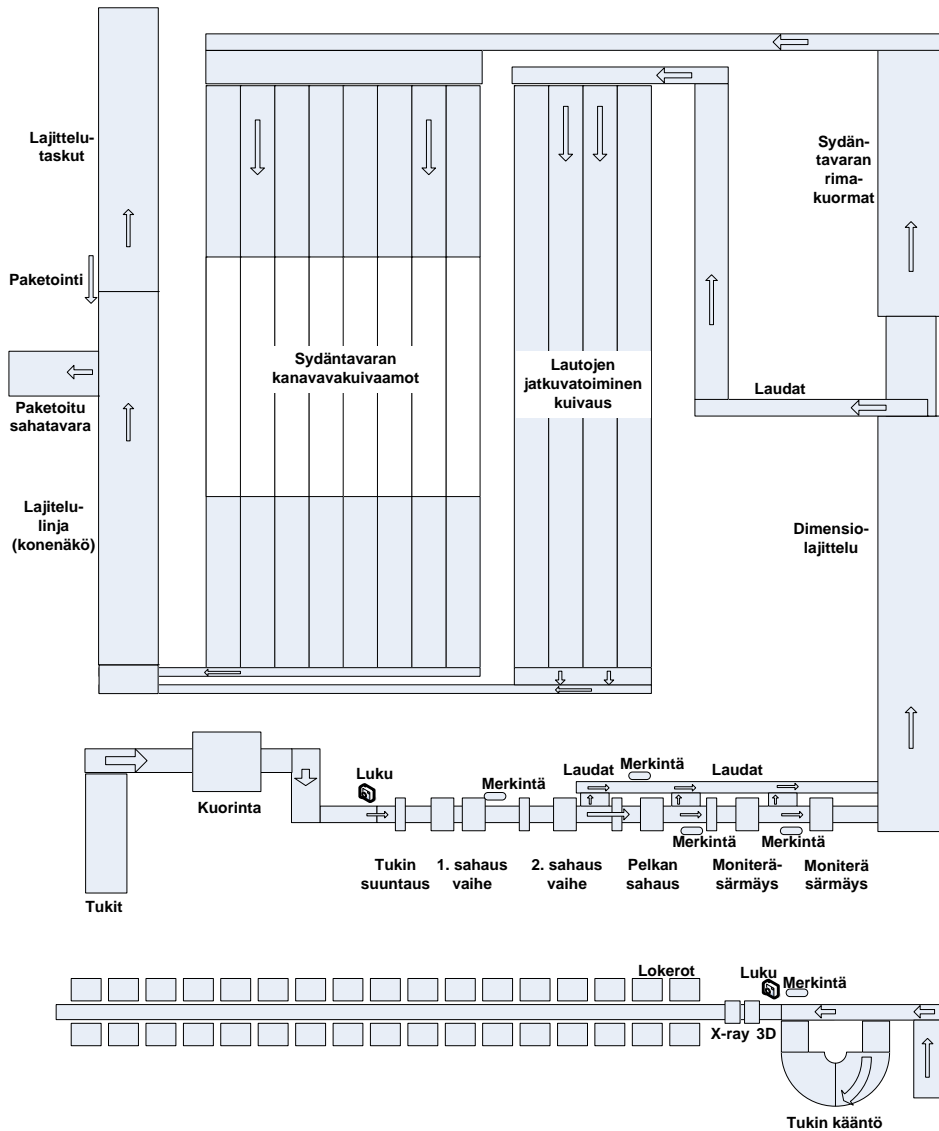
Sahaus tapahtuu perinteisesti tukin latvaläpimitan/laadun mukaisesti. Tukin syöttö sahaan, mahdollinen kääntö latva edellä sahaukseen, kuorinta, tukin laatu-tiedon luku ja pyöritys optimaaliseen suuntaan röntgenmittauksen mukaan. Syn-tyneet sahatavarakappaleet merkitään.

Sydäntavara ja laudat lajitellaan vaakalajittelijassa sahatavaran paksuuksien mukaan, leveydet samaan vaakaväliin. Sydäntavara rimoitetaan paksuuden mu-kaisiin rimapaketteihin, eri leveydet samassa rimapaketissa. Lautoja ei rimoiteta kuivausta varten.

Laudat kuivataan jatkuvatoimisessa kuivaamossa ja sydäntavara perinteisesti kanavakuivaamossa, myös sydäntavaran jatkuvatoimista kuivausta harkitaan.

Laudat lajitellaan paksuuden ja leveyden mukaan sekä seuraavien laatuteki-jöiden mukaan: ulkonäkö, suoruus, lujuus, lahonkesto, VOC-luokka. Sydäntava- ra tarkastuslajitellaan vielä kerran lujuuden ja visuaalisen laadun kannalta.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

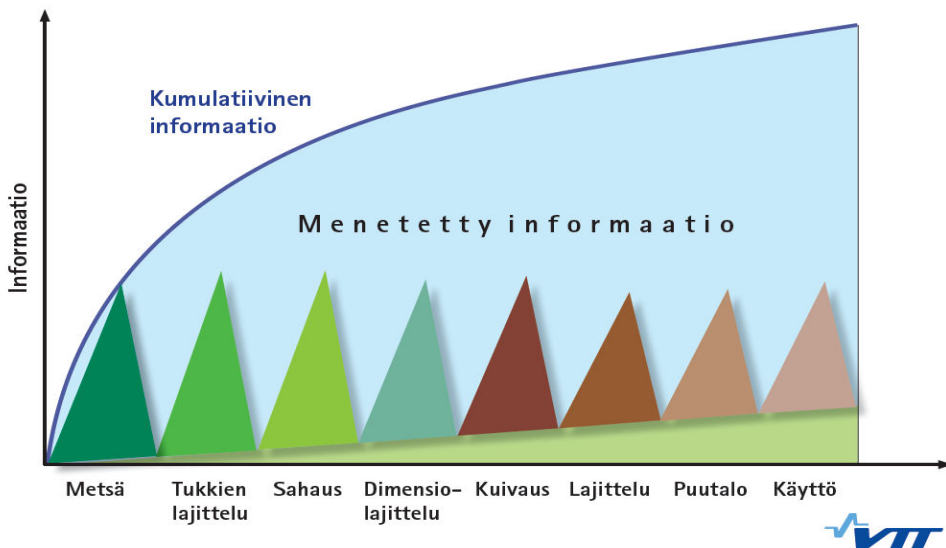


Kuva 97. Standardituotteita tuottavan sahan periaatteellinen ratkaisu.

7.4 Kappaleiden merkintään perustuva sahaustoiminnan ohjaus

7.4.1 Hukattu informaatio

Kuvassa 98 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. Kuvassa 98 origosta lähtevä suura suuntautuu vinosti ylöspäin. Tukkikuorman tullessa sahalle juuri mitään edellä mainituista tiedoista ei ole tallella. Informaatiosisältöä kuvaava suura suuntautuu jyrkästi alaspäin ja päättyy lähes nollassolle. Tukien lajittelussa mittaustietoa kertyy tukin läpimitoista, kartiokkuudesta, lenkoudesta, laadusta, tilavuudesta jne. Toisin sanoen niistä parametreista, joita tukeista jo kertaalleen oli metsässä jo mitattu.



Kuva 98. Informaatiosisältö ja kumulatiivinen informaatio jalostusketjun eri vaiheissa.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

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 informaatioisältö 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 sahatavarasta 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 98 on piirretty myös kumulatiivinen informaatioisältö, jossa kaikki eri prosessivaiheissa kerätty, mitattu ja havaittu tieto on tallennettu. Valmiiseen sahatavarakappaleeseen liittyy siten huomattava informaatioisältö. Jos edes osa menetetyistä tiedoista olisi tallella, voitaisiin puhua informaatiointensiivisestä tuotteesta, ainakin verrattuna nykyisiin sahatavaratuotteisiin. Puun jalostusketjun kokonaisvaltaista hallintaa ja optimointia silmällä pitäen on kuitenkin erittäin tärkeää, että suuri osa menetetyistä informaatiosta saataisiin pelastettua ja hyödynnettyä liiketoiminnassa.

7.4.2 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 ovat puun identifiointi, merkintä ja merkinnän lukeminen sekä syötetyn ja mitatun informaation tallennus ja käsittely siten, että saadaan tuotettua tehokasta ohjausinformaatiota. Merkintä muodostaa silan jalostusketjun eri vaiheiden välille, koska sen avulla voidaan linkittää toisiinsa raaka-aineet, puolivalmisteet ja tuotteet sekä prosessien parametrien arvot (kuva 99).

Merkintäjärjestelmien käytöllä pyritään sahayrityksen kannattavuuden parantamiseen tehostamalla informaation kulkua, suunnittelun tasoa, prosessin ohjausta, asiakaslähtöistä toimintaa, laadunohjausta, prosessireittien valintaa, prosessin kunnan valvontaa.

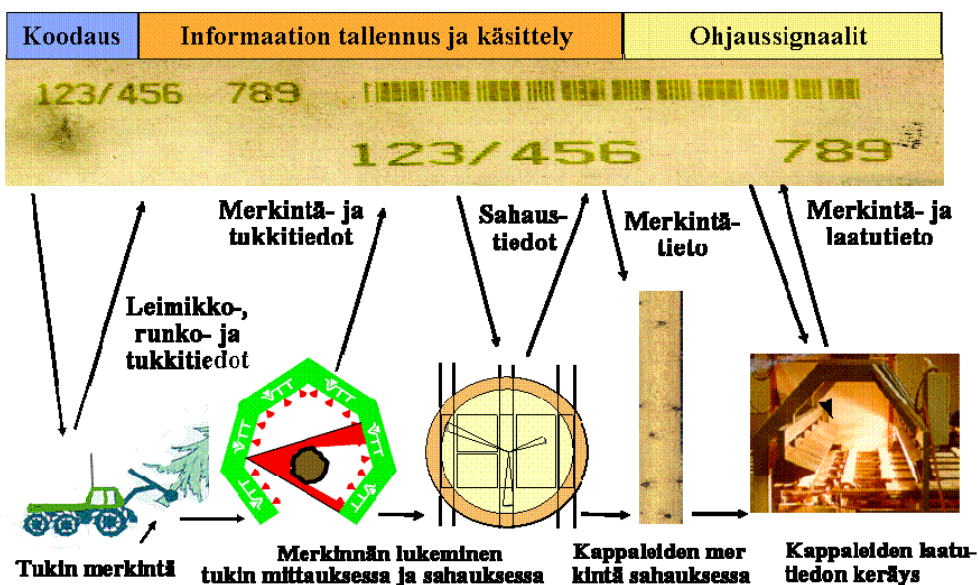
Merkintä on sahausprosessissa sahapuurunkoon, tukkiin, pelkkaan, sahatavara-aihioon tai tuoreeseen tai valmiiseen kuivaan sahatavaraan tehty merkki, joka on visuaalisesti tai automaattisesti havaittavissa tai luettavissa. Merkintään liittyy aina informaatiota, joka kertoo suoraan tai epäsuorasti ihmiselle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

Merkintä voi olla

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

Kollektiivinen merkintä tehdään tietylle ryhmälle tai osaryhmälle kappaleita; esimerkiksi kaikki tyvitukit merkitään punaisella ympyrällä. Yksilöllinen merkintä kirjoitetaan kaikkiin kappaleisiin tai osaan niistä.

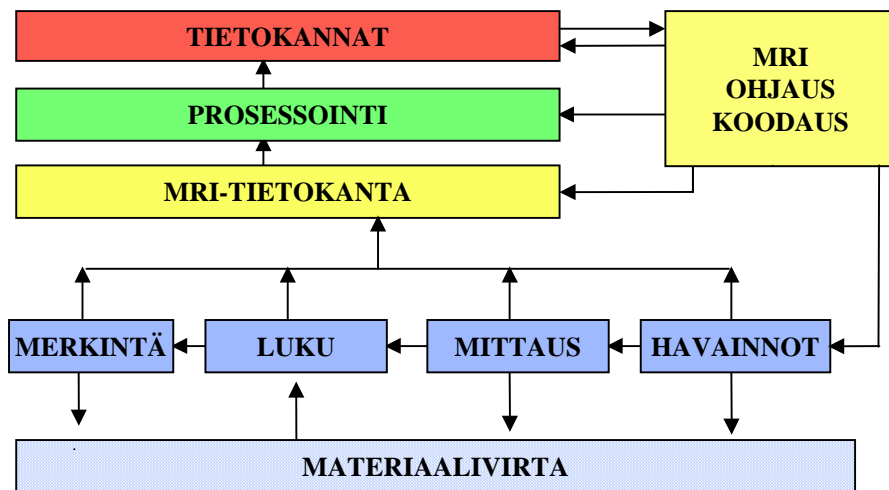
INFORMAATIOJÄRJESTELMÄ



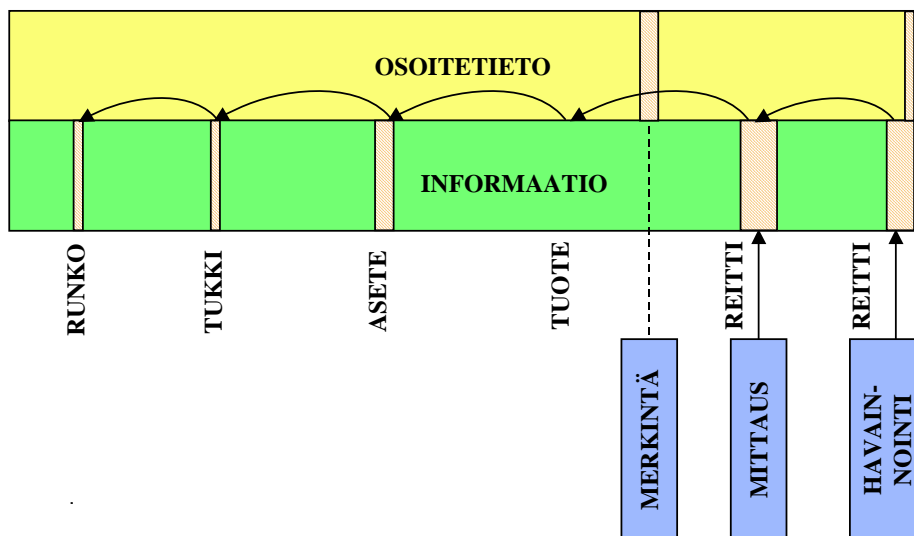
Kuva 99. Kappaleiden merkintään, informaation tallennukseen ja prosessointiin, merkinnän lukuun ja informaation hyväksikäyttöön perustuvan sahausohjauksen järjestelmän periaate.

Merkinän hyödyntämiseen perustuva informaatiojärjestelmä

Seuraavassa esitetään kappaleiden merkintään, merkinnän lukuun ja informaation käsittelyyn perustuvan tietojärjestelmän periaateratkaisu (kuvat 100 ja 101).



Kuva 100. MRI-informaatiojärjestelmän peruskonsepti.



Kuva 101. Tiedon ketjutus merkinnän avulla tietojärjestelmässä.

Ollena 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 (kuva 98) 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 tosistaan. MRI-tietokannat prosessoidaan ensin virheellisten datojen löytämiseksi ja eliminoimiseksi. Tämän jälkeen data prosessoidaan määritelyjen sääntöjen mukaan. Tuloksena syntyy jalostettu tietokanta suunnittelutoiminnassa käytettäväksi.

7.4.3 Merkintäteknikat

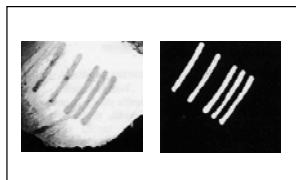
Kappaleiden merkintä voi tapahtua seuraavilla tavoilla (kuva 102):

- sormenjälkimenetelmä
- stanssaus
- merkintä laserilla
- etikettermerkintä
- mustesuihkumerkintä
- saattomuisti
- RFID-merkintä ja
- kemiallinen merkintä.

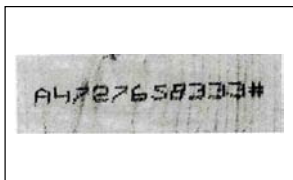
Merkintämenetelmä valitaan tarpeen mukaan.

Merkintä- ja tunnistustekniikoille voidaan asettaa seuraavia vaatimuksia: soveltuvuus, häiriöttömyys, toteutettavuus, yksilöitävyys, kustannustehokkuus, laajennettavuus.

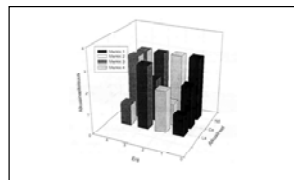
7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



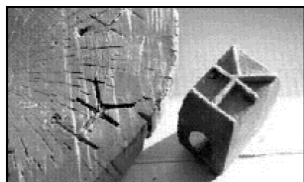
Tukin 'viivakoodi'
maalausmerkintä



Sahatavaran
mustesuihkumerkintä



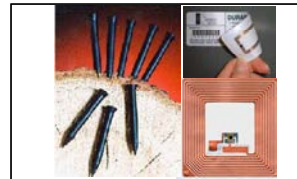
Tukin kemiallinen
merkintä



Puun
stanssausmerkintä



Puuhun kiinnitettävä /
naulattava viivakoodi



Puuhun (naulattava)
RFID tunnist

Kuva 102. Puulle mahdollisia merkintäteknikoita.

Tukin maalausmerkintä suurikokoisella viivakoodilla on informaatioisisällöltään liian alhainen. Sillä voidaan nykyisen kaltaisena toteuttaa vain kahdeksan erilaisesta merkkivariaatiota (kolmella merkitsevällä viivalla, neljää merkin sisältämästä seitsemästä viivasta käytetään tukin asennon määrittämiseen).

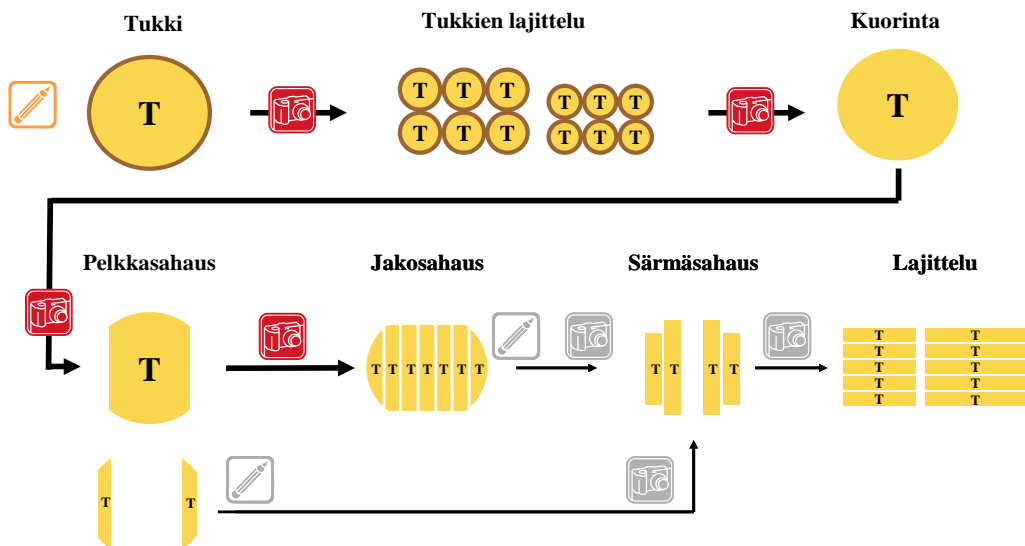
Mustesuihkumerkintä on käytännönläheinen ja tunnettu, laajasti muualla käytetty tekniikka. Sitä ei ole aikaisemmin sovellettu suoraan tukkien merkitsemiseen, vaan puun jalostusprosessin loppuosuuteen, sahauksen jälkeen.

Tukin kemiallisen merkinnän selvänä vahvuutena on, että se ei välttämättä edellytä sahatavaran uudelleenmerkintää, sillä tukin päähän tehty merkintä jakautuu pienempiin osiin aina kunnes tukin pää sahataan pois. Kemiallinen merkintä voisikin luonteeltaan sopia hyvin sahausprosessin aikaiseksi tukin merkinnäksi, sen toteutuksen yksityiskohdat ovat kuitenkin tutkimatta.

Stanssausmerkinnän ja naulaamalla kiinnitettyjen merkintöjen soveltuvuus ei ole parhaimmillaan, kun tarkastellaan sahausprosessin aikaista informaatioisisällön säilyttämistä. Stanssattujen merkintöjen optinen etäluku, naulattujen merkintöjen pysyvyys ja vieraat (mahdollisesti sahaukseen sopimattomat) materiaalit ovat ilmeisiä haasteita.

Merkintäkonseptit: tukkien lajittelusta sahatavaran tuorelajitteluun

Kuvassa 103 on esimerkkikuvaus tukin kulusta sahausprosessissa merkintä- ja tunnistustekniikoiden näkökulmasta tarkasteltuna. Tietointensiivisten tuotantjärjestelmäkonseptien lähtökohtana on, että tukit merkitään soveltuvalla tunnisteteella prosessin alussa, metsässä tai sahalla (kynä-symboli). Tämän jälkeen tätä tehtyä merkintää käytetään tukkien tunnistamiseen prosessissa (kamera-symboli). Kussakin vaiheessa tukista tallennetaan tietojärjestelmään mittaustietoja ja prosessiparametreja, jotka pystytään yksilöimään kullekin tukille vaiheissa luetun tunnistetiedon perusteella. Sahatavara on alkuperäisen merkintäteknii-kan ominaisuuksista riippuen mahdollisesti merkittävä uudella tunnisteteella. Tämä tunniste saattaa olla samaan tai eri tekniikkaan perustuva kuin alkuperäinen merkintä. Joillakin merkintäteknikoilla ei uudelleenmerkintätarvetta välttämättä ole, näillä sahatavaraan jää jäljelle alkuperäisestä merkinnästä tunnistettavissa oleva osuus. Edellä mainituista syistä sahatavaran merkintään ja tunnistamiseen liittyvät symbolit on kuvassa 103 merkitty harmaalla.

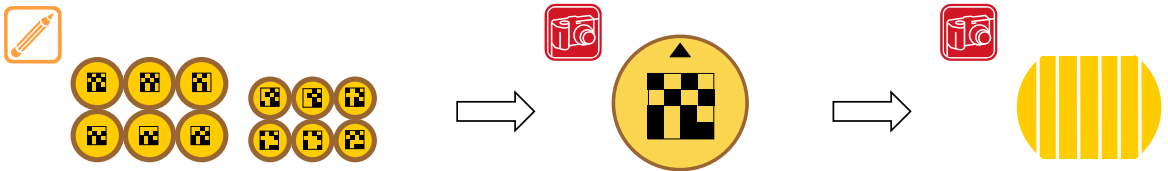


Kuva 103. Esimerkki tunnisteteiden kulusta tukin sahausprosessissa. "T" tarkoittaa merkittävää ja luettavaa tunnistetta.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

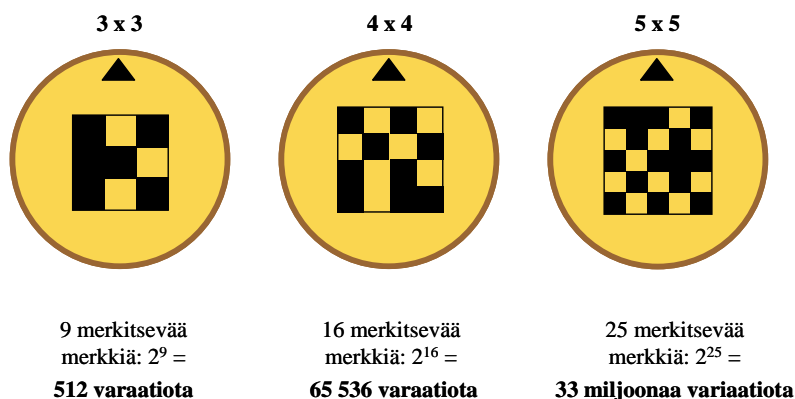
Konsepti 1: Datamatriisi mustesuihkulla ja konenäkö

Ensimmäinen potentiaalisesti todettu tukin merkintä- ja tunnistusidea perustuu tukin pään merkitsemiseen mustesuihkulla kirjoitetulla datamatriisilla ja tämän tunnistamisella tukin päästä sahausprosessissa aina jakosahaukseen saakka. Jakosahauksessa tukin päähän tehty iso datamatriisimerkintä pilkkoutuu, jolloin sahatavara on merkittävä uudelleen (kuva 104).



Kuva 104. Tukkien merkitseminen mustesuihkulla tehdyllä datamatriisilla.

Konseptin keskeisenä elementtinä olevan datamatriisin koko (resoluutio) riippuu ennen kaikkea siitä, kuinka tarkka merkintä tukkiin voidaan ja on tarvetta tehdä. Tässä suunnitellussa merkissä kullakin datamatriisin pisteellä on kaksi eri moodia, jolloin datamatriisilla saavutettujen erilaisten merkkien lukumääräksi saadaan 2^n , missä n on datamatriisin merkkien lukumäärä. Mikäli tukin asento prosessissa voidaan tunnistaa sitouttamatta tähän tarkoitukseen datamatriisin merkkejä, saadaan 3×3 -matriisilla 512 merkkivariaatiota, 4×4 -matriisilla yli 65 000 variaatiota ja 5×5 -matriisilla jo yli 33 miljoonaa variaatiota (kuva 105). Olemassa olevat eri käyttötarkoituksiin kehitetyt datamatriisit ovat huomattavasti näitä tarkempia. Niiden kehityksessä on kuitenkin ollut tavoitteena saada pienelle pinta-alalle suuri määrä tietoa. Nyt tarve on jossain määrin päinvastainen, eli suurelle alueelle pienempi määrä tietoa.

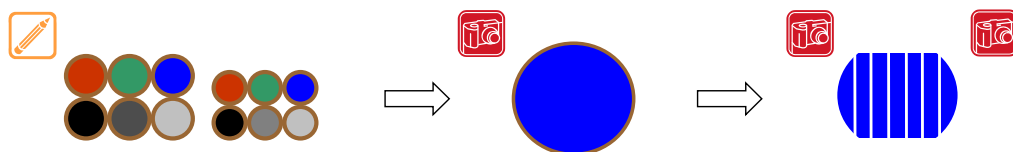


Kuva 105. Tukkiin merkittävän datamatriisin mahdollisia resoluutioita: 3 x 3, 4 x 4, 5 x 5. Tarkempikin matriisi on mahdollinen, mikäli sen tunnistettavuus tukista säilyy.

Konseptikartoituksessa tehdyn alustavan selvityksen perusteella *Datamatriisi mustesuihkulla ja konenäkö* -konsepti voitaisiin toteuttaa markkinoilla olevalla mustesuihkukirjoittimilla ja konenäkökameroilla, joissa on myös koodin tulkinta.

Konsepti 2: Tukin pään maalaus ja väritunnistus

Toinen nyt tarkasteltuun puun jalostusketjun vaiheeseen potentiaalisesti todettu tukin merkintä- ja tunnistusidea perustuu tukin pään maalaamiseen eri väreillä sekä näiden värien tunnistamiseen tukin päästä sahausprosessin aikana. Etuna tässä merkintätavassa on, että tukin päähän tehty maalimerkintä säilyy sahatavarassa jakosahauksen jälkeenkin (kuva 106), kunnes merkattu pinta (tukin pää) sahataan kappaleista pois. Tukin pään sahaamisen jälkeen tulee sahatavara merkitä uudelleen, luultavimmin jollain toisella tekniikalla.

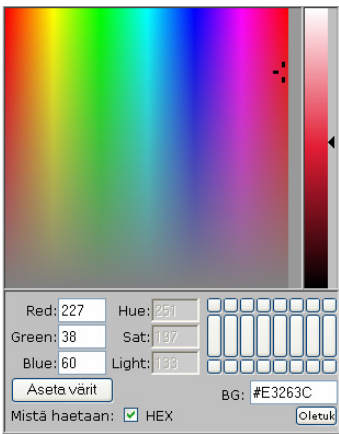


Kuva 106. Tukkien pään maalaaminen eri väreillä ja värisävyillä.

Konseptin keskeisenä elementtinä olevan värikoodin yksilöitävyys on haasteellinen alue. Teoriassa erilaisia värejä, joilla tukit voitaisiin merkitä, on olemassa

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

erittäin paljon. Esimerkiksi RGB-järjestelmässä värit määritellään punaisen, vihreän ja sinisen eri seostuksina. Värikoodi voidaan ilmoittaa näiden värien arvoina (0–255) tai 16-kantajärjestelmään perustuvalla värikoodilla. Värikoodeja on miljoonia erilaisia (kuva 107). Tukin merkitsemisessä ja tunnistamisessa värimerkinnän todellinen yksilöitävyys riippuu kuitenkin merkintälaitteiston ominaisuuksista (kuinka monta erilaista väriä voidaan sekoittaa) sekä ennen kaikkea tukin päästä todellisuudessa tunnistettavissa olevien eri värien lukumäärästä. Muun muassa vaihtelevan puumateriaalin ja ympäristöolosuhteiden vaikutukset (aurinko, lika, valaistus) väriin on pystyttävä huomioimaan.



Name	Sample	Hex triplet	RGB			CMYK				HSV		
Alice Blue		#F0F8FF	240	248	245	4	1	0	0	208	6	100
Alizarin Crimson		#E32636	227	38	54	1	92	82	0	355	83	89
Amaranth		#E52B50	229	43	80	0	73	58	10	345	78	64
Amber		#FFBF00	255	191	0	0	25	100	0	45	100	100
Amethyst		#9966CC	153	102	204	25	50	0	20	270	50	80
Apricot		#FBCEB1	251	206	177	0	7	28	0	30	25	87
Aqua		#00FFFF	0	255	255	100	0	0	0	180	100	100
Aquamarine		#7FFFD4	127	255	212	50	0	17	0	160	50	100
Asparagus		#7BA05B	123	160	91	23	0	43	37	92	43	63
Azure		#007FFF	0	127	255	100	50	0	0	210	100	100

Kuva 107. Värikartta, sekä RGB-värien heksamuotoisia värikoodeja ja nimiä. Kuvat <http://www.varikarta.urli.net>, en.wikipedia.org/wiki/list_of_colors.

Konseptikartoituksessa tehdyn selvitystyön perusteella konsepti voitaisiin periaatteellisesti toteuttaa markkinoilla olevilla laitteistoilla.

RFID-teknologia

Metsäteollisuudessa tukkien merkitsemiseen käytettäville transpondereille voidaan asettaa seuraavat vaatimukset:

- korkea luettavuus; pitkä lukuikäisyys ja kestävyys tukeissa
- ongelmattomuus massanvalmistuksessa; sellunkeitossa ja paperinvalmistuksessa ongelmia aiheuttamattomat materiaalit
- kiinnitettävyyttä; riittävä kestävyys ja soveltuva koko sekä muoto tukkeihin kiinnittämiseen
- edullinen hinta; tunnisteen rakenteen soveltuminen massatuotantoon.

Langaton etätunnistustekniikka (englanniksi Radio Frequency IDentification, RFID) toimii radioaalloilla. RFID-järjestelmä koostuu langattomista etätunnisteista, lukijoista ja niiden antennista sekä järjestelmän ohjausohjelmistosta ja -laitteistosta. RFID:n tärkeimpinä etuina perinteisiin optisiin tunnistuksiin, kuten viivakoodeihin, nähden on suurempi lukuvarmuus ja tietosisältö. Langattomat etätunnisteet eli RFID-transponderit, tai tagit kuten niitä monesti myös nimitetään, eivät tarvitse suoraa näköyhteyttä eivätkä ne ole kovin herkkiä lialle tai lumelle kuten optisesti luettavat merkinnät. Transponderien mikropiirille mahtuu huomattava määrä tietoa, tällä hetkellä jopa 1 kB. Tyypillisesti käytetään 96- tai 198-bittisiä pitkiä ID-koodeja, joilla saavutetaan hyvin suuri määrä täysin yksilöllisiä koodeja. Mikropiirin informaatio voidaan myös haluttaessa kirjoittaa uudelleen, mikäli sitä ei haluta estää. RFID-tekniikan haittana optisiin merkintöihin nähden on ollut sen korkeampi hinta, mutta tunnisteen käytön yleistyessä ja tekniikan kehittyessä hinta laskee voimakkaasti. Tällä hetkellä yksinkertaisten koteloimattomien RFID-transponderien hinnat ovat noin 0,05 €/kpl. Lisäksi aiemmin transpondereilla oli toimintaongelmia johtavien materiaalien, metallien ja nesteiden, välittömässä läheisyydessä. Nämä ongelmat on paljolti ratkaistu erityisesti näihin tarkoituksiin kehitetyillä tunnistetuilla.

Toimintatapansa mukaan RFID-transponderit jaetaan kolmeen luokkaan: passiivisiin, semipassiivisiin ja aktiivisiin. Passiiviset tunnistet saavat kaiken tarvitsemansa tehon lukijan lähettämästä radiosignaalista, semipassiiviset ja aktiiviset tagit sisältävät pariston. Semipassiivisissa tunnistetuissa paristoa käytetään joidenkin toimintojen tehonlähteenä, mutta kommunikointi lukijan kanssa tapahtuu lukijan signaalista saatavalla teholla. Aktiiviset transponderit käyttävät paristoa myös radiolähtimensä tehonlähteenä. Tunnistetuissa oleva paristo nostaa sen hintaa huomattavasti ja aiheuttaa muun muassa ympäristöongelmia jätteenkäsittelyssä.

RFID-järjestelmät toimivat pääasiassa kolmella taajuusalueella: LF-taajuuksilla (Low Frequency, 125 kHz), HF-taajuuksilla (High Frequency, 13,56 MHz) ja UHF-taajuuksilla (Ultra High Frequency, 867 MHz). Lisäksi on olemassa korkeamman taajuuden järjestelmiä. Esimerkkejä yleisesti käytössä olevista HF-järjestelmistä ovat kulkukortit ja julkisen liikenteen maksukortit. Tällä hetkellä nopeimmin kasvava RFID-tekniikka on passiivinen UHF-tekniikka, jonka kasvu perustuu kattavan kansainvälisen standardoinnin valmistumiseen. Passiivisilla RFID-tunnistetuilla saavutetaan tyypillisesti seuraavat lukuetaisyudet:

- LF-tunnistetet < 0,1 m
- HF-tunnistetet < 1 m
- UHF-tunnistetet < 10 m.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

Aktiivisilla tunnisteilla on mahdollista saavuttaa kymmenien, jopa satojen metrien lukuetaisyyskykyä. UHF-alueen lukijat ovat viime aikoina kehittyneet huomattavasti; entistä pienikokoisempia ja vaativampia olosuhteita kestäviä lukijoita on tullut markkinoille. Standardoitujen rajapintojen ansiosta eri valmistajien laitteet – lukijat ja transponderit – ovat yhteensopivia. RFID-lukijat ovat helposti liitettävissä osaksi käyttökohteensa tietojärjestelmää.

7.4.4 Merkinnän ja luvun hyödyntäminen sahateollisuudessa

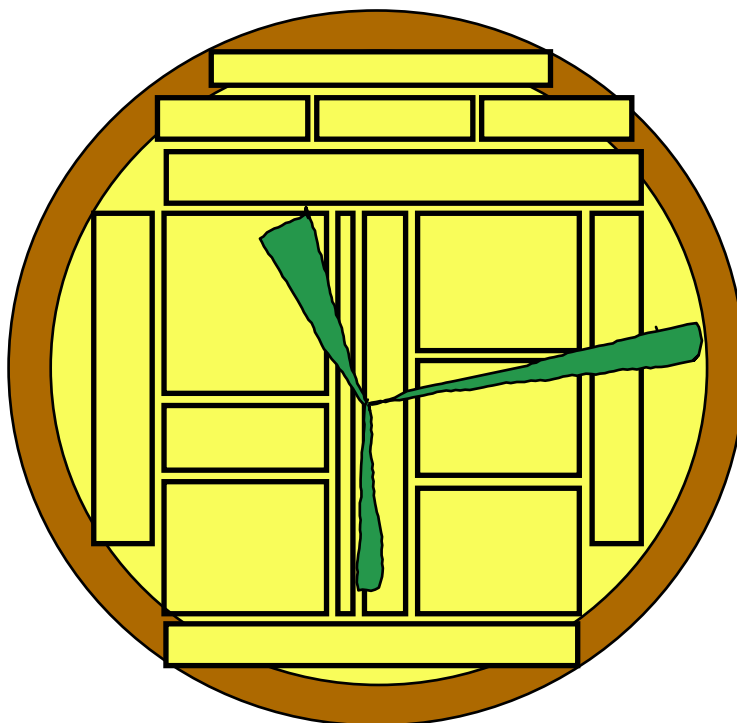
Merkintäteknologiaa voidaan soveltaa koko jalostusketjun hallintaan tai paikalliseen esimerkiksi tietyn prosessin osan käyttöön tai tutkimus- ja kehitystyön apuvälineeksi. Tuotannollisen toiminnan soveltamiskohteet ovat jaettavissa seuraaviin neljään ryhmään:

- suunnittelu: puun hankinta, tuotanto, myynti ja toimitukset
- prosessien ohjaus
- laadunvalvonta
- asiakaspalvelu – ml. kestävä kehitys ja alkuperätieto.

Suunnittelun sovelluksissa luodaan tuoteominaisuuksien, puuraaka-aineen ominaisuuksien ja prosessiparametrien välinen yhteys ”jatkovana koesahauksena” ja parannetaan siten suunnittelun tasoa. Tukeista saatavan laadullisen ja määrällisen sahaustuloksen systemaattinen mittaaminen muodostaa tietovarannon, jota tarvitaan kehittyneiden tuotannon, puuraaka-aineen hankinnan ja myynnin suunnittelujärjestelmissä sekä jalostus- ja toimitusketjujen hallintajärjestelmissä.

Kuvassa 108 on esimerkki tukista ja sen optimaalisesta sahausasetteesta. Tuki voidaan jälkepäin rekonstruoida merkinnän avulla niistä saheista ja saheidien mittaustuloksista, jotka on saatu tuorelajittelun tai valmiin sahatavaran lajittelun skannereista. Tällä tavalla rekonstruoituja tukkeja voidaan käyttää lähtöarvotietoina tarkoissa sahausken simuloinneissa, jotka perustuvat tukin geometrian ja sisäisen oksikkuuden yksityiskohtaiseen tuntemiseen.

Rekonstruoituja tukkeja voidaan käyttää myös tukkimittareiden ominaisuuksien evaluointiin, koska merkintä mahdollistaa tukkimittarilla mitatun tukin ja vastaan rekonstruoidun tukin tietojen yhdistämisen. Vertaamalla tukkimittarilla mitatun tukin ominaisuuksia rekonstruoidun tukin vastaaviin ominaisuuksiin saadaan tietoa tukkimittarin parametrien määrittämiseksi. Erityisen tärkeää tämä on skannereiden kohdalla, jotka mittaavat tukin sisäisiä ominaisuuksia esimerkiksi röntgenin avulla.



Kuva 108. Merkinnän avulla voidaan kytkeä sahatavarakappaleista mitattua tietoa toisiinsa ja siten rakentaa 3D-tukkimalli sahausasetteen optimoimiseksi ja tukkimittarin parametrien määrittämiseksi.

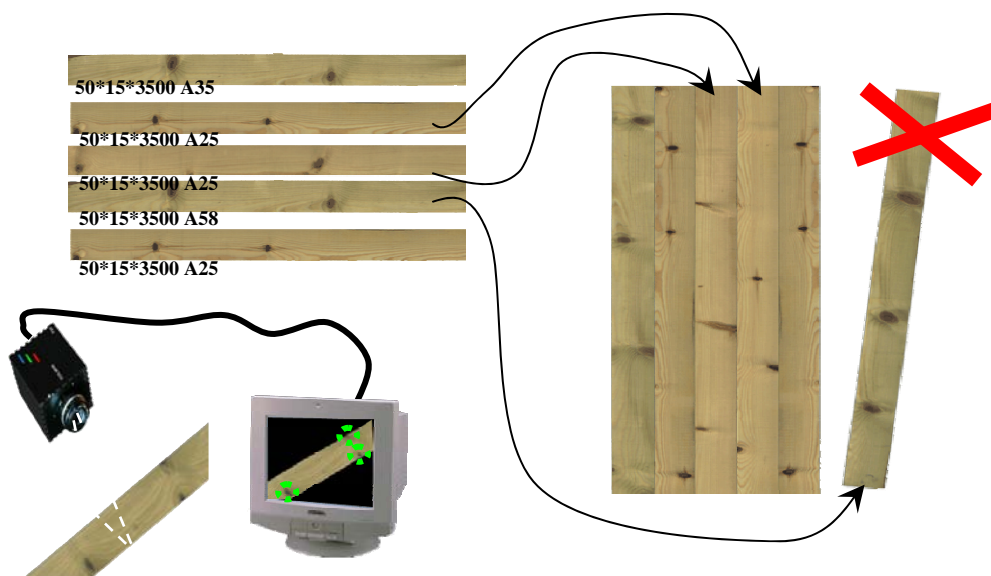
Prosessien ohjauksen sovellukset -kappaleessa oleva merkki luetaan prosessin alussa. Merkin perusteella haetaan kappaleeseen liittyvää tietoa informaatiojärjestelmästä. Tämä tieto muodostaa lähtöarvotiedon prosessia ohjaavalle järjestelmälle ja edelleen toimilaitteille. Merkinnän, sen luvun sekä informaation käsittelyn avulla voidaan saada arvokasta feedback-tietoa siitä, miten erilliset ohjausparametrit ja raaka-aineominaisuudet vaikuttavat taloudelliseen lopputulokseen. Tällaiset feedback-luopit ovat itseoppivien tuotantojärjestelmien pohjina.

Sovelluskohteita ovat muun muassa metsäkoneen ohjaus, tukin mittausta ja lajittelu, tukin kuorinta (esim. teräpaine säädetään tukkikohtaisesti), sahakoneiden suuntaus, tuorelajittelu, kuivauserien muodostaminen, kuivausolosuhteiden valinta ja säätö, valmiin sahatavaran lajittelu, mittaustiedon hyväksikäyttö myöhemmissä vaiheissa, prosessien reititys, jalostettavien sahatavaroitten/viipaleitten valinta, jalostuksen reitin valinta, jalostusprosessien ohjaus.

Uusia konsepteja ovat esimerkiksi seuraavat:

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

1. Tukki mitataan tarkasti tukkien lajittelulaitoksella. Mittaustulokset taltioidaan informaatiojärjestelmään. Samanaikaisesti tukille lasketaan optimaalinen asete ja pyörityskulma. Tukki merkitään yksilöllisesti ja samalla piirretään tukin päähän viiva, joka kertoo tukin parhaan suuntauskulman suunnan. Tukki lajitellaan asianomaiseen luokkaan. Tukin tullessa sahakoneelle merkki luetaan ja haetaan tukin ominaisuuskartta informaatiojärjestelmästä. Tiedon perusteella valitaan sahausasete ja tukin suuntaus. Tämän jälkeen tukki ohjataan sahakoneeseen.
2. Lajittelulaitoksella tarkasti mitattu tukki tulee kuorimakoneelle. Tukin ominaisuuksien perusteella määritetään kuorintaterien paineet ja mahdollisesti myös tukin syöttönopeus. Kuorinnan tulos – kuinka paljon kuorta puuhun jäi – mitataan ennen sahakonetta ja taltioidaan informaatiojärjestelmään. Näin saadaan luotua kuorintatuloksen riippuvuus tukin ominaisuuksista ja kuorinnan parametreista kumuloituvana prosessina. Tuloksena on itseoppiva järjestelmä tukin kuorinnan ohjaamiseksi.
3. Sahan tuotevalikoiman monipuolistaminen merkitsee myös raaka-aineen ja välituotteiden sekä myös lopputuotteiden reitityksen hallintaa. Reitityksen ohjaamiseen kappaleiden merkintä tarjoaa erinomaisen menetelmän.
4. Kappaleiden lajittelua ja tuotteiden kokoonpanoa voidaan ohjata merkinnän avulla, kuten kuvassa 109 esitetään. Merkityllä sahatavaratuotteella on aina ominaisuuskartta. Kun kappale tulee lajittelulaitokselle, se voidaan merkin perusteella ohjata lokeroon, joka on varattu niille saheille, joiden ominaisuudet ovat lähellä toisiaan. Jos halutaan muodostaa tiettyjä, esteellisiä syykuviointeja esimerkiksi seinäpaneeleita, merkintä voi ohjata lajittelua tai kokoonpanoakin (kuva 109).



Kuva 109. Kokoonpanon ohjaus kappaleiden merkinnän avulla.

Laadunvalvonnan sovelluksissa paljastetaan mahdollisimman nopeasti missä prosessin osissa tai koneissa tapahtuu sellaisia virheitä, jotka vaikuttavat tuotteen laatuun, tuotannon tehokkuuteen ja taloudellisuuteen. Tuotteen tai prosessin ominaisuus mitataan tarkasti myöhemmässä prosessivaiheessa. Tavoiteominaisuuden arvon ja mitatun, todellisen ominaisuuden ero paljastaa mahdollisen virhetoiminnon, joka merkinnän avulla on kohdistettavissa määrättyyn prosessin koneeseen tai osaan. Esimerkkeinä sovelluksista mainittakoon hakkuukoneiden, tukin mittauksen ja lajittelun, tukin pyöryksen ja suuntauksen, sahausmittojen, sahatavaran tuore- ja loppulajittelun tarkkuus.

Asiakaspalvelun sovelluksissa merkinnän avulla voidaan tuotteeseen kiinnittää informaatiokomponentti, mikä tarkoittaa tuotteeseen liittyvää tietoa sen ominaisuuksista, käytettävyydestä jne. Tällaisella palvelukomponentilla, jota voidaan kutsua myös puutuotteen tietomalliksi, voidaan merkittävällä tavalla palvella asiakasta siirtämällä hänelle arvokasta tietoa liiketoiminnassa käytettäväksi. Asiakas voi saada tietoa myös siitä, missä vaiheessa valmistuserä on menossa. Merkinnän avulla voidaan informoida asiakasta tuotteiden hiilijalanjäljestä ja alkuperästä.

Esimerkki kappaleiden merkintään perustuvasta ohjauskonseptista

Seuraavassa esimerkki järjestelmäkonseptista, joka mahdollistaa automaattisen, jatkuvan koesahauksen.

Puuraaka-aineen hankinnan yhteydessä tukkeihin voidaan kiinnittää saatto-muisti tai muu merkintä, joka yksilöi tukin (tai tukkiryhmän, esim. tyvitukit). Tukin merkintä muodostaa osoitteen informaatiojärjestelmään, joka voi sisältää tietoja leimikosta, maaperästä, kasvillisuudesta, metsälön historiasta ym. Myös rungoista mitattuja tai havaittuja arvoja esimerkiksi rinnankorkeusläpimitta, pituus, kuivaoksaraja, latvusraja, mutkaisuus, oksaisuus, rungon sijainti leimikossa jne. voidaan tallentaa informaatiojärjestelmään. Samaan tapaan metsäkoneissa mitattua informaatiota voidaan tallentaa (latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus ja laatu). Taltioidut tiedot parantavat tiedon kulkua ja tukkiennustetta huomattavasti.

Merkintä luetaan tukkien lajittelussa ja merkintään liittyvää informaatiota käytetään hyväksi erityisesti tukkien laatu-lajittelussa yhdessä suoritettavien mittausten perusteella. Mittausten ja havaintojen perusteella tukit merkitään uudelleen, jolloin niiden informaation sisältö on kasvanut huomattavasti. Tukkien lajittelussa on mahdollista lajitella tiettytyyppiset tukit erilleen ja ohjata ne esimerkiksi sahattaviksi määrätyn asiakkaan tarpeisiin.

Kun tukit saapuvat sahauslinjan alkupäähän, mitataan tukin geometria ja luetaan tukin laadusta kertova merkintä. Tämän informaation perusteella informaatiojärjestelmä ja/tai sahakoneen ohjausjärjestelmä valitsee oikean asetteen tilauskannan perusteella. Kiinteää asetetta käytetään usein, kun tukit lajitellaan tukki-luokkiin.

Pelkka- ja jakosahauksessa syntyvät kappaleet merkitään siten, että informaatiojärjestelmässä ne voidaan kohdistaa tiettyyn tukkiin, jonka historia tunnetaan, ja tiettyyn asetteeseen ja asetteessa tiettyyn teräváliin. Merkintä on varmistettava siten, ettei merkintä esimerkiksi särmättäessä häviä.

Lautojen särmäysvaiheessa mitataan aihion geometria ja vikaisuudet. Tiedot viedään informaatiojärjestelmään tai prosessiohjaukseen, jossa lasketaan optimaalinen särmäysleveys, suuntaus ja katkaisut. Lauta merkitään koodilla. Jos lauta-aihiot on merkitty välittömästi sahausken jälkeen ja geometria ja laatu mitattu, voidaan optimointi suorittaa informaatiojärjestelmässä. Kun kappale tulee särmäykseen, voidaan siitä lukea merkintä, joka kertoo särmäyksen ja tasauksen suoritustavan. Merkintä ohjaa siten sahojen toimintaa eikä niitä tarvitse varustaa mittauslaitteilla.

Merkinnän yhteydessä voidaan kappaleisiin kirjoittaa optimoinnin tuloksena lasketut referenssipisteet, jotka särmäysvaiheessa tunnustetaan ja aihio suunnataan sahaan näiden pisteiden perusteella. Tällöin on luettava myös aihion merkintä.

Dimensiolajittelulaitoksen alussa mitataan automaattimittarilla kappaleen paksuus, leveys ja pituus ja laatu sekä luetaan merkintä. Nämä tiedot tallennetaan informaatiojärjestelmään, jolloin tuore sahatavara voidaan kohdistaa tiettyyn raaka-aine-erään, asetteeseen ja teräváliin. Lajittelulaitoksen oma automatiikka tai informaatiojärjestelmä ohjaa kappaleet oikeaan lajittelulokeroon.

Sahatavaran rimointuvaiheessa merkitään kuorma tunnisteella, joka voidaan kirjoittaa kaikkiin kappaleisiin tai vain joihinkin kappaleisiin. Ladontavaiheessa luetaan jokaisen kappaleen merkintä ja lähetetään kappaleen paikkaa kuormassa koskeva tieto informaatiojärjestelmään. Kuivausta koskevat olosuhteet rekisteröidään myös. Näin saadaan selville kappaleen aseman vaikutus kuivumiseen ja siten viitteitä kuivaamon kunnosta ja kuivauksen parantamismahdollisuuksista.

Sahatavaran loppulajittelussa määritetään kappaleen paksuus, leveys ja pituus ja laatu sekä luetaan merkintä. Tiedot tallennetaan informaatiojärjestelmään, jolloin valmiin kuivan sahatavaran määrä voidaan kohdistaa tiettyyn raaka-aine-erään, asetteeseen ja teräváliin. Lajittelulaitoksen oma automatiikka tai informaatiojärjestelmä ohjaa kappaleet oikeaan lokeroon. Valmiin sahatavaran paketoinnissa informaatiojärjestelmä antaa tarkat tiedot pakettien sisällöstä, puuraaka-ainesta ja sen alkuperästä, prosessireiteistä ja prosessien olosuhteista. Tällaisia tietoja tarvitaan esimerkiksi reklamaatioiden selvittämisessä.

Jatkuvalla seurannalla puuraaka-aine-erä voidaan kohdistaa tietyille tuotteille ja prosesseille, josta seuraa suunnittelu- ja optimointiohjelmistojen lähtöarvotietojen luotettavuuden paraneminen.

7.4.5 Sahalla suoritettut kokeet

Sahalla suoritettujen kokeiden tarkoituksena oli käytännön olosuhteissa

- tutkia tukkien RFID-merkinnän ja sen lukemisen onnistumista
- kerätä mitattua dataa ja informaatiota tukkimittarilta, särmäsahalta ja tuorelajittelijalta
- linkittää merkinnän avulla tukit ja vastaavat tuotteet toisiinsa
- rekonstruoida mittaustiedon perusteella virtuaalitukit (geometria ja oksikkuus), jotka vastaavat sahattuja tukkeja

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

- analysoida simulointimalleilla saannonlisäyspotentiaalia, joka on saavutettavissa sahausasetteen ja tukin pyöriksen optimoinnilla verrattuna toteutuneeseen sahauskseen
- tutkia, mitä hyötyä on merkintäteknologian hyväksikäytöllä saavutettavissa käytännön olosuhteissa.

Koesahauksessa käytettiin taulukon 18 mukaisia asetteita.

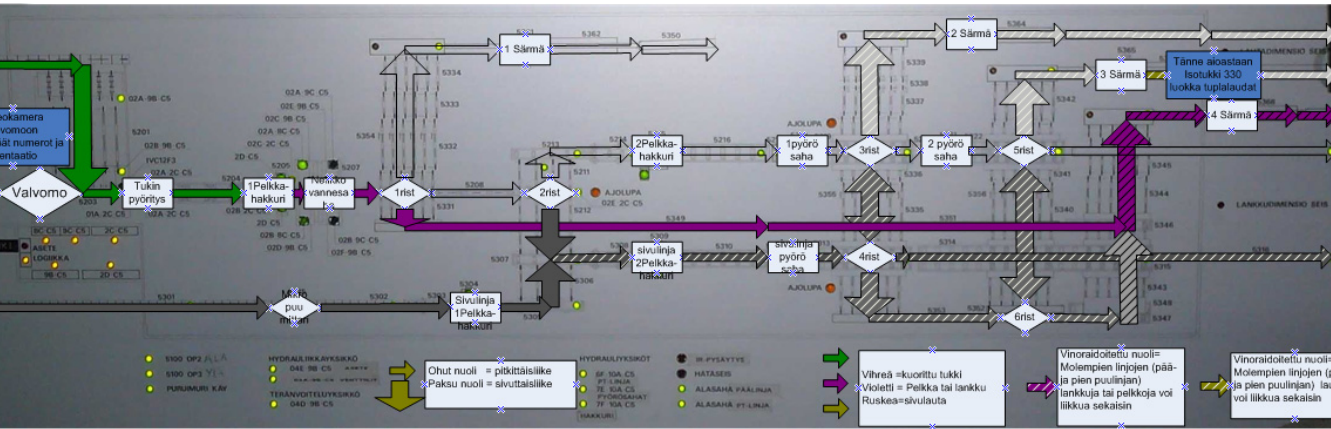
Taulukko 18. Koesahauksen tiedot..

Tukkikoko	Tukkien määrä	Sydäntavara asete	Laudat pelkkasaha	Laudat jakosaha
175 B – latvatukki	86	2 x 50 x 100	25 + 25	19 +19
212 AC – välitukki	19	2 x 50 x 150	19 + 19	25 + 25
330 AC – tyvitukki	100	4 x 50 x 225	25 +25	19 +19

Kokeen merkintätavaksi valittiin tukkien osalta RFID-merkintä, jolla seurattiin tukin kulkua tukkien lajittelusta pelkkasahalle. RFID-merkinnän lisäksi tukkien päihin kiinnitettiin alumiininiiteillä niitattavat paperilaput, joihin kirjoitettiin tukin numero ja piirrettiin suuntanuoli tukin lenkouden mukaan. Pelkkasahauksessa ja jakosahauksessa saadut lankut ja laudat numeroitiin punaisella tussilla sahauskseen jälkeen. Punainen väri ei häiritse tuorelajittelijan konenäköjärjestelmää.

Tukkien valintaa ja testausprosessia varten laadittiin ohjeistus. Saha oli jo etukäteen jakanut tukit kolmeen eri riviin merkintää varten. Varsinainen testaus jaettiin kahdelle päivälle, joista ensimmäisenä tukit merkittiin ja ajettiin pitkitäiskuljettimella tukkilajittelun mittauksen läpi, josta tukit jatkoivat lajittelulokeroihin. Tämän jälkeen tukit kerätään lajittelulokeroista ja ajettiin yksi kerrallaan (siten että laudat ja lankut eivät päässeet sekoittumaan) n. 2 min. välein läpi sahauslinjan (kuva 110). Kaikki särmättävä sahatavara ajettiin saman särmäsahan kautta, koska siinä oli parhaat tiedonkeruulaitteistot. Särmäsahoilta laudat ja lankut jatkoivat tuoreen sahatavaran lajitteluun.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 110. Tukien, pelkkojen ja lautojen reitit. Kaikki laudat ajettiin särmän nro 4 läpi (violetti). Harmaalla olevia linjan osia ei käytetty testissä.

Mittausdatan tallointi

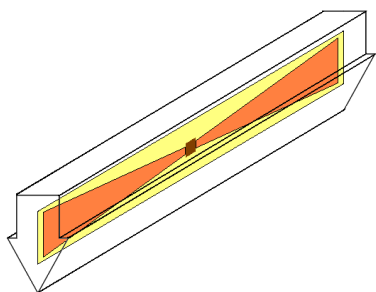
Sahan tukkien lajittelussa oli kaksi skanneria, toinen tukin geometrian mittaamiseksi ja toinen tukin sisäisen laadun mittaamiseksi nelisuuntaisella röntgenmittarilla. Kaikki näiltä skannereilta saatava yksityiskohtainen mittausdata tallioitiin. Tukkien mittauksen yhteydessä rekisteröitiin videokameralla myös tukin pyöritysasema mittauksessa tukin päähän piirretyn viivan perusteella. Tämä oli tärkeää siksi, että voidaan verrata toisiinsa tukeista tehtyjä mittauksia ja vastaavia laudoista tehtyjä mittauksia.

Sahatavaran särmäyksessä käytettiin vain yhtä särmäsahaa. Särmäsahan skanneri mittaa särmäämättömän laudan poikkileikkausprofiilin arvoja 2 cm:n välein. Nämä tiedot tallioitiin, samoin kuin valmiin laudan leveys ja pituus. Sahatavaran tuorelajittelijalla rekisteröidään kappaleiden ominaisuuskartat, ts. laatuun vaikuttavat ominaisuudet kuten oksien koko, laatu ja sijainti, ominaisuuskartta kaikilta neljältä sivulta samoin kuin lajittelijan määrittämä laatu ja kappaleiden katkaisukohtat.

Tunnisteet ja tunnisteiden lukeminen

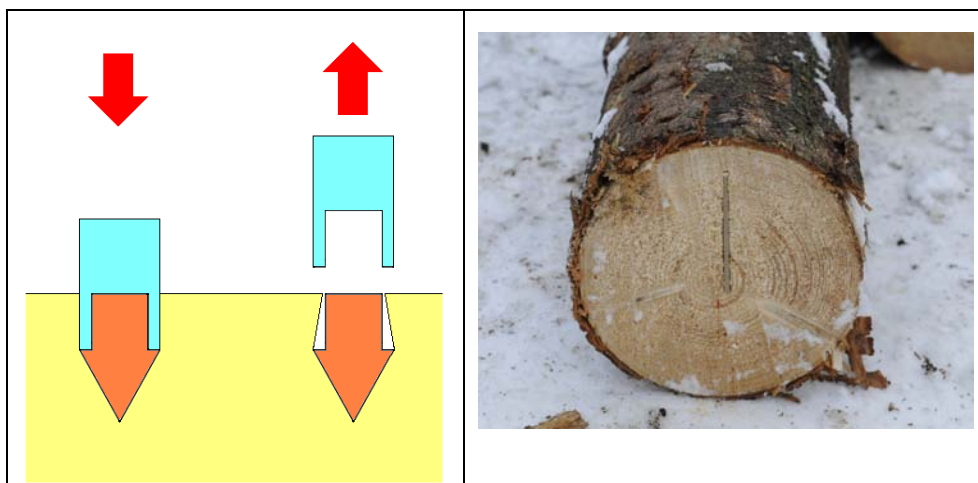
Koesahauksessa merkittiin sahattavat tukit luvussa 8.3.3. esitellyllä, passiivisilla UHF-taajuusalueen RFID-tunnisteella (kuva 111) kiinnittämällä tunniste tukin päähän puun sisään (kuvat 112 ja 113). Tunnisteisiin koodattiin yksinkertainen tunnustuskoodi, jossa oli tukkiluokan numero ja juokseva numero 0–99.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 111. Kehitetty passiivinen UHF-tunniste tukkien merkitsemiseen.

Tunniste lyödään (kuva 113) puun sisään, joten se on suojassa tukin käsittelyssä eikä irtoa tai hajoa helposti (kuva 112). Tunnisteen kiilamainen muoto mahdollistaa sen lyömisen tukin päähän sisään ja tunnisteen väkäset pitävät sen tiukasti puussa. Etätunnisteen kiinnittäminen tukkeihin voidaan tehdä automaattisesti tai manuaalisesti.



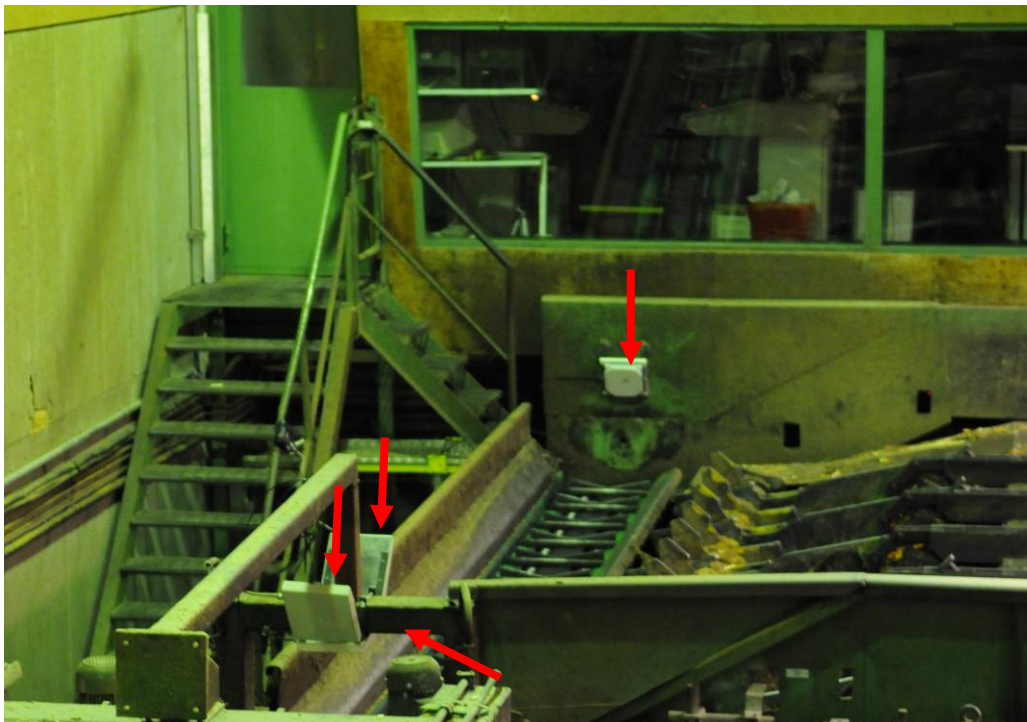
Kuva 112. Tunnisteen kiinnittäminen tukin päähän sisään.



Kuva 113. Etätunnisteen lyönti tukkiin.

Antennit lähettävät lukijan lukukomennot transpondereille ja vastaanottavat tunnisteen lähettämät signaalit (ID-koodit). Lukija kykenee lukemaan useita satoja etätunnisteita sekunnissa. Antennit olivat kuvan 114 mukaisesti linjan yläpuolella. Useampaa antennia käytettiin varmuuden vuoksi varmistamaan riittävä lukuvarmuus haastavassa ympäristössä. Sahalinjan metallirakenteet aiheuttavat voimakkaita heijastuksia radioaalloilla, jotka voivat haitata lukijan toimintaa. Käytännön antennitesteihin perustuvalla antennien sijoittelun optimoinnilla voidaan tarvittavaa antennien määrää haluttaessa vähentää.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 114. Lukija-antennit sahalinjalla.

Sahaus

Tukit vietiin erä kerrallaan tukkilajitteluun (tässä vaiheessa tukkien erän sisäinen numerojärjestys sekoittui), jossa ne skannattiin optisella 3D-mittarilla ja röntgenillä. Tukkien numerot kirjattiin ylös ja tukkien päitä kuvattiin valvomosta käsin videokameralla (menosuuntaan) ja valvomoa vastapäätä otettiin kuvia tukin vastakkaisesta päästä (vastasuuntaan) järjestelmäkameralla (kuva 115). Myös heti 3D-mittarin jälkeen tukkien päitä (vastasuuntaan) kuvattiin videolle (koska tukin asento ei välttämättä rauhoittunut ennen 3D-mittaria olevalla näkyvällä kuljettimen osalla).

Tukkien päiden numerot kirjattiin ylös ja kuvattiin videokameralla (menosuuntaan) myös juuri ennen röntgeniä, koska tässä vaiheessa järjestys oli taas sekoittunut ja haluttiin tietää tukkien orientaatio, kun ne menivät röntgeniin.



Kuva 115. Videokamera kuvaamassa ja järjestelmäkameralla otettu kuva ennen tukkimittaria.

Huomioita testistä

RFID-lukeminen

RFID-lukijalla luettiin kaikkien sahattujen 205 tukin tunnistetut eli 100 prosenttia tukeista tunnistettiin oikein. Aiemmissa testeissä muilla sahoilla saavutettu lukuvarmuus on ollut myös likimain 100 prosenttia kaikilla toimivilla ehjillä tunnisteilla. Lukuvarmuuteen vaikuttaa tukkien koko, kosteus, niiden välimatka linjalla ja ajonopeus. Luonnollisesti järjestelmä on toteutettava niin, että riittävä lukuvarmuus saavutetaan myös vaikeimmassa lukutilanteessa.

Ongelmia

- Paperilaput eivät pysyneet kunnolla kiinni tukkien hankautuessa toisiaan ja linjan laitoja vasten. Lappuja pyrittiin suojaamaan lastaamalla tukit irti laidasta, mutta prosessissa ne kuitenkin irtosivat. Suurin osa lapuista oli irronnut varsinkin pienten tukkien päästä, kun ne saapuivat ensimmäiseen sahaukseen. Isommilla tukeilla laput pysyivät paremmin, mutta niidenkin lapuista puuttui huomattava osa. Latvapäässä ei lappuja ollut juuri enää jäljellä tukin mennessä sahaukseen.
- Tukkien lajitteluajo puumittareiden läpi kesti useita tunteja arvioitua enemmän mittareiden ohjelmisto-ongelmien takia. Ongelmia oli aikai-

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

semmin esiintynyt vähän, mutta nyt jatkuva pysähtely sai 3D-mittarin tietokoneen menemään jumiin ja aikaa kului useita tunteja arvioitua enemmän.

- Tukkien orientaatio ei rauhoittunutkaan syöttövaiheessa heti ennen 3D-mittaria, vaan tukki pyrki pyörähtämään ennen mittaria siirtyessään kuljettimelta toiselle, tätä ei voinut kunnolla kuvata, koska tukki oli jo tässä vaiheessa melko syvällä linjan kuljetinputkessa. Ratkaisuna oli kuvata tukkeja 3D-mittarin jälkeen, jolloin tukit tulivat siinä asennossa missä ne olivat mittariin menneetkin.
- Kamera ei tahtonut erottaa tussilla piirrettyä ohutta orientaatioviivaa tukin ollessa liikkeessä kuvan pakkauksen vuoksi (viivat erottuvat huonosti), mutta toisaalta itse lappujen sijaintia voidaan käyttää mittarin antaminen tulosten ja sahanterien asemoinnin keskinäiseen synkronointiin.
- Valaistusta kameroita varten pitäisi olla varattuna etukäteen riittävästi, linjan oma valaistus ei välttämättä riitä, varsinkin jos laitteet varjostavat linjalla.
- Osa tukeista jäi sahaamatta, koska aika loppui kesken. Kahden minuutin tahtiaika, jotta eri tukeista tuleva sahatavara ei sekoittuisi, tarkoittaa sitä että yhdessä kahdeksan tunnin vuorossa ehditään ajaa maksimissaan 240 tukkia, jos kaikki sujuu täydellisesti. Prosessin nopeuttamiseen voidaan käyttää ohjausta radiolla, jossa seuraavan tukin sahatavarat kutsutaan sisään heti kun edelliset on saatu merkattua.

Mahdollisia parannuksia

- Paperilaput eivät kestä sahauslinjan läpi irtoamatta. Jos numerointia tarvitaan, parempi olisi käyttää esimerkiksi maalisapluunaa, jossa numeron alla on viiva, joka kertoo orientaation ja onko numero esimerkiksi 6 vai 9, 19 vai 61 yms.
- Hyvä vaihtoehto identifiointiin on käyttää RFID-tunnisteita ja maalattua suuntaviivaa.
- Jos ei haluta piirtää ylimääräistä viivaa tukin päähän orientaatiota varten, myös RFID-tunnisteen muotoa voidaan käyttää orientaatiotietona, mutta tällöin tukin pää on kuvattava hyvällä kameralla ja riittävässä valossa.

7.5 Lajittelemattoman tukin sahaus – tuotekertymä

Eräänä mahdollisena tulevaisuuden sahauskonseptina on sahata lajittelemattomia tukkeja siten, että tarkka tukkimittari sijoitetaan välittömästi ensimmäisenä sahaavan koneen eteen. Tukkimittarissa käytetään erilaisia mittaamenetelmiä tukin ulkoisten ja sisäisten ominaisuuksien mittaamiseksi. Tuloksena saadaan määriteltäviä tukista hyvin tarkat ominaisuuskartat esimerkiksi oksaisuudesta. Tukin ominaisuuksien perusteella optimoidaan sahausasete ja suoritetaan sahaus käyttäen perinteistä nelisahaustapaa tai läpisahausta. Tällaisella sahaustavalla saadaan tukin paras sahaustulos edellyttäen, että asetteen optimointi osataan tehdä oikein ja että sahaus toteutuu lasketulla tavalla.

Ongelmana täysin lajittelemattomien tukkien sahausksessa on suuri tuotemäärä dimensiolajittelussa, mikä merkitsee huomattavaa lokeromäärää tuorelajittelussa. Tarvittavan lokeromäärän oikea suunnittelu on erittäin tärkeää sahausksen toiminnan onnistumisen kannalta. Voi olla järkevämpää valita sahattavat tukit määrittelemällä sahausksen tuotavien tukkien latvaläpimitan alaraja ja yläraja. Tukit voidaan myös lajitella karkeasti läpimitta-alueisiin, jolloin tukkilajittelijan lokeromäärä tulee varsin pieneksi.

Tuotteiden kertymiä laskettiin simulointimallilla (luku 4.6). Teollisuudesta saatiin 50 000 tukin tietokanta, jossa on esitettynä tukeittain muun muassa latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus ja lenkous. Tästä tietokannasta valittiin satunnaisesti kuhunkin poimintaluokkaan 5000 tukkia. Poimintaluokkien latvaläpimittarajat olivat 225–229 mm, 225–234 mm, 225–239 mm, 225–244 mm ja 225–249 mm.

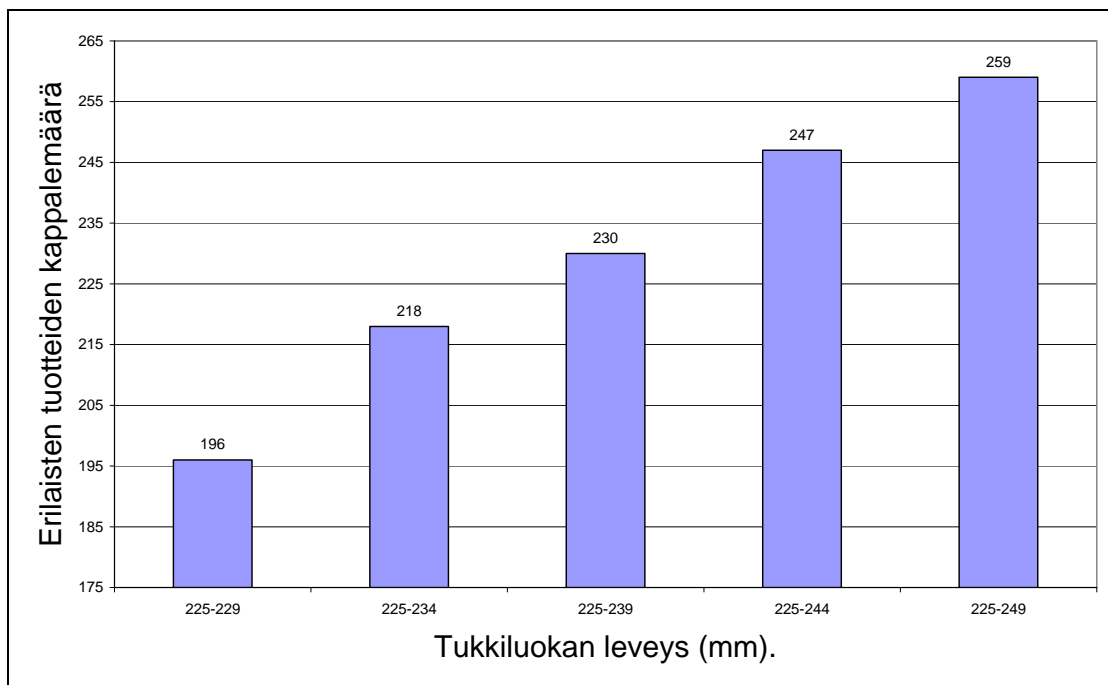
Simuloinnissa käytettyjä sahatavaratuotteita kuvaavat seuraavat luvut:

- paksuus: 19 mm, 25 mm ja 50 mm
- leveys: 100 mm, 125 mm, 150 mm ja 175 mm
- pituus: 300 cm:stä 600 cm:iin, 30 cm välein
- laatuja: sydäntavaralle 4 kpl ja laudoille 7 kpl

Kuvassa 116 esitetään, miten saman sydäntavaradimension 2 x 50 mm x 175 mm sahausksessa kiinteällä sivulautamallilla saatavien tuotteiden (paksuus x leveys x pituus x laatu) määrä muuttuu, kun tukin latvaläpimitta-alueen alaraja on 225 mm ja ylärajan ja alarajan erotusta (tukkiluokan leveys) suurennetaan 5 mm:stä 25 mm:iin. Jos tukkiluokan leveys on 5 mm, saadaan 196 erilaista tuotetta. Vastaavasti suurimmalla 25 mm:n leveydellä, tuotteiden lukumäärä nousee 258 kappaleeseen. Muutos on jokseenkin lineaarinen. Kymmenen milli-

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

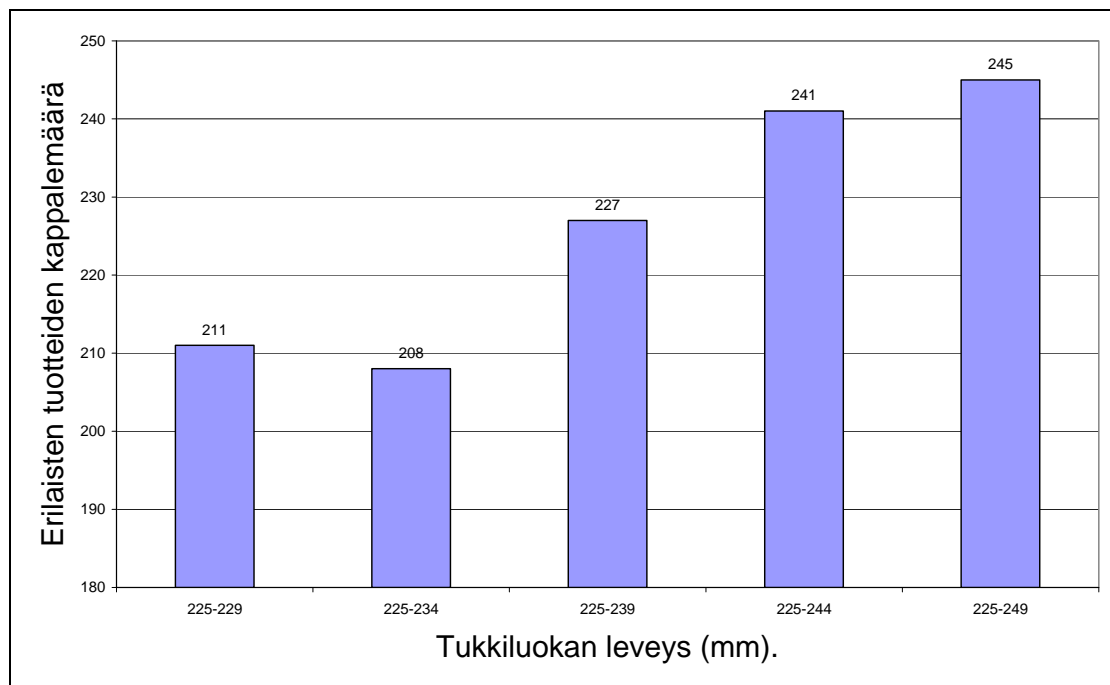
metrin laajennus latvaläpimitta-alueessa merkitsee keskimäärin noin 25 uutta tuotetta.



Kuva 116. Sahatavaratuotteiden lukumäärä tukkiluokan leveyden – latvaläpimitan ylä- ja alarajan erotuksen – kasvaessa. Sahausasete on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahauksessa sahataan 19 mm paksu lauta tukin kummaltakin sivulta. Jakosahauksessa sivulautamallina on 25 mm – 19 mm tukin kummaltakin kyljeltä. Sahattavan tukin latvaläpimitan alaraja on 225 mm. Simuloituja tukkeja 5 000 kappaletta jokaisessa tukkien latvaläpimittaluokassa.

Kuvassa 117 tarkastellaan tilannetta, jossa sydäntavara-asete on kiinteä mutta sivulautamallit optimoidaan tukkikohtaisesti. Tuotteiden lukumäärät 5 mm ja 10 mm tukkiluokan leveyksillä ovat suunnilleen samat 211 ja 208 kappaletta. Muuten tukkialueen leveyden kasvattaminen lisää tuotteiden lukumäärää. Latvaläpimitan vaihtelun ollessa 25 mm, tuotteiden lukumäärä kasvaa 245 kappaleeseen, kun lautatuotteiden kappalemäärä kasvaa pienimmällä tukkiluokan leveydellä saatuihin tuotemääriin verrattuna. Kymmenen millimetrin laajennus latvaläpimitta-alueessa merkitsee keskimäärin 17 uutta tuotetta sahausessa ts. hiukan vähemmän kuin kiinteällä sivulautamallilla sahattaessa (kuva 116).

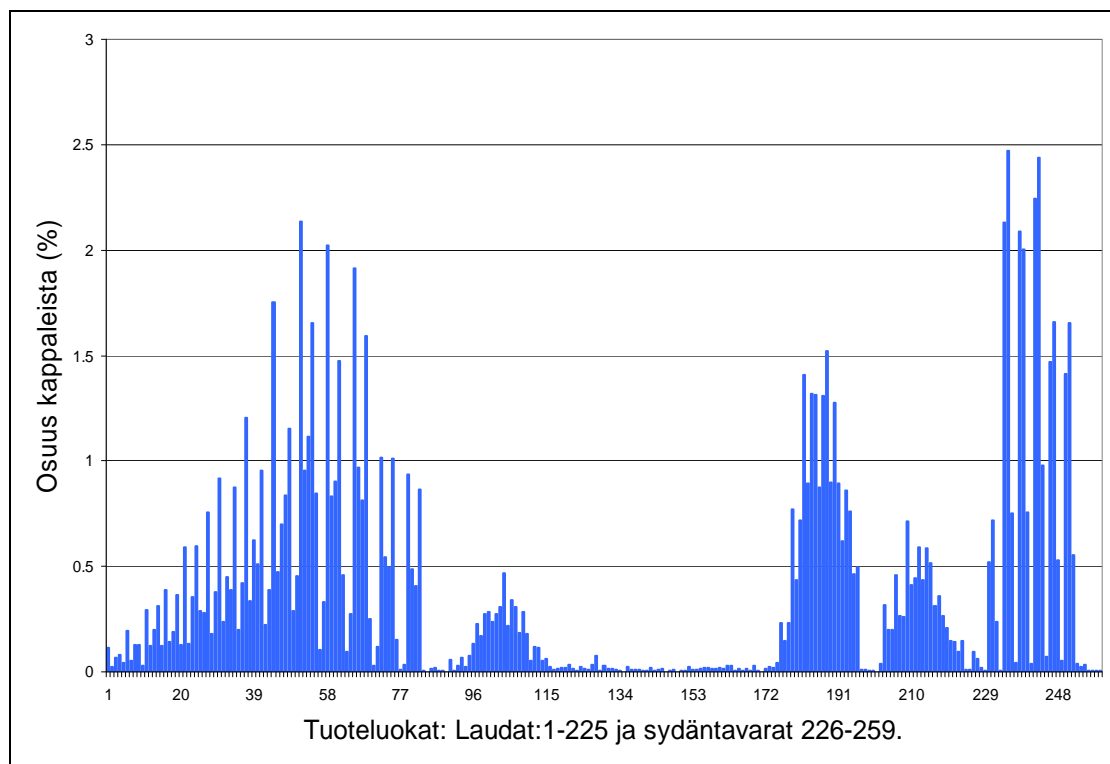
7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 117. Sahatavaratuotteiden lukumäärä – sydäntavara ja laudat – tukkien latvaläpimitta-alueen leveyden kasvaessa pelkkasahauksessa ja jakosahauksessa. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 mm + 19 mm, 25 mm + 19 mm tai 25 mm + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Sahattavien tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm.

Kuvassa 118 esitetään yksittäisten sahatavaratuotteiden – sydäntavara (tuotenumerot 226–259) ja laudat (tuotenumerot 1–225) – osuus kappaleiden kokonaismäärästä. Kuvan jakaumasta nähdään, että suurin osa tuotteista on marginaalisia koska niiden prosentuaalinen osuus on hyvin pieni. Yli 1,5 prosentin osuuksia kokonaiskappalemäärästä on vain 8 sydäntavarakappaleella. Vastaava kappalemäärä lautojen kohdalla on 6.

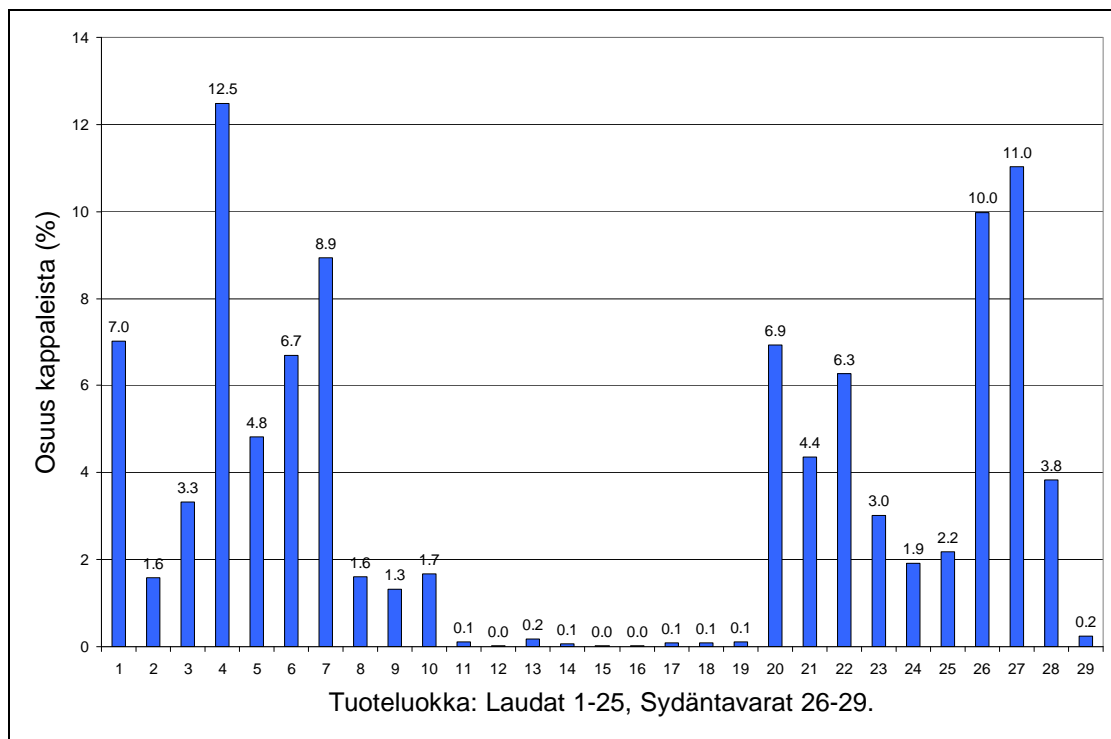
7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 118. Yksittäisten sahatavaratuotteiden osuus kappaleiden kokonaismäärästä. Sahatavaratuotteet numerot 1–225 ovat lautoja ja 226–259 ovat sydäntavaradimensioita. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249 mm. Simuloituja tukkeja 5 000 kappaletta.

Kuvassa 119 esitetään tilanne, jossa tuotemäärittelystä on eliminoitu pituus, ts. tuote on sama kuin dimensio - kappaleen paksuus x leveys sekä laatu. Tällä tavalla tuotteiden lukumäärä pienenee radikaalisti. Dimensioita on yhteensä ainoastaan 29, 4 sydäntavaratuotetta ja 25 lautatuotetta, joista 16 on merkittäviä. Tuotteiden kappalemäärä on 245, kun yksittäinen tuote määritellään paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun avulla (kuva 118).

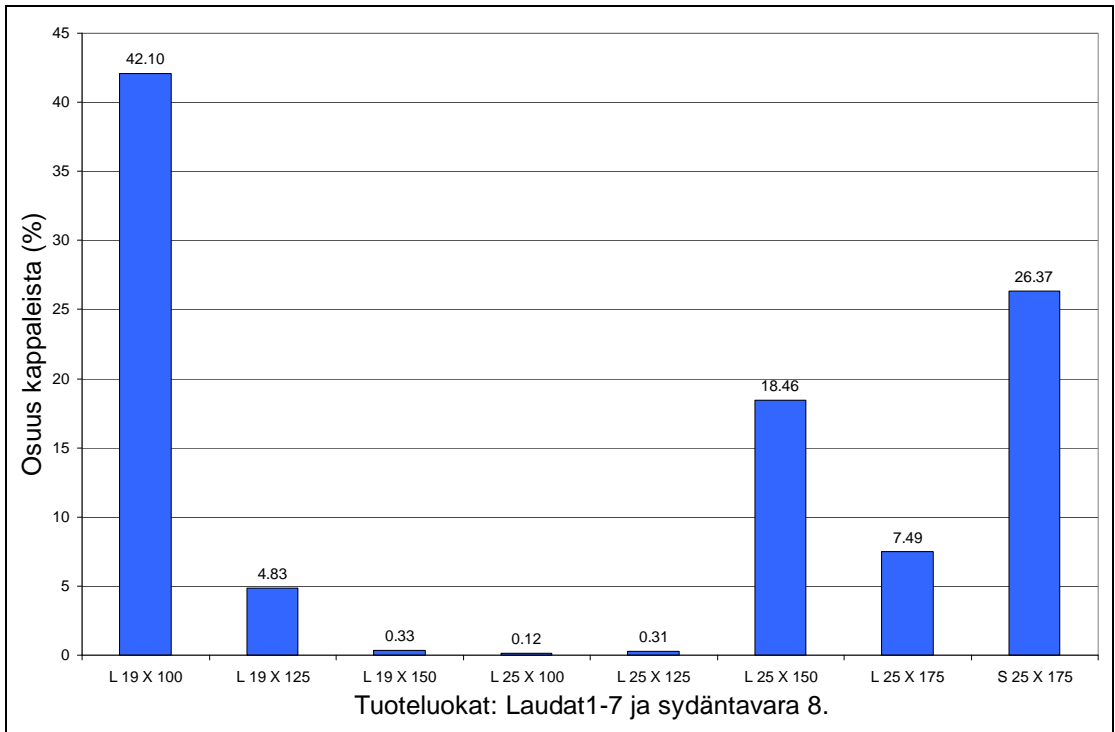
7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 119. Sahatavaratuotteiden jakauma, jossa pituudet on eliminoitu tuotemääritteestä. Yksittäisten sahatavaratuotteiden osuus kappaleiden kokonaismäärästä. Sahatavaratuotteet numerot 1–25 ovat lautoja ja 26–29 ovat sydäntavaradimensioita. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249 mm. Simuloituja tukkeja 5 000 kappaletta.

Kuvassa 120 esitetään tilanne, jossa tuotemäärittelystä eliminoidaan sekä pituus että laatu ts. tuote on sama kuin dimensio, kappaleen paksuus x leveys. Tällä tavalla tuotteiden lukumäärä pienenee radikaalisti. Dimensioita on yhteensä ainoastaan kahdeksan – yksi sydäntavaradimensiota ja seitsemän lautadimensiota, joista kaksi on erittäin merkittäviä. Näiden merkittävien lautadimensioiden yhteenlaskettu tilavuusosuus koko sahatavaratuotannosta on noin 60 prosenttia. Tuotteiden kappalemäärä on 245, kun yksittäinen tuote määritellään paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun avulla (kuva 118).

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

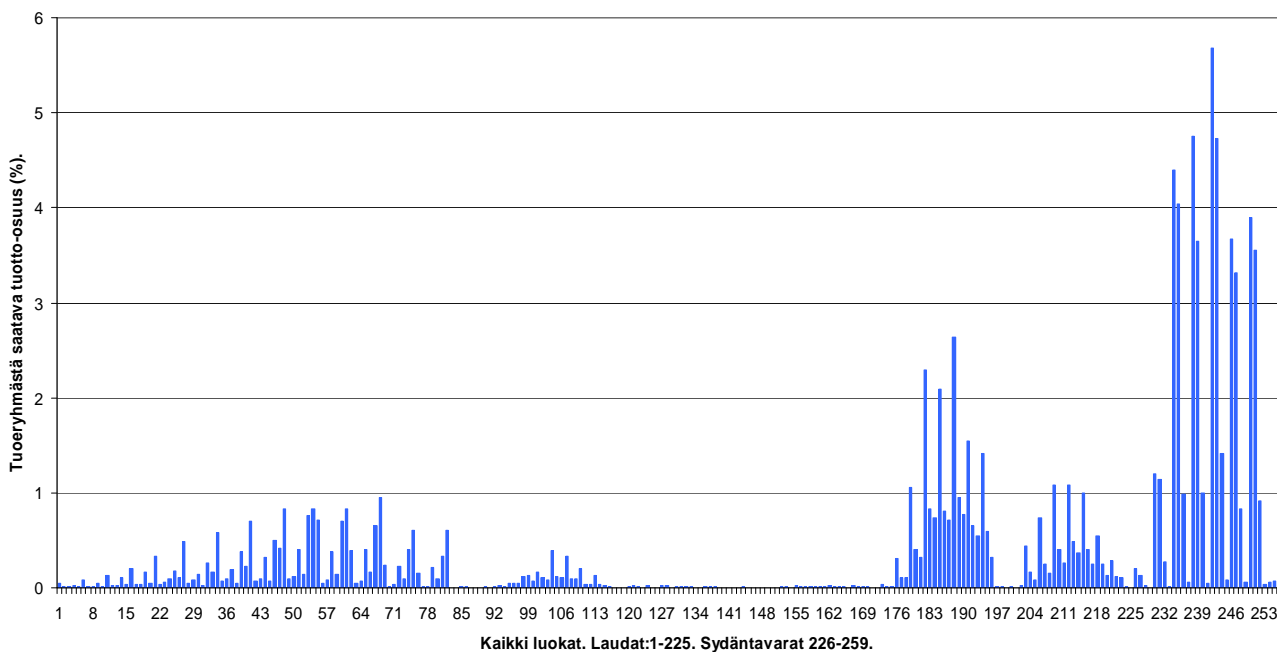


Kuva 120. Sahatavaratuotteiden dimensiokohtainen jakauma. Pituus ja laatu on eliminoitu tuotemäärittelystä. Yksittäisten sahatavaratuotteiden osuus kappaleiden kokonaismäärästä. Sahatavaratuotteet numerot 1–225 ovat lautoja ja 226–259 ovat sydäntavaradimensioita. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkiin latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249 mm. Simuloituja tukkeja on kaikkiaan 5 000 kappaletta.

Kuvan 121 jakaumasta nähdään miten suuri prosenttiosuus sahatavaran kokonaistuotosta tulee yksittäisestä tuotteesta. Vaihtelut ovat hyvin suuria. Jotkut tuotteet ovat liikevaihdon kannalta täysin marginaalisia. Suurimmillaan yksittäinen tuote on tuottanut liikevaihdosta runsaat 6,5 prosenttia. Kuvasta nähdään myös että kokonaistuottojen kannalta sydäntavara on lautoja huomattavasti merkittävämpi. Tämä johtuu luonnollisesti siitä että sydäntavarakappaleet ovat lautoja huomattavasti kookkaampia. Sahan tuottaman sahatavaran kokonaistilavuudesta noin 70 prosenttia on sydäntavaraa.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

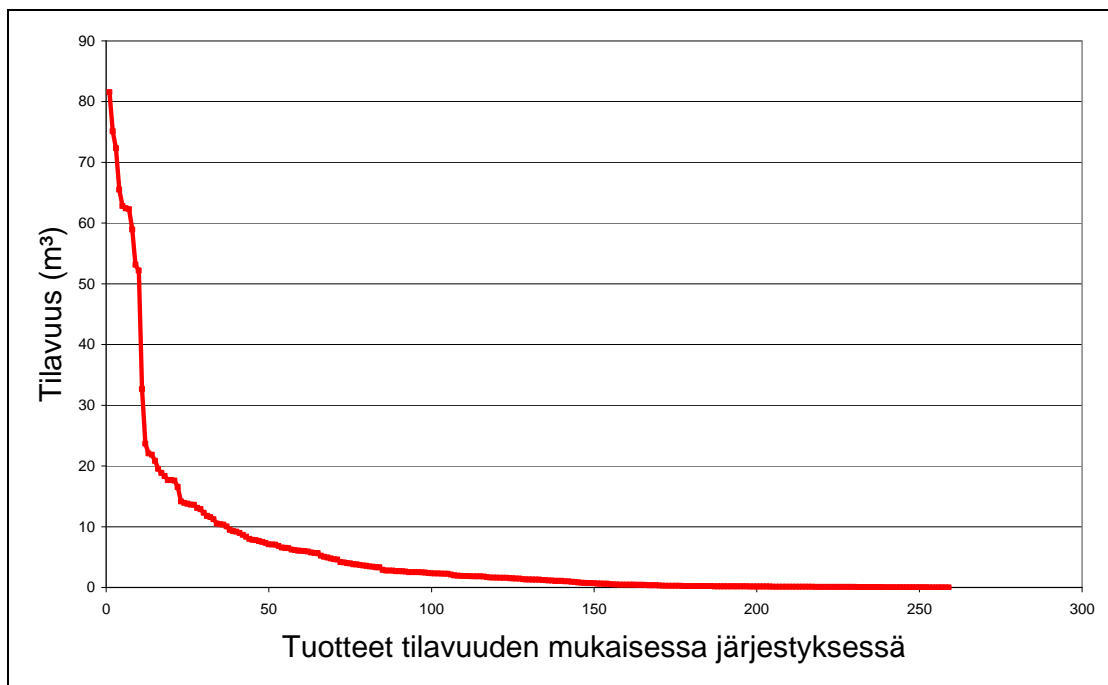
Tuoteryhmien tuotto-osuudet.



Kuva 121. Sahatavaratuotteiden tuotto-osuudet kokonaistuotoista tuotteittain. Tuotteet on määritelty paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun avulla. Sahatavaratuotteet numerot 1–225 ovat lautoja ja 226–259 ovat sydäntavaradimensioita. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249mm. Simuloituja tukkeja on kaikkiaan 5 000 kappaletta.

Kuvan 122 kuvaajasta nähdään, että merkittävin yksittäinen tuote on tuottanut yli 80 m³ sahatavaran 1489 m³:n kokonaistilavuudesta. Kuvaaja laskee hyvin nopeasti niin että ainoastaan kymmenellä tuotteella tuotantomäärä on yli 10 m³. Alle 1 m³:n tuotantomäärä on saatu noin 50 prosentilla tuotteista.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 122. Sahatavaratuotteiden tilavuusosuudet kokonaistilavuudesta (1489 m³) tuotteittain niiden merkittävyyden mukaan jaoteltuina. Tuotteet on määritelty paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun avulla. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249 mm. Simuloituja tukkeja on kaikkiaan 5 000 kappaletta.

Kuvassa 123 esitetään kuinka suuri on yksittäisen tuotteen tuottama tilavuusosuus 1 489 m³:n kokonaistilavuudesta. Merkittävin yksittäinen tuote on tuottanut noin 5,5 prosenttia kokonaistilavuudesta. Kuvaaja laskee hyvin jyrkästi ja lähestyy nopeasti 0 prosenttia. Yli yhden prosentin tilavuusosuus on noin 8 prosentilla tuotteista.

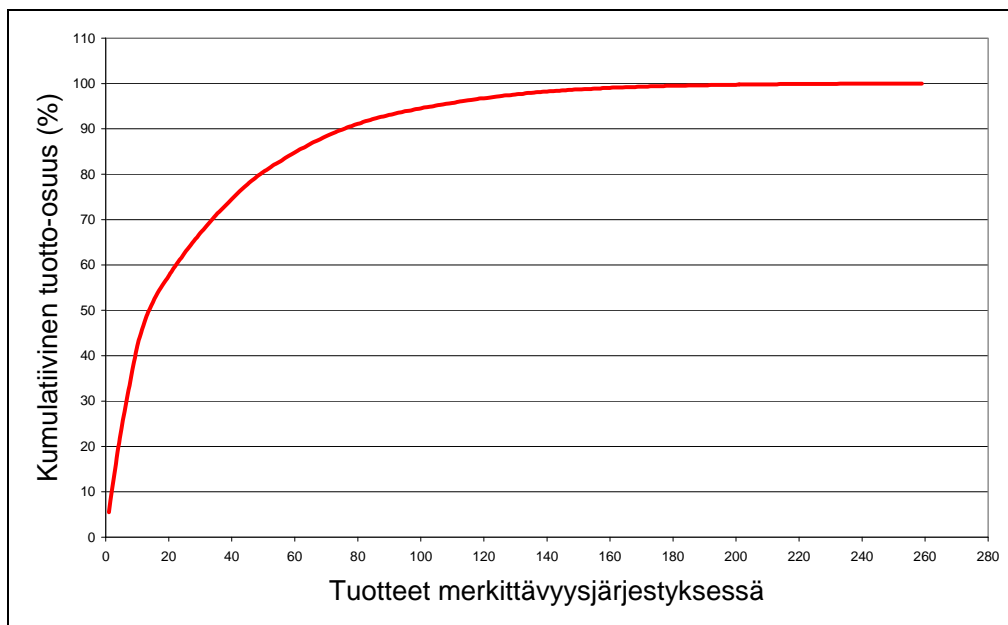
7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



Kuva 123. Sahatavaratuotteiden tilavuusosuudet (%) kokonaistilavuudesta (1489 m³) tuotteittain niiden merkittävyyden mukaan jaoteltuina. Tuotteet on määritelty paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun avulla. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249 mm. Simuloituja tukkeja on kaikkiaan 5 000 kappaletta.

Sahatavaratuotteiden kumulatiivisessa tuottojakaumassa (kuva 124) funktio kasvaa logaritmisesti. Kuvasta nähdään, että hyvin pienestä osasta sahatavaratuotteita saadaan suuri osa kokonaistuotosta. Kumulatiivisesta jakaumasta voidaan havaita, että 17 tuottoisinta sahatavaratuotetta 259 tuotteesta (7 prosenttia) muodostaa 50 prosentin tuotto-osuuden. 30 prosenttia tuotteista muodostaa 90 prosentin osuuden sahatavaran kokonaisarvosta. Suurin osa erilaisista tuotteista on tuottavuuden kannalta merkityksettömiä.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja



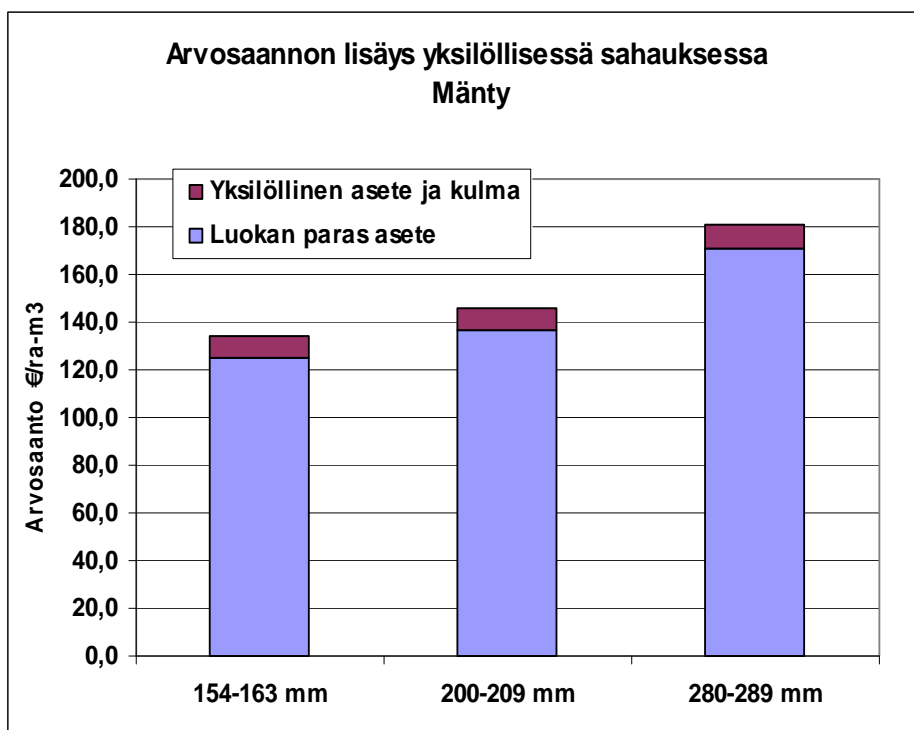
Kuva 124. Sahatavaratuotteiden kumulatiivinen tuotto-osuus (%) kokonaistuotosta tuotteittain niiden merkittävyyden mukaan jaoteltuina. Tuotteet on määritelty paksuuden, leveyden, pituuden ja laadun avulla. Sahauksen sydäntavarana on 2 x 50 mm x 175 mm. Pelkkasahan sivulaudat voivat olla 19 mm:n tai 25 mm:n paksuisia optimointituloksesta riippuen. Jakosahauksen sivulautamallit ovat 19 mm, 25 mm, 19 + 19 mm, 25 + 19 mm tai 25 + 25 mm optimoinnin tuloksesta riippuen. Tukkien latvaläpimitan alaraja on 225 mm ja yläraja 249 mm. Simuloituja tukkeja on kaikkiaan 5 000 kappaletta.

Lajittelemattoman tukin sahausessa jokainen tukki voidaan sahata yksilöllisesti parhaalla mahdollisella sahausasetteella. Yksilöllinen sahaus edellyttää aina sahattavan tukin mittausta. Mittaus voidaan suorittaa välittömästi ennen ensimmäistä sahakonetta tai mittaus voidaan suorittaa tukkien lajittelulaitoksella. Jos mittaus tehdään tukkien lajittelussa, mittaustieto pitää siirtää esimerkiksi tukin yksilöllisen merkinnän avulla sahausjärjestelmään. Mittarit voivat olla hyvin monetasoisia – lähtien yksisuuntaisesta halkaisijan mittaamisesta röntgenperustaiseen mittariin, jolla voidaan tuottaa tietoa myös tukin sisäisistä ominaisuuksista kuten oksista tai sydänpuun määrästä. Mitä tarkempi mittaus on sitä parempaan lopputulokseen sahausessa päästään.

Tukin mittaustulos siirretään optimointijärjestelmään, joka tilauskannan – tuotetarve ja niiden hinnat – perusteella laskee optimaalisen sahausasetteen ja tukin suuntauksen sahakoneeseen.

Tukin mekaanisen pyöritys- ja suuntausjärjestelmän samoin kuin pelkan ohjausjärjestelmän on pystyttävä toteuttamaan laskettu optimointitulos mahdollisimman hyvin. Tukin yksilöllinen sahaus onnistuu vain jos tukin mittaus, asetteen ja suuntauksen optimointi sekä sahauksen mekaaninen toteutus hallitaan hyvin.

Kuvassa 125 esitetään yksilöllisessä sahauksessa saatava tuotto verrattuna sahaukseen tukkiluokittain. Suurin tuottoero yksilöllisen sahauksen hyväksi saadaan pienimmällä ja suurimmalla tukkiluokalla. Myös tukkiluokan 200–209 mm tukkeja sahattaessa yksilöllinen sahaus on selvästi parempi kuin tukkiluokan parhaalla asetteella saatu sahaustulos. Tuottoeroksi saadaan noin kuusi prosenttia, mikä merkitsee huomattavaa arvosaannon parannuspotentiaalia.

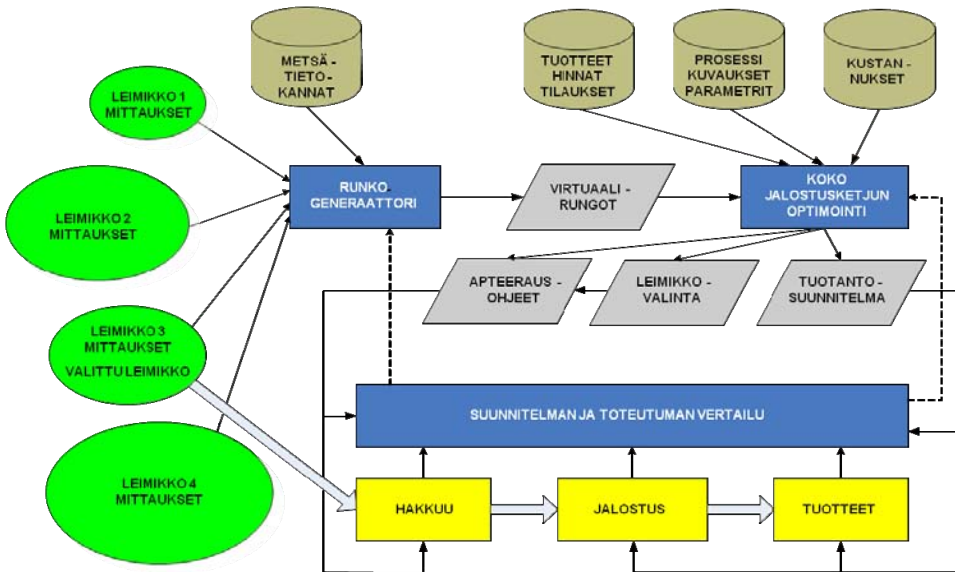


Kuva 125. Tukin yksilöllisellä sahauksella saatava arvosaanto verrattuna tukkiluokan parhaalla asetteella saatavaan arvosaantoon.

7. Tulevaisuuden sahauskonsepteja ja -prosesseja

7.6 Leimikkovalinta ja apterauksen optimointi

Kuvassa 126 esitetään periaate tulevaisuuden leimikoiden arviointikonseptista sahausksen näkökulmasta.



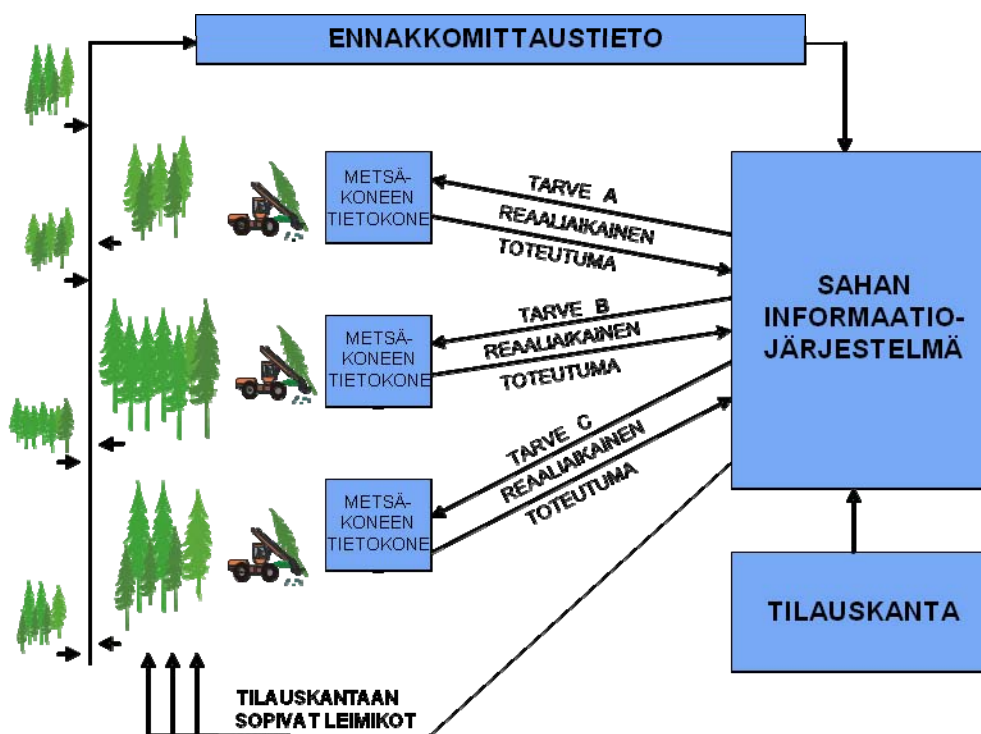
Kuva 126. Kaaviokuva kehitettävästä itseoppivasta järjestelmästä.

Ohjelmiston periaate on esitetty kuvassa 127. Kehitettävällä pc-pohjaisella tietokoneohjelmistolla voidaan arvioida ennakkomittaus- ja muiden saatavissa olevien tietojen perusteella leimikoiden sopivuutta tilauskannan mukaisten tuotteiden jalostamiseen ja tuotevalikoiman nykyistä selvästi parempaan ohjaukseen ja hallintaan. Ennakkotietoa käytetään leimikon puuston esittämiseen virtuaalirunkoina, jotka sisältävät tiedon puuston kokojakaumasta ja laadusta. Virtuaalirungot ohjataan ohjelmiston jalostussimulaattoriin, joka laskee eri jalostusvaihtoehtojen tuottamat tuotevalikoimat ja kannattavuuden erilaisilla tuote- ja tuotantoparametrien, esimerkiksi sahausasetteet, arvoilla. Jalostussimulaattorin tuottama data muodostaa lähtöarvotiedoston optimointimallille, joka laskee parhaimmat mahdolliset jalostusketjut ja leimikoiden katkontaohjeet, tuotevalikoiman ja tuotantoparametrien arvot annettujen kapasiteettirajoitusten ja tilauskannan puitteissa. Mallijärjestelmän itseoppivuuden aikaansaamiseksi leimikon hakkuussa syntyvät tukit merkitään metsässä leimikkotunnuksella ja niiden ominaisuudet rekisteröidään. Kun tukit tulevat sahausseen, merkittyjen tukkien ja sahausesta

saatavan sahatavaran ominaisuudet rekisteröidään. Mallijärjestelmällä laskettua tuote-ennustetta verrataan toteutuneeseen. Vertailun perusteella tehdään tarvittavat muutokset mallijärjestelmään tai sen parametreihin.

7.6.1 Tuotelähtöinen sahapuurunkojen apteeraus

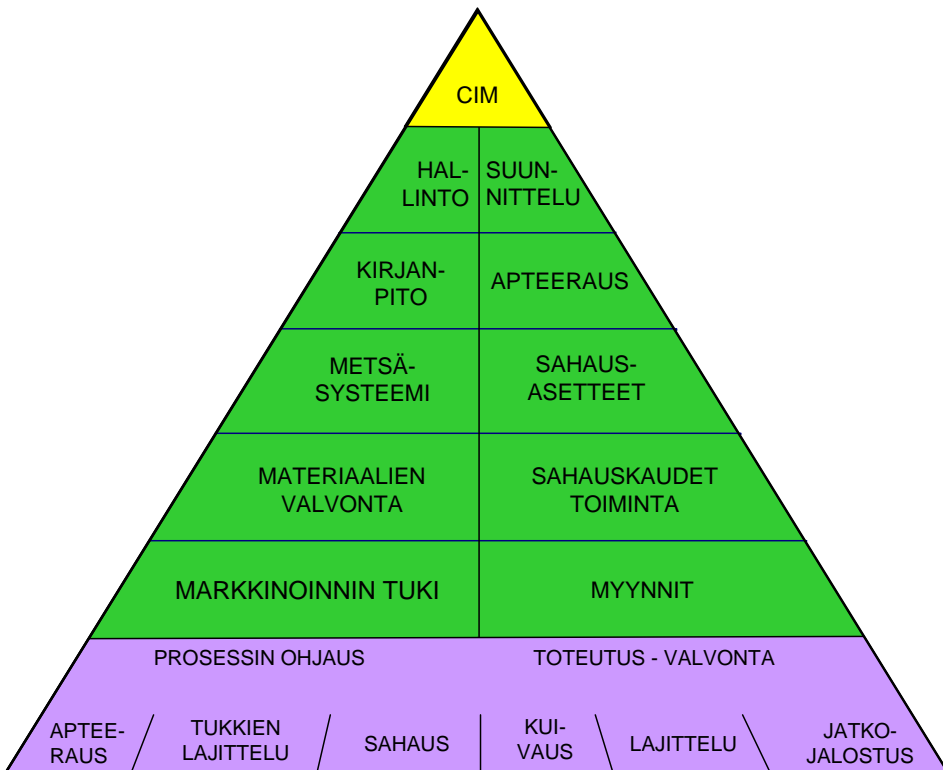
Kuvassa 127 on esitetty apteerauskonsepti. Sahan leimikkovarannon leimikoista on ennakkomittautietoa. Tilaukset valitaan tilanteeseen sopivat leimikot korjattaviksi. Korjuukoneille tavoitteet tulevat tuotetarpeina. Korjuukoneet ovat reaaliaikaisessa yhteydessä sahan tietojärjestelmään, jonne toteutumaa päivitetään koko ajan.



Kuva 127. Tulevaisuuden apteerauskonsepti. Metsäkoneet ovat reaaliaikaisessa yhteydessä sahan tietojärjestelmään. Leimikoista on kerätty ennakkomittautietoa.

7.7 Jalostusketjun kokonaisvaltainen CIM-konsepti

Jalostusketjun kokonaisvaltainen hallinta edellyttää järjestelmää, jossa tietoa kerätään, prosessoidaan ja käytetään eri päätöksentekotasolla ja prosessissa. Lisäksi takaisinkytkennän, suunnitelman ja toteutuneen eron vertailun (feedbackin), on tuotettava nopeasti informaatiota toiminnan kehittämiseksi. Tällaisessa järjestelmässä, jota voidaan kutsua sahatteollisuuden CIMiksi (computer integrated manufacturing), päätöksentekijä voi tehdä parempia, perusteltuja päätöksiä, koska hänellä on todellista tietoa päätöstensä pohjaksi. Vastaavasti koneet toimivat kokonaisuutena eivätkä irrallisina. Sahan CIM voidaan esittää kuvan 128 kaaviona.



Kuva 128. CIM-konsepti sahatteollisuudelle.

CIM-konseptin alimmalla tasolla toimivat prosessit ja yksittäiset koneet, esimerkiksi tukkien lajittelulaitos, sahakoneet, särmäsahat jne. Myös metsäkoneet – vaikka ne sijaitsevat kaukana sahalaitoksesta – nykyaikainen tietoliikenne tuo

yhtä lähelle sahaa kuin muutkin prosessit. Yksittäisten prosessien ja koneiden ohjauksessa ollaan hyvin pitkällä. Koneiden ja prosessien väliset linkit kuitenkin puuttuvat suurelta osin. CIM-kaaviossa (kuva 128) ylemmän tason muodostavat erilaiset päätöksenteon tukijärjestelmät. Nämä voidaan jakaa toisaalta hallinnollisiin järjestelmiin ja toisaalta varsinaisiin suunnittelujärjestelmiin. Ylimmän tason järjestelmä (CIM) liittää toisiinsa päätöksenteon tukijärjestelmät, suunnittelujärjestelmät ja prosessien ohjaukset yhdeksi kokonaisuudeksi siten, että sahan toimintaa voidaan ohjata kokonaisuutena parempaan kannattavuuteen.

8. Ketjut nykyisistä prosesseista kohti tulevaisuuden prosesseja

Tuotannon muutosketjut voivat olla hyvin pitkiä ja suuria investointeja vaativia prosesseja. Lähtökohtaisesti on kuitenkin ajateltava, että aloitetaan muutoksista, jotka ovat suhteellisen pieniä, mutta kuitenkin askeleita eteenpäin. Toteutettavilla muutoksilla tulisi olla myös lyhyt takaisinmaksuaika. Suurilla muutoksilla on aina suuremmat riskit. On myös muistettava, että tässä raportissa on esitetty sellaisia uusia tuotantojärjestelmäkonsepteja, jotka edellyttävät haasteellisen teknologian kehittämistä. Uuden teknologian kehittäminen vaatii myös rahoituskysymysten ratkaisemista.

Seuraavassa esitetään luettelo niistä kehityskohteista, joihin sahojen tulisi kiinnittää huomiota. Luettelo perustuu tämän tutkimuksen tekijöiden arvoihin tulosten perusteella. Jokaisen sahan on itse määriteltävä oman liiketoiminta-ajatuksensa perusteella toteutettavat kehityskohteet, joita voivat olla esimerkiksi

1. tukkien lajittelun optimointi
2. sahausasetteen optimointi
3. sahausmitan hallinta
4. tukkikohtaisen sahaustuloksen rekisteröinti
5. tukin mittaus sisäisen laadun selvittämiseksi
6. pelkan suuntauksen ja sahauksen optimointi
7. komponenttituotteita sahatavarasta
8. tukin pyörityksen optimointi
9. tuotevalikoima
10. tuotteiden lajittelu tuoreena ja kuivana.

Seuraavassa esitetään luettelo niistä kehityskohteista, joihin teknologian toimittajien tulisi panostaa. Luettelo perustuu tämän tutkimuksen tekijöiden arvoihin tulosten perusteella. Kehityskohteet ovat seuraavat:

8. Ketjut nykyisistä prosesseista kohti tulevaisuuden prosesseja

1. tukin eri ominaisuuksien mittaus
2. dynaamisen tukkien luokituksen ja lajittelun toteutus
3. pelkan mittaus ja pelkan sahauksen ja ohjauksen optimointi
4. sahausasetteen optimointi tilauskannan perusteella ja tukkien lajitteluun integroituneena
5. moniteräinen särmäys ja sen todellisen laadun mukainen optimointi
6. tuoreen ja kuivan sahatavaran ominaisuuksien mittaus ja lajittelun optimointi
7. läpisaaukseen perustuva sahauslinja ja komponenttien sahaus
8. itseoppivat tuotantojärjestelmät
9. merkintäteknologian hyödyntäminen ja integroituneet ohjausjärjestelmät
10. jatkuvatoiminen kuivaus.

On aivan selvää, että edellä olevien luetteloiden kohtien toteuttaminen merkitsee sahoille merkittävää arvonlisäystä.

9. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkimuksen tulokset osoittavat selvästi, ettei nykyisillä sahausmenetelmillä pystytä hyödyntämään korkeatasoisen tukkiraaka-aineen mahdollisuuksia tuotettavan sahatavaran arvon maksimoinnissa. Arvonmenetyksiä syntyy kun tukit sahataan alhaiseen käyttösuhteeseen pyrkien kiinteillä, ennalta määrätyillä aseteilla ja sahausmenetelmien prosesseissa tapahtuvien virheiden vuoksi.

Tämän tutkimuksen painopisteenä olivat uudet tuotantokonseptit, joissa moderneja mittaus- ja optimointiteknologioita hyväksikäyttäen pystytään nykyistä paremmin yksilölliseen sahausmenetelmään, joissa konseptista riippuen pystytään optimoimaan tuotettavan sahatavaran ja komponenttien laatu ja vähentämään alhaisen hintaluokan sahatavarakappaleiden tuotantoa.

Tutkimuksen mukaan konseptimuutoksilla voitaisiin lisätä sahatavaruotannon arvoa vähintään 20 prosentilla ja esimerkiksi puolittamalla valmistuksen virhetoiminnot tuotannon arvoa olisi mahdollista nostaa 10 prosentilla.

Teoreettisesti paras vaihtoehto sahausmenetelmäksi on läpisahaus, jossa tukki-röntgenillä tarkasti mitattu ja analysoitu tukki syötettäisiin lasketussa optimiasennossa viipalesahaan, jossa määräytyvät kappaleiden paksuudet. Tämän jälkeen viipaleiden lapheet ja syrjät kuvataan multisensorijärjestelmällä, jonka perusteella optimoidaan viipaleen moniteräsärmäys yhdeksi tai useammaksi, arvon maksimoiviksi kappaleiksi.

Sivulautojen saantoa ja laatujaikaa olisi mahdollista parantaa profilointia vähentämällä.

Siirtymällä eteenpäin jalostusketjussa ja valmistamalla itse tai yhteistyöverkostonsa kautta komponenttituotteita saha voi parantaa merkittävästi taloudellista tulostaan. Huonoimpien sahatavara-alueiden kohdalla tuotannon myyntiarvo voi nousta yli 100 prosenttia verrattuna siihen että tuotteet myytäisiin sahatavarana.

Avainasioita uusissa tuotanto- ja liiketoimintakonsepteissa on informaatioteknologian laajamittainen hyödyntäminen tuotanto- ja toimitusketjujen suunnitte-

lussa ja hallinnassa. Tässä tutkimuksessa sovelletut simulointi- ja optimointimal-
lit ovat esimerkkejä malleista, joilla päästään huomattavasti parempaan tulok-
seen kuin manuaalisessa suunnittelussa. Tulevaisuuden sahauskassa on erittäin
paljon enemmän vaihtoehtoja ja vapausasteita kuin nykyisin.

Kappaleiden merkintäteknologia tarjoaa mahdollisuuden linkittää toisiinsa
tuotteet, puuraaka-aineen ja prosessiarvot. Tämä mahdollistaa toiminnan suun-
nittelun, prosessien, ja laadunvalvonnan tason merkittävän parannuksen tuotta-
malla takaisinkytkentätietoa vertaamalla toteutunutta tulosta suunniteltuun tu-
lokseen.

Tulevaisuuden saha palvelee jalostajia ja asiakkaita nykyistä selvästi parem-
min, esimerkiksi tuottamalla tarkkaa kappale- tai eräkohtaista informaatiota tuot-
tetun sahatavaran ominaisuuksista ja siirtämällä se toimitusketjussa eteenpäin
merkinnän avulla.

Tutkimuksessa saadut tulokset viitoittavat tietä tulevaisuuteen. Osa kehitetyis-
tä konsepteista voidaan ottaa käyttöön välittömästi ilman suurempia investointe-
ja. Esimerkkinä voidaan mainita tukkien lajittelun luokkarajojen muuttaminen.
Osan konseptien implementoinnista käytäntöön vaatii tuotekehitystä, tuotteista-
mista ja kaupallistamista. Aktiivisuutta on jo nähty sekä sahojen että teknologia-
toimittajien taholla

Sahojen pitäisi tehdä oman liiketoimintansa kehittämiseksi samanlaisia ana-
lyyseyä kuin tässä tutkimuksessa, jotta saataisiin selville tuotantojärjestelmien
potentiaalisten muutosten vaikutukset sahan omaan tuloksen. Tuloksethan ovat
riippuvaisia asiakaskunnasta, tuotteista, raaka-aineista, tuotantoteknologiasta,
kapasiteetista jne. Tässä tutkimuksessa on luotu erittäin hyvät mallinnusmene-
telmät ja tietokannat uusien yritys kohtaisten tuotantojärjestelmien tutkimiseksi.

10. Yhteenveto

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää uusia edistyksellisiä ja tietointensiivisiä tuotantokonsepteja, jossa systemaattisesti kerättävään tietoon ja sen käsittelyyn perustuen hallitaan nykyistä selvästi paremmin epähomogeenisen puumateriaalin käsittely asiakas- ja täsmätuotteiksi – komponenteiksi ja erikoissahatavaraksi – siten että saavutetaan huomattava kannattavuuden ja joustavuuden lisäys sekä itseohjautuvuus ja -oppivuus nykyisiin tuotantolinjoihin verrattuna.

Olellaisia elementtejä uusissa järjestelmissä ovat muun muassa 1) asiakaslähtöinen, palveleva toimintatapa ja monipuolinen tuotteiden hallinta toimitusketjuissa, 2) puu-raaka-aine valitaan ja ohjataan lopputuotteeksi niin varhaisessa vaiheessa jalostusketjussa kuin mahdollista, 3) puuraaka-aineen ja puolivalmisteen osoitetta voidaan muuttaa tarvittaessa myöhemmin, 4) informaatio- ja materiaalivirtojen hallinta- ja optimointi suunnittelu- ja tuotanto-järjestelmissä, 5) älykkäät, joustavat ja itseoppivat mittaus- tuotanto- logistiikkajärjestelmät, 6) keskenään integroitavat tieto- ja ohjauksjärjestelmät, jotka kattavat koko jalostus- ja toimitusketjun sekä 7) merkintäteknologian laajamittainen hyödyntäminen ja takaisinkytkentätiedon luominen ja hyväksikäyttö itseoppivuuden ja itseohjautuvuuden aikaansaamiseksi.

Työssä kehitettiin uudet mallinnustyökalut. InnoSIM-ohjelmisto tarkasti kuvattujen tukkien ja sahatavaratuotteiden ja komponenttien valmistuksen simulointiin ja optimointiin, WoodCIM®-ohjelmisto tukkien lajittelun optimointiin, visuaalinen simulointijärjestelmä materiaalivirtojen tutkimiseksi sekä simulointiohjelma sahatavaran kertymän ennustamiseksi. Ohjelmistot olivat avaimia uusien konseptien kehittämisessä yhdessä VTT:n runkopankkien kanssa. Maailman huippua edustavia malleja on käytetty myös yrityskohtaisesti strategisessa ja operatiivisessa suunnittelussa.

Tukkien lajittelu voidaan tehostaa merkittävästi muuttamalla tukkiluokkien rajoja dynaamisesti tilauskannan ja puuraaka-aineen mukaan. Tukkiluokkien

rajat voivat perustua perinteiseen tukin geometrian mittaukseen, mutta tulevaisuudessa entistä enemmän tukkien sisäisiä ominaisuuksia, kuten oksaisuutta, analysoidaan skannereilla, joissa käytetään samanaikaisesti useita mittaussuunnitelmia. Tukkien luokitus voidaan tehdä tukin geometrian, sahausasetteen tai tuotteen mukaan tai tukit voidaan poimia luokkaan niiden ominaisuuksien perusteella. Tukkien lajittelu voi olla myös kaikkien näiden menetelmien yhdistelmä. Tukkeja pitäisi voida siirtää myös luokasta toiseen tarvittaessa. Tukkiryhmä voidaan poimia myös tukkivarastosta, jos tukit on varustettu yksilöllisellä tunnustimella. Tukkien lajittelutapaa kehittämällä on mahdollista lisätä arvosaantoa 2–5 prosenttia. Tukkien lajittelulaitoksen lokeromäärän pienessä sahauksen taloudellinen tulos pienenee sitä jyrkemmin mitä pienemmästä lokeromäärästä on kysymys. Tuloksen pudotus voi olla useita prosenttiyksiköitä. Tukkien lajittelua tarkasteltaessa on otettava aina huomioon myös sahalinjan ominaisuudet. Muuttuva-asetteisella sahauksella, jossa voidaan muuttaa sivulautamallia tukeittain, voidaan korjata tukkien lajittelussa tehtyjä virheitä.

Sahauksen simulointien perusteella todettiin, että läpisahausmenetelmällä saatava arvosaanto on huomattavasti parempi kuin nelisahauksen arvosaanto sekä männyllä että kuusella. Saantoero kasvaa sitä suuremmaksi mitä pienempi on tukin latvaläpimitta. Pienillä tukeilla saantoero voi nousta jopa yli 20 prosentin ja suurillakin tukeilla muutamaan prosenttiyksikköön perinteisiä sahatavara-tuotteita valmistettaessa. Pienempiä komponenttituotteita puusepänteollisuudelle sahattaessa läpisahaus on ylivoimainen.

Tuotejakauman ja arvosaannon kannalta päästään aina parhaimpaan tulokseen, jos jokainen tukki voidaan erikseen sahata optimaalisella asetteella, tukin pyöri-tyksellä, pelkan ohjauksella ja särmäyksellä. Yksilöllinen sahaus parantaa sahaus-saantoa noin viisi prosenttia. Yksilöllisen sahaus haittapuolena on syntyvien tuotteiden suuri lukumäärä, mikä kasvattaa tuorelajittelulaitoksen lokeromäärä erittäin paljon. Sahauksessa pitääkin löytää tasapaino tukkien lajittelun, sahauslinjan joustavuuden ja tuotemäärän hallinnan välille.

Tukin pyöriytyksessä perinteinen sahaustapa, jossa tukin lenkous on ylöspäin, ei johda parhaimpaan sahaustuloksen. Tukin pyöriytyksen optimoinnissa on otettava huomioon sekä tukin tarkka muoto että tukin muut ominaisuudet, erityisesti oksat. Jokainen tukin pyöriytykskulma johtaa sahausessa omaan tuote-erittelyyn ja siten myös tuotearvoon. Tämä johtuu siitä, että oksat sijoittuvat kappaleisiin sen mukaan, missä asennossa tukki sahakoneeseen syötetään. Suurimmillaan parhaimman ja huonoimman pyöriytykskulman tuottama arvoero voi olla jopa 20 prosenttia. Keskimääräiseksi arvoeroksi saatiin kuusi prosenttia. Tukin pyöriytyk-

sen optimointi edellyttää tarkkaa, monipuolista mittausta ja sitä, että otetaan huomioon pyöriksen mekaanisen toteutuksen tarkkuus. Tukin pyöriksen optimointi merkitsee huomattavaa arvonlisäyspotentiaalia sahoille.

Pelkan optimaalinen ohjaus edellyttää pelkan muodon ja laatutekijöiden mittaamista, optimaalisen ohjauksen laskentaa ja hyvää mekaanista toteutusta. Kaikkien näiden osa-alueiden toimintojen on toteuduttava samanaikaisesti. Optimimaalinen ohjaus edellyttää sitä, että pelkan ominaisuudet saadaan siirrettyä sahatavaran ominaisuuksiksi niin, että syntyvien kappaleiden arvon summa on mahdollisimman suuri. Pelkan paras ohjautapa voi poiketa huomattavastikin kaarisahauksesta tai keskittävästä sahauksesta. Monessa tapauksessa näyttää epäsymmetrinen sivulautamalli tuottavan hyvän sahaustuloksen. Verrattaessa pelkan keskittämiseen perustuvaa sahausta käyräsahaukseen voitiin todeta, että tukin lenkouden suuretsa arvosaantoero käyräsahauksen hyväksi suurenee. Kun tukin lenkous on 5 mm/m, saantoero on 1 prosenttia, mutta kun lenkouden arvo on 10 mm/m, saantoero on jo viisi prosenttia.

Komponenttituotteet ovat tuotteita, jotka ovat lähempänä puisia lopputuotteita kuin perinteinen sahatavara. Ne tuottavat asiakkaalle lisäarvoa. Komponenttien valmistus voidaan aloittaa sahatavarasta tai sitten läpisahatuista viipaleista. Tutkimuksen mukaan tuotannon myyntiarvoa voidaan nostaa jopa 300 prosentilla, jos huonolaatuinen sahatavara sahataan komponenteiksi sen sijaan, että se myytäisiin sahatavarana. Parempilaatuisten sahatavaroiden kohdalla löydytty kappaleita, jotka kannattaa valmistaa komponenteiksi 30–50 prosentin arvoerolla. Toisaalta on kappaleita, jotka kannattaa myydä sahatavarana.

Parhaimpaan taloudelliseen tulokseen komponenttituotannossa päästään, kun niiden valmistus aloitetaan läpisahatuista, kuivatuista viipaleista, jotka voivat olla lievästi särmättyjä rimoituksen helpottamiseksi. Riippuen läpisaheen geometriasta ja laatutekijöistä optimoidussa prosessissa käytetään joustavasti sekä moniteräisiä särmäsahoja että katkaisusahoja. Olennaisena osana prosessia ovat mittaus-, lajittelu- ja optimointijärjestelmät, jotka lajittelevat sahatavaran tai saheet komponenttien valmistusprosessiin tai sahatavaran valmistusprosessiin. Yhdistetyllä sahatavara- ja komponenttituotannolla voidaan samasta puuraaka-aineesta saada 10–30 prosenttia enemmän myyntituloja tavanomaiseen sahatavaratuotantoon verrattuna.

ICT ja mittaustekniikka. Tukin ja pelkan ulkoisten ja sisäisten ominaisuuksien tarkka mittaaminen on avain puuraaka-aineen geometristen ja laatuominaisuuksien optimaaliseksi hyödyntämiseksi. Erityisen merkittävää mittaaminen on silloin, kun halutaan tuottaa oikea-aikaisesti asiakkaille lisäarvoa tuottavia täs-

mätuotteita, joilla on vaaditut ominaisuudet. Tutkimuksessa todettiin, että tukin röntgenmittauksessa täytyy olla vähintään 6–8 mittaussuuntaa, jos halutaan nähdä puun sisältä yksittäinen oksa riittävän tarkasti esimerkiksi tukin pyörittämistä silmällä pitäen. Saheiden ja sahatavaran sisäisten ominaisuuksien mittaaminen on kappaleiden hyödyntämisen, jalostusprosessien optimoinnin, tuotteiden lajittelun ja palvelun kannalta erittäin tärkeää.

Tulevaisuuden sahaustoiminta tulee perustumaan tietoon. On mitattava ja kerättävä systemaattisesti uutta dataa aina kun se on järkevää ja mahdollista. Tallennettu data prosessoidaan informaatioksi ja käytetään hyväksi tietona jalostusketjuja, järjestelmiä ja koneita ohjattaessa. Merkintäteknologian hyödyntämiseen perustuen tuotetaan tietoa takaisinkytkennälle, jossa toteutunutta tulosta verrataan suunniteltuun tulokseen. Näin saadaan luotua itseoppivia järjestelmiä. Avainteknologioita ovat yhtenäiset informaatiojärjestelmät, jotka kattavat koko jalostus- ja toimitusketjut. Aivan olennaisena osana näitä järjestelmiä ovat myynnin, tuotannon ja puuraaka-aineen hankinnan sekä toimitusketjujen reaaliaikaisen hallinnan optimointijärjestelmät, jotka tuottavat tiedon taloudellisen tuloksen maksimoimiseksi.

Esimerkki uudesta tuotantojärjestelmästä. Tukin sahausasete, samoin kuin tukin ja pelkan suuntaukset, lasketaan jo tukkien lajitteluvaiheessa. Tukin päähän merkitään viiva, jonka perusteella tukki pyöritetään haluttuun asemaan ennen sahakonetta. Tukki merkitään RFID-tunnisteella, joka luetaan ennen sahausta. Tunnisteen perusteella haetaan informaatiojärjestelmästä tieto, joka ohjaa sahausta. Jos sahalinja on muuttuva-asetteinen, tukki mitataan tarkasti vielä ennen sahausta ja lasketaan optimaalinen sahausasete. Tukin pyöritys perustuu tukin tarkkaan mittaamiseen, joka on tehty joko tukkien lajittelussa tai juuri ennen sahakonetta. Sahaus perustuu siten tukkien tarkan lajittelun ja muuttuva-asetteisyyden integrointiin. Sahausten jälkeen mitataan pelkan sahattujen pintojen ominaisuudet, oksien sijainti jne. ja tehdään tarvittavat korjaukset asetteisiin. Sahauksessa voidaan korjata lajittelussa tapahtuneita virheitä, kun saadaan lisää informaatiota pelkan mittauksista. Pelkan ja lauta-aihioiden hallittu suuntaus ja ohjaus perustuvat pelkan tarkkaan mittaamiseen ja jakosahan asetteen optimointiin.

Kirjallisuutta

- Grundberg, S. 1999. An X-ray LogScanner – a tool for control of the sawmill process. Doctoral thesis. Division of Wood Technology, Luleå University of Technology. 30 s.
- Grönlund, A. 1989. Yield of trapezoidal sawing and some other sawing methods. *Forest Production Journal* 39(6): 21–24.
- Mäkelä, A. & Mäkinen, H. 2003. Generating 3D sawlogs with a process-based growth model. *Forest Ecology Management*. 184: 337–354.
- Oja, J. 1997. Measuring knots and resin pockets in CT-images of Norway spruce. Division of Wood Technology, University of Technology, Luleå, Licenciate thesis, Skellefteå. 6 s.
- Oja, J., Grundberg, S. & Grönlund, A. 2001. Predicting the stiffness of sawn products by X-ray scanning of Norway spruce saw logs. *Scandinavian Journal Forest Research* 16: 88–96.
- Pinto, I., Usenius, A., Song, T. & Pereira, H. Sawing simulation of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems for production of heartwood containing components. Reviewed and accepted for publication in *Forest Product Journal*. © 2004 Forest Products Society *Forest Prod. J.* 2005, 55(4): 88–96.
- SisuPUU 2008. Teollisuusseminaarin esitykset. 10. tammikuuta 2008. Otaniemi, Espoo.
- Song, T. & Usenius, A. 2004. IUFRO Working Party, Wood Quality Modelling.
- Song, T. & Usenius, A. 2007. INNOSIM – a simulation model of wood conversion chain. COST E 44 Conference proceedings on Modelling the Wood Chain Forestry – Wood Industry – Wood Products Markets. September 17–19, 2007, Helsinki, Finland. S. 95–108.
- Usenius, A. 1980. Sahausasetteen simulointimalli (Sawing set up Simulation). Valtion teknillinen tutkimuskeskus, puulaboratorio, Tiedonanto 5. 178 s. + liitt. 23 s.
- Usenius, A. 2000. WoodCim® - Integrated planning and optimizing system for sawmilling industry. VTT Building technology, internal report. 8 s.
- Usenius, A., Heikkilä, A. & Song, T. 2006. WoodCIM® Sistema de Software Integrado para Soporte en la Toma de Decisiones en Aserraderos – desde el Bosque hasta los Productos Finales (WoodCIM® – integrated software system supporting decision making at the sawmills – from the forest to the end products. Pro-

- ceedings of ScanTech 2006. Buenos Aires, Argentina 2–3.11.2006 Expo VESTAS and Wood Machining Institute, Berkeley, USA. S. 4–30.
- Usenius, A. 2007. Flexible and Adaptive Production Systems for Manufacturing of Wooden Components. Proceedings Volume 1 of 18th International Wood Machining Seminar. May 7–9, 2007 – Vancouver, Canada. S. 187–196.
- Usenius, A. 2007. Self learning and flexible production systems for special sawn timber and wooden components (Itseoppivat ja joustavat tuotantojärjestelmät erikois-sahatavaran ja komponenttien valmistuksessa) in Finnish, Mekaanisen metsäteollisuuden valtakunnallinen kuivausseminaari 9.–10.5.2007, Riihimäki, Abstrakti. 1 s.
- Usenius, A. & Heikkilä, A. 2007. WoodCIM® - model system for optimization activities throughout supply chain. COST E 44 Conference proceedings on Modelling the Wood Chain Forestry – Wood Industry – Wood Products Markets. September 17–19, 2007, Helsinki, Finland. S. 173–183.
- 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.
- Usenius, A. 2007. Adaptive and flexible production systems for woodworking industry. Proceedings Abstarct. IUFRO All Division 5 Conference, Oct 29 – Nov 2, 2007 – Taipei Taiwan.
- Usenius, A. 2008. Nordic Modelling and simulation as technological tools for the conservation and sustainable utilization of native forest and its biodiversity. Workshop Internacional "Conservacion Y Manejo Sustainable Del Bosque Nativo Chileno Y Su Biodiversidad. March 11, 2008 Universidad de Santiago, and March 14, 2008 Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- Usenius, A. 2008. Flexible and adaptive manufacturing systems for woodworking industries. IUFRO Working Party 5.01.04 Wood Quality Modelling. Post conference 16.6.2008. Espoo.



Tekijä(t) Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song, Jorma Frödblom & Timo Usenius		
Nimeke Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa		
Tiivistelmä Sahateollisuuden tuotteita ja tuottavuutta on mahdollista kehittää mittaustekniikan, ohjausjärjestelmien ja järjestelmien itseoppivuuden avulla. VTT kehitti SisuPUU-projektissa tuotantojärjestelmiä, joiden avulla voidaan nykyistä tehokkaammin ja joustavammin valmistaa erilaatuisesta puumateriaalista tarkasti määritellyt ominaisuudet omaavaa erikoissahatavaraa. Liittämällä tuotteisiinsa palveluja sahat palvelevat entistä paremmin puutavaran jalostajia ja lisäävät jalostusketjun tehokkuutta. VTT mallinsi SisuPUU-projektissa jalostus- ja toimitusketjun yksityiskohtaisesti metsästä sahatuotteeksi. Mallien avulla laskettiin, arvioitiin ja kehitettiin erilaisia prosessivaihtoehtoja. Mallinnus- ja simulointiohjelmistoilla voidaan kuvata puuraaka-aineen muuntuminen puunrungoista sahatavaraksi ja puukomponenteiksi taloudellisesti. Puukomponentit ovat erikoissahatavaraa, joilla on tarkasti määritellyt ominaisuudet. Puunkappale on esimerkiksi täysin oksaton tai siinä olevien oksien väli on tietyissä rajoissa. Puukomponentti on yleensä huomattavasti pienempi kuin sahatavara, jolla on myös tietyt laatuvaatimukset oksaisuuden suhteen. Projektin tulokset osoittavat, että puumateriaali ja sen laatuominaisuudet voitaisiin hyödyntää tuotannossa huomattavasti nykyistä paremmin. Lisäksi tuotteiden laatua voidaan parantaa ja valmistaa standardituotteiden asemasta erikoistuotteita. Prosesseja muuttamalla voidaan päästä nykyistä huomattavasti parempaan taloudelliseen tulokseen. Puun arvosantoa voidaan parantaa nykyaikaisten tuotantomenetelmien avulla 10–30 prosenttia. Edistyksellinen tuotantoprosessi edellyttää puun ominaisuuksien tarkkaa mittaamista esimerkiksi läpivalaisua, mittaustietojen tehokasta keräämistä ja muuntamista informaatioksi, jota voidaan käyttää liiketoiminnan ohjauksessa. Mittaustietojen perusteella voidaan varhaisessa vaiheessa ohjata puutavara sille sopivaan tuotantoprosessiin.		
ISBN 978-951-38-7640-1 (nid.) 978-951-38-7641-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 6132
Julkaisu-aika Syyskuu 2010	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 217 s.
Projektin nimi SisuPUU		Toimeksiantaja(t)
Avainsanat Sawmill process, production system, flexible, adaptive, value yield, measuring technology, modelling, simulation, optimisation		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Author(s) Arto Usenius, Antti Heikkilä, Tiecheng Song, Jorma Frödblom & Timo Usenius		
Title Flexible and adaptive production systems in sawmill industry		
Abstract <p>The products and productivity of the sawmill industry can be improved through metrology, control systems and self-learning systems. In the SisuPUU project, VTT developed production systems enabling more efficient and flexible methods of using diverse timber grades to produce special timber with specific properties. By adding services to their products, sawmills can better cater to wood processing companies and enhance the efficiency of the wood processing chain.</p> <p>In the SisuPUU project, VTT created detailed models of the wood processing and delivery chain from forest to timber. These models were used to calculate, evaluate and develop process options. Modelling and simulation software can be used to determine exactly how the wood raw material can progress from trees to timber and wooden components in the most economical way. Wooden components are special timber, i.e. timber with precisely specified properties. For example, a piece of wood used for such a purpose must be completely knotless, or have a knot incidence within specified limits. Also, wooden components are usually much smaller than pieces of timber; there are also specifications for knot incidence in ordinary timber.</p> <p>The project results show that there is scope for considerably better exploitation of the wood material and its quality properties in production. Product quality could also be improved, and special products could be manufactured instead of standard ones. Process re-engineering can yield a considerably improved financial performance. In fact, the value yield of wood could be improved by 10 to 30 per cent with modern production methods.</p> <p>An advanced production process requires careful measuring of the properties of wood, for example 'X-rays', the efficient collection of measurement data and their conversion into information that can be used for business management. Measurement data enable the allocation of incoming timber to a suitable production process at an early stage.</p>		
ISBN 978-951-38-7640-1 (soft back ed.) 978-951-38-7641-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Publications 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 6132
Date September 2010	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 217 p.
Name of project SisuPUU		Commissioned by
Keywords Sawmill process, production system, flexible, adaptive, value yield, measuring technology, modelling, simulation, optimisation		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Sahateollisuuden tuotteita ja tuottavuutta on mahdollista parantaa mittaustekniikan, materiaalivirtojen seurannan, ohjaus- ja optimointijärjestelmien sekä prosessien itseoppivuuden avulla. VTT kehitti SisuPUU-projektissa joustavia tuotantojärjestelmiä, joiden avulla voidaan nykyistä tehokkaammin ja joustavammin valmistaa puuraaka-aineesta tuotteita, esimerkiksi komponentteja, joilla on tarkasti määritellyt ominaisuudet.

Edistyksellinen tuotantoprosessi edellyttää puun sisäisten ominaisuuksien tarkkaa mittaamista, mittaustietojen systemaattista taltiointia sekä niiden muuntamista liiketoiminnan ja prosessien ohjaamisessa käytettäväksi informaatioksi. Optimointimallien laskentatuloksen perusteella puuraaka-aine voidaan ohjata sopivaan tuotantoprosessiin ja määrittää optimaaliset tuotantoparametrit, kuten tukkien lajittelutavat ja sahausasetteet.

Projektin tulokset osoittavat, että puumateriaalia ja sen laatuominaisuuksia voitaisiin hyödyntää tuotannossa huomattavasti nykyistä paremmin. Jalostusketjua – metsästä tuotteiksi – on tarkasteltava kokonaisuutena. Uusilla tuotantokonsepteilla voidaan parantaa puun arvosaantoa 10–30 prosenttia. Konseptit mahdollistavat palvelujen liittämisen tuotteisiin, jolloin sahat voivat toimia entistä asiakaslähtöisemmin ja palvella paremmin puutavaran jalostajia ja tuotteiden loppukäyttäjiä.