

SAHAHAKKEEN LAADUN OPTIMOINTI

Koskisen Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Puutekniikan koulutusohjelma
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2016

Sami Tommola

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikan koulutusohjelma

TOMMOLA, SAMI:

Sahahakkeen laadun optimointi
Koskisen Oy

Puutekniikan opinnäytetyö, 36 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö käsittelee sahakkeen laadun optimointia eri parametreja muuttamalla. Tutkimus tehtiin Koskisen Oy:lle syksyllä 2015. Työssä pyritään etsimään koeseulontojen avulla, miten hakkeelle saadaan paras mahdollinen laatuarvo ja tätä kautta paras mahdollinen hinta.

Koeseulonnat tehtiin marras- ja joulukuussa 2015 Järvelän sahateollisuuden liiketoimintayksikössä. Seulontoja on tehty 94 kappaletta 13:sta eri sahausasetteesta.

Työn alussa kerrotaan hieman Koskisen Oy:stä työllistäjänä ja yrityksen eri toimipisteitä sekä tuotteista. Lisäksi perehdytään yleisellä tasolla sahatavaratuotannon historiaan ja sahan toimintaan. Tutkimusosassa kerrotaan itse ongelmasta eli hakkeen tasaisuuden hajonnasta. Kokeellisessa osassa kerrotaan mitä on tehty.

Työn lopussa käydään läpi tutkimustuloksia ja havainnollistetaan niitä eri diagrammien avulla. Lisäksi pyritään löytämään parannuskohteita hakkeen tasaisuuden edistämiseksi.

Asiasanat: hake, laatuarvo, sahaus, selluloosa,

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Wood Technology

TOMMOLA, SAMI:

Optimizing wood chip
quality, Koskisen Oy

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 36 pages, 4 appendices

Spring 2016

ABSTRACT

The topic of this thesis is optimizing wood chip by adjusting different parameters. The research project was carried out at Koskisen Oy sawmill in the autumn of 2015. The aim was to conduct test sieving in order to determine how the best possible quality value and price can be achieved for wood chip.

The test sieving was conducted in November and December 2015 at the Koskisen Järvelä sawmill. There were 94 sievings and 13 different sawing patterns.

At the beginning of the work, a little is explained about Koskisen Oy as an employer, various locations of the company, as well as the products. In addition, the history and operation of sawn timber production are described on a general level. In the research part of the thesis, the problem itself is described, which is the variation of the chip homogeneity. The experimental section describes how the experiments were conducted.

At the end of the work the research results are explained and illustrated with different diagrams. The thesis also suggests some areas for improvement to promote homogeneity of the chip.

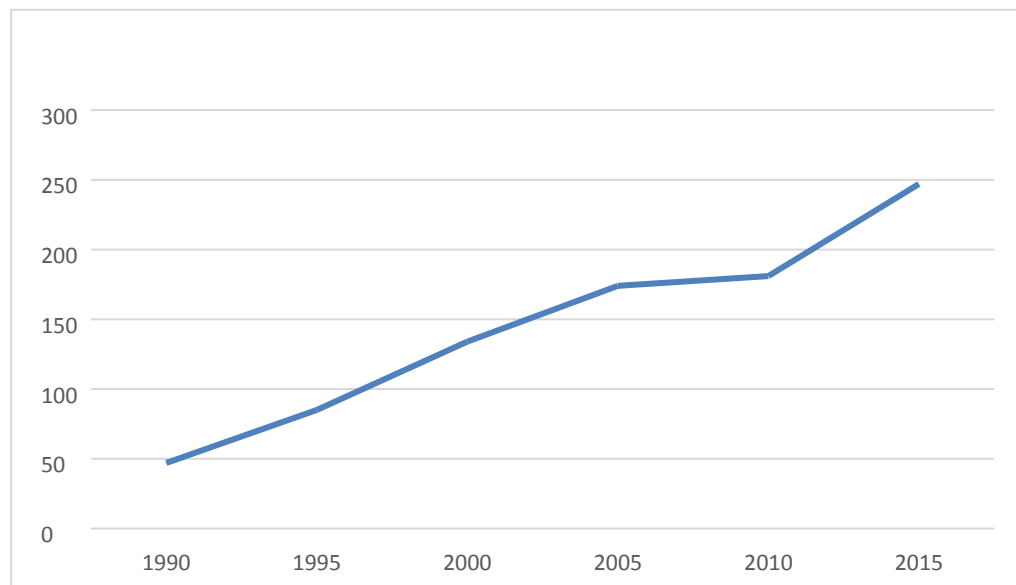
Key words: wood chip, quality value, sawing, cellulose

SISÄLLYS	
1 JOHDANTO	5
2 SAHATAVARATUOTANNON HISTORIA	7
3 RAAKA-AINE YLEISESTI JA SIITÄ SAATAVAT TUOTTEET	7
3.1 Päätuotteet	8
3.2 Sivutuotteet ja niiden taloudellinen merkitys	9
3.2.1 Hake	10
3.2.2 Puru	10
3.2.3 Kuori	11
4 TUKISTA SAHATAVARAKSI	12
4.1 Tukkien varastointi ja lajittelu	12
4.2 Kuorinta ja mittaus	12
4.3 Sahaustavat ja erikoissahaustavat	13
4.4 Pelkkahakkuri ja terägeometria	15
4.5 Särmäys	16
4.6 Kuivausmenetelmät	17
5 SAHAHAKKEEN LAATUVAATIMUKSET JA LAADUN MITTAAMINEN	18
6 HAKKEEN SEULONTATAVAT JA VARASTOINTI	20
6.1 Tasoseula	20
6.2 Hakkeen varastointi	21
7 HAKKEEN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	22
7.1 Raaka-aine	22
7.2 Laitteiden kunto ja kunnossapito	22
7.3 Sahaustapa	23
8 TULOKSET	23
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA VIRHEARVIO TULOSTEN LUOTETTAVUUDESTA	30
10 LÄHTEET	33
LIITTEET	34

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on laatia ”käsikirja”, jonka avulla pyritään löytämään eri tukkiluokille ja sahausaseteille optimaaliset palapituudet ja sahausnopeudet hakkeen laatuarvon nostamiseksi. Työn aihe on saatu Koskisen Oy:ltä, kotimaiselta metsäteollisuuden perheyrietykseltä, jolla on ollut toimintaa jo vuodesta 1909. Yritys työllistää noin 1000 ihmistä pääosin Suomessa Vierumäellä, Kärkölässä ja Hirvassalmella. Sillä on myös myyntikonttoreita monissa muissa maissa ja muun muassa CNC työstöyksikkö Puolassa ja sahaustoimintaa Venäjällä.

Koskisen liiketoimintayksiköt ovat vaneriteollisuus, sahateollisuus, puunhankinta ja bioenergia, lastulevyteollisuus, taloteollisuus sekä koivuteollisuus. Vaneri- ja sahateollisuus muodostavat suurimmat yksiköt ja niiden osuus liikevaihdosta on noin 33 % /liiketoimintayksikkö. Koskisen Oy:n valmistamia tuotteita ovat seinäelementti- ja kattoratkaisut, vaneri-, lastulevy- ja koivutuotteet sekä sahatavara ja siitä saatavat jalosteet.



Kuvio 1. Liikevaihdon kehitys Koskinen Oy (Koskisen 2015)

Koskisen Konsernin liikevaihto 2015 oli noin 247 miljoonaa euroa.

Yrityksen puunoston ja energiapuun myynnistä vastaa emoyhtiö Koskitukki Oy. (Koskisen 2015.)

Myytävän hakkeen tulisi olla mahdollisimman tasalaatuista ongelmien välttämiseksi jatkokäsittelyssä. Tasalaatuisesta hakkeesta maksetaan myös parempi hinta, joten sen tutkiminen on keskeistä menestyvän sahan toiminnassa. Tarkasteltavina tukkeina testeissä toimivat kuusi- ja mäntytukit.

Koeseulonnat on suoritettu mahdollisimman laajalti eri tukkiluokille ja sahausaseteille. Keskeisiä muutettavia parametreja testauksissa ovat sahausnopeus, tukin halkaisija, hakkeen palapituus, ensimmäisen ja toisen vaiheen lautojen määrä, lämpötila sekä eri puulajit, jotka olivat mänty ja kuusi.

2 SAHATAVARATUOTANNON HISTORIA

Ensimmäisten höyrysahojen kehittäminen alkoi 1800-luvun alkupuolella Englannissa. Sahojen luvallinen rakentaminen alkoi Suomessa 1857. Vuonna 1878 suurin sahojen keskittymä sijaitsi Kotkassa, jossa sijaitsi Suomessa olevista 66 höyrysahasta yhdeksän. (Sipi 2006, 10.)

Höyrysahat pyörivät nimensä mukaisesti höyryllä, joka saatiin voimalaitoksista. Niissä syöttäminen tapahtui jaksoittain. Vuonna 1905 alettiin valmistaa kehäsahoja Karhulassa, jotka toimivat jatkuvasyöttöisesti.

1920-luvulla alkoi sähkösahojen aseman vakiintuminen ja yleisimpänä sahaustapana toimi läpisahaus. 1920-luvulta tultaessa 2000-luvulle on sahateollisuudessa kehittynyt huomasti muun muassa terät ja terien huolto, raaka-aineista saatava hyötysuhde ja tavaran kiertonopeus. 1960-luvulla arvioidaan Suomessa olleen noin 14 000 sahaa. Määrä on laskenut huomasti, ja 1990-luvun lopulla sahojen määrä oli enää noin 2500. (Sipi 2006, 11–12.)

2000-luvulla sahalaite toimii melko automaattisesti. Esimerkiksi sahaus ja kuivaus on pitkälti automatisoitu. Nykyään voidaan toimittaa paremmin asiakkaiden toivomia erityisvaatimuksia ja puun kuivauksesta on kehitetty hallittavampaa. Myös kuivauksen laatu on parantunut. (Sipi 2006, 11–12.)

3 RAAKA-AINE YLEISESTI JA SIITÄ SAATAVAT TUOTTEET

Puu koostuu kolmesta eri rakennusaineesta, jotka ovat ligniini, selluloosat ja hemiselluloosat. Lisäksi siinä on myös muita epäorgaanisia yhdisteitä, hiilihydraatteja ja uuteaineita. (Jääskeläinen 2007, 65.)

Puun kosteuden vaihteluiden suurin syy on vallitseva vuodenaika. Kesällä havupuiden tuoretiheys on pienimmillään ja talvella suurimmillaan.

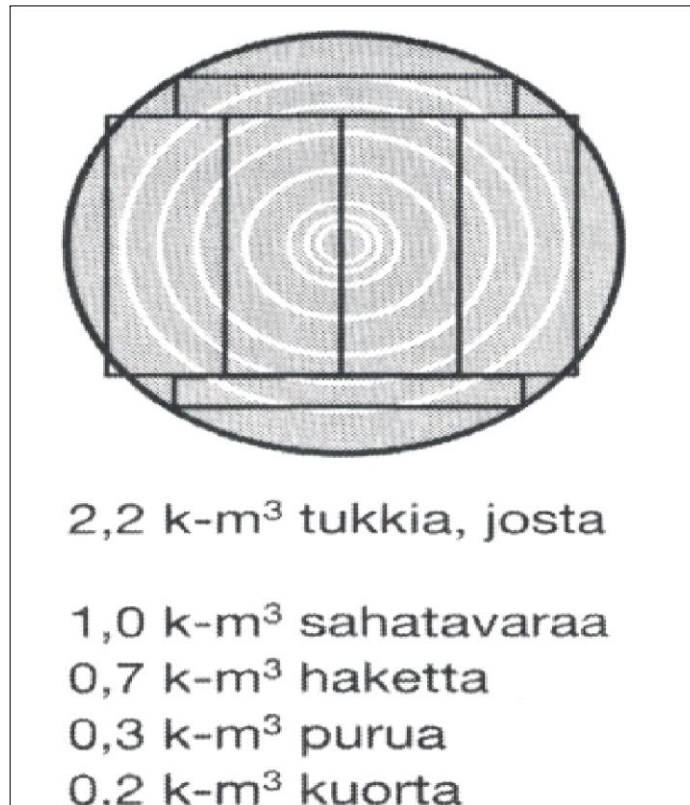
Kuoressa tuoretiheys on päinvastoin, eli kesällä suurimmillaan ja talvella pienimmillään. (Kärkkäinen 2007, 169.)

Mäntyä ja kuusta vertailtaessa voidaan huomata, että männyllä lujuusominaisuudet ovat kuusta parempia. Myös tiheys on männyllä korkeampi kuin kuusella. Tästä syystä kuusesta saadaan parempaa hakelaatua. Vertaillessa esimerkiksi männyn kevät- ja kesäpuunominaisuuksia huomataan, että niiden tiheyksissä on suuria eroja. Kevätpuun tiheys männyssä on noin 300- 370 kg/m³ ja kesäpuun tiheys noin 810- 920 kg/m³. Puun tiheys vaikuttaa merkittävästi myös hakkeen laatuun.

Esimerkiksi kuusiviilujen valmistuksesta jäävä purilas on laatuarvoltaan testien mukaan huonompaa kuin muu hake juuri siitä syystä, että purilas on kesäpuuta ja yleensä haketettava hake on kevätpuuta. (Sipi 2006, 24-25.)

3.1 Päätuotteet

Päätuotteilla tarkoitetaan sahateollisuudessa normaalisti tukista saatavia erikokoisia lautoja ja lankkuja. Kuorellisesta tukista saatavaa valmista sahatavaraa kutsutaan käyttösuhteeksi, joka on sahateollisuudessa yleensä noin 2,2k-m³/m³. (Kuvio 2).



Kuvio 2. Sahauksessa syntyvät tuotteet (Sipi 2006, 26)

Käyttösuhteeseen vaikuttaa erilaiset asiat kuten sahalaitoksen koko, raaka-aineen laatu ja koko sekä tekninen taso. Pienillä sahoilla käyttösuhde on yleensä parempi, koska niillä etusijalla on tehokas sahaaminen. Suurilla sahoilla hakkeen määrä on taas isompi, koska pyritään mahdollisimman hyvään sahaustehokkuuteen. (Sipi 2006, 24-25)

3.2 Sivutuotteet ja niiden taloudellinen merkitys

Raaka-aineesta saatavat sivutuotteet ovat sahatavaran valmistuksessa yleensä noin 50 - 55 %, hakkeen osuus noin 28 - 32 %, kuoren osuus noin 10 - 12 % ja purun 10 - 15 %. (Sipi 2006, 25-26)

Sivutuotteet käsittävät noin 15 % sahan myyntituotosta, vaikka niiden osuus valmistuksessa on jopa puolet. Hakkeen osuus myyntituotoista on noin 13 %, ja ilman siitä saatavia tuottoja sahaus ei kannattaisi. Loput 2 % myyntituotoista on purua. (Sipi 2006, 198.)

3.2.1 Hake

Hakkeen osuus sahatavaran valmistuksessa on noin 30 %. Sahahakkeen suurin käyttäjä on puumassateollisuus, jonka osuus on noin 90 %. Loput 10 % hakkeesta menee kuitulevy- ja lastulevyteollisuuteen.

Hake voidaan jakaa kuiva- ja märkähakkeeseen. Kuivahaketta saadaan sahatavarasta, joka kuivauksen jälkeen haketetaan: esimerkiksi risat kappaleet tai tasaamossa katkaistavat pätkät. Hakkeen kuivapaino on noin 145-170kg/m³. Hakkeen märkäpaino riippuu puun kosteudesta. Märkää haketta saadaan sahauksessa sekä käytettäessä pelkkahakkureita ja profiloitinkursoja. (Sipi 2006, 193)

3.2.2 Puru

Aiemmin purua hyöty käytettiin talonrakennuksessa eristeenä, mutta nykyään sahauksessa syntyvä puru hyödynnetään levyteollisuudessa, energiatuotannossa ja puumassateollisuudessa. Purun kuivapaino on noin 136-153kg/m³. (Sipi 2006, 193) Suurin purun määrän vaikuttava seikka on sahauksessa käytettävien terien paksuus (Usenius 2010, 122). (TAULUKKO 3).



Kuvio 3. Myyntituottojen menetys sahausraon funktiona (Usenius 2010, 123)

Purun laatuun vaikuttavat monet eri seikat terien paksuuden lisäksi. Kuiva puru on hienompaa kuin märkä puru ja talvella tuotettu puru on hienompaa kuin kesällä tuotettu. Tämä johtuu siis pitkälti eri vuodenaajoista ja sitä kautta vallitsevasta puun kosteusprosentista. Sahauksessa käytettävät sahakoneetkin vaikuttavat laatuun. Vannesahan puru on pienempää kuin kehäsahan ja katkaisusahojen puru hienompaa kuin sahakoneen. (Sipi 2006, 198.)

3.2.3 Kuori

Kuoren polttaminen sahalaitoksella tuottaa lämpöenergiaa, jota voidaan käyttää esimerkiksi kuivaamon toimintaan tai tilojen lämmittämiseen, koska siitä saatava arvo on myytäessä melko pientä.

Olennaista kuoren polttamisessa on sen kosteusprosentti, joka riippuu tukkien varastointi- ja kuljetustavasta. Kuoren kuiva-ainepitoisuuden laskiessa alle 35 % on kuoren polttaminen kannattamatonta.

Kuivaainepitoisuuden mennessä alle 28 % ei hyötylämpöä synny enää lainkaan. Kuoren polttoarvo nouseekin erittäin paljon aina 60 - 70 % asti mentäessä.

(Sipi 2006, 199.)

Yleensä kuoren siirtely sahalaitoksella on vähäistä, koska polttolaitos sijaitsee lähellä sahaa. Nykyään kuorta joudutaan enää harvoin kuivaamaan, koska tukkien uittaminen ja vesivarastointi on vähentynyt lähes kokonaan. (Sipi 2006, 196.)

4 TUKISTA SAHATAVARAKSI

4.1 Tukkien varastointi ja lajittelu

Tukit saapuvat sahalle valmiiksi karsittuna ja katkottuna, mikä tapahtuu nykyään lähinnä hakkuukoneella. Tukit varastoidaan veteen tai maalle. (Kuikka 1993, 48.)

Metsien kehitykseen vaikuttaa suuresti tukkien pitkä varastointi tehdasalueella tai metsän läheisyydessä. Tämä johtuu siitä, että tuholaishyönteiset lisääntyvät hyvin tuoreessa puutavarassa. Suurin metsiemme tuhoja aiheuttava hyönteinen on ytimennävertäjä. (Määttänen 1999, 173.)

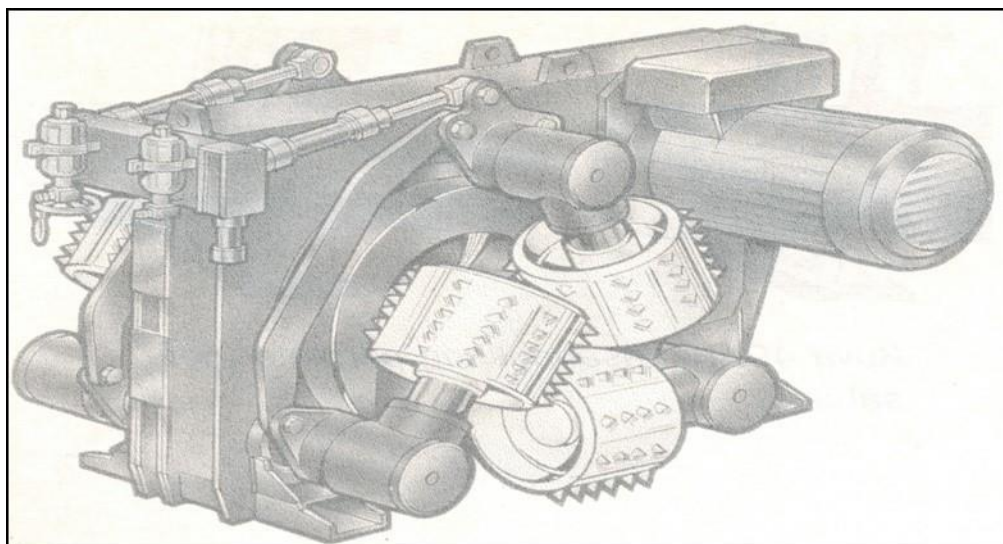
Tukit lajitellaan joko ennen kuorintaa tai kuorinnan jälkeen tukkilokeroihin halkaisijan mukaan. Kuorinnan jälkeinen lajittelu on parempi, koska tällä tavoin nopeutetaan sahausprosessia, asetteiden määrä pienenee ja tukista saadaan sahattua enemmän valmista sahatavaraa. Tukkiluokan määrittää pääasiassa luokan pienin latvaläpimitta, mikä ratkaisee sydäntavarakoon saatavasta tukista. (Sipi 2006, 56-57.)

Tukkien säilöminen vedessä helpottaa sahausta erityisesti talvisin, mutta ylläpito on kallista. Vesivarastoinnista on luovuttu lähes kokonaan myös ympäristöhaittojen takia, koska tämän takia vedet likaantuvat. Hakkeen laadun kannalta vesivarastointi olisi suositeltavaa, koska sulasta puusta saadaan parempaa haketta. Tukkien tehokas kastelu kesällä on oleellista puun pilaantumisen ehkäisemiseksi. Purun ja tikkuhakkeen määrä kasvaa jos raaka-aine on pilaantunut. Puuaineen pilaantumista aiheuttavat yleensä hyönteiset ja muun muassa bakteerit. (Sipi 2006, 51.)

4.2 Kuorinta ja mittaus

Ennen lajittelua tehtävä kuorinta edesauttaa tukkien lajittelua, koska tällöin lajittelu on tarkempaa. Tosin kuorittujen tukkien varastointi on

hankalampaa. Tukkien kuorinta suoritetaan reikämoottoreilla, (Kuvio 4) joiden läpi tukki kulkee. Koneessa on normaalisti 3-6 terää, jotka pyörivät tukin ympäri poistaen kuoren. (Kuikka 1993, 50-51.)



Kuvio 4. Reikäroottorikuorimakone (Kuikka 1993, 51)

4.3 Sahaustavat ja erikoissahaustavat

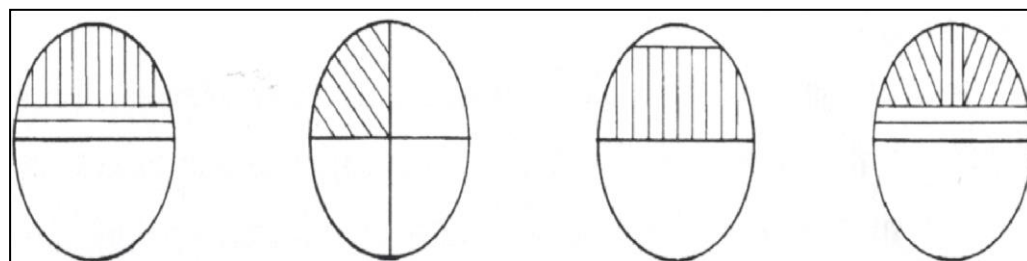
Tukit sahataan yleensä latva edellä. Tätä varten osa tukeista on käännettävä ennen sahauksen tapahtumista. Tämä onnistuu tukkien kääntäjällä, joka kääntää tukin joko tyvipään suuremman painon perusteella tai mekaaniselta tunnustelijalta saadun impulssin perusteella. (Sipi 2006, 65.)

Tukkeja voidaan sahata monella eri tavalla haluttu käyttökohde huomioon ottaen. Yksi yleisimmistä sahaustavoista on läpisahaus. Muita sahaustapoja ovat muun muassa nelisahaus, aihiosahaus ja erikoissahaus. Läpisahauksessa tukki sahataan vain yhdessä vaiheessa laudoiksi ja lankuiksi, minkä jälkeen sahatavarasta särmätään pinnat pois ja näin määritetään leveys. Sahaustapaa käytetään pääasiassa pieniä tukkeja sahattaessa ja pienissä sahalaitoksissa. (Sipi 2006, 70-71.)

Nelisahaus on yleisempi ja saannollisesti parempi sahaustapa kuin läpisahaus. Siinä sahataan ensin tukista pelkka pois molemmin puolin, minkä jälkeen tukki käännetään 90 aasetta ja sahataan uudestaan halutuiksi sahatavaroiksi. Sahatun pelkan paksuus on sama kuin keskitavaran leveys. Tämän etuna on, että keskitavara on kerralla valmis eikä sitä tarvitse särmätä. Tämän jälkeen särmätään pinnat pois sivusta saatavista laudoista. (Usenius 2010, 111.)

Aihiosahauksessa sahataan ja kuivataan tukki suoraan asiakkaan haluttuun laatuun ja kosteusprosenttiin. Aihiosahauksen etuna on, että varastojen osuus on pieni, koska kaikki sahattu puutavara on jo myyty. Tällaisen sahan suurimmat asiakkaat ovat: huonekalu-, ovi- ja ikkunateollisuus. (Sipi 2006, 72.)

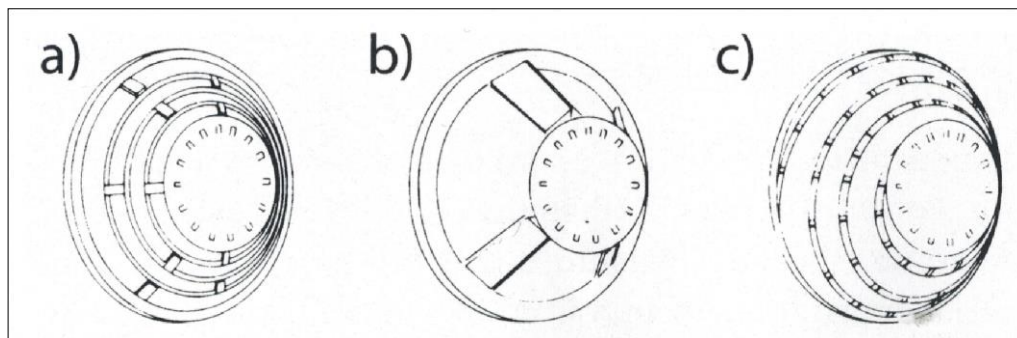
Erikoissahaaminen on pääosin Suomessa vähäistä, mutta yleistä Keksi-Euroopassa. (Kuvio 5)Siinä sahatavaralle halutaan joitain erikoisominaisuuksia esimerkiksi: kosteuselämisen vähentäminen, joka onnistuu säteen suuntaisella sahaamisella. Vuosilustojen kohtisuoraan vastaan sahauksella pyritään vaikuttamaan ulkonäöllisiin seikkoihin. Erikoissahaustavat lisäävät purun määrää hakkeessa ja näin alentavat hakkeen laatua. (Sipi 2006, 73.)



Kuvio 5. Erikoissahaustavat (Sipi 2006, 73)

4.4 Pelkkahakkuri ja terägeometria

Pelkkahakkurin tarkoitus on hakettaa tukin kaksi sivua niin, että ylimääräinen osa (pinnat) hakettuu saman tien ja jäljelle jäävästä tukista voidaan suoraan sahata valmista sahatavaraa. (Kuikka 1993, 54-55.)



Kuvio 6. Pelkkähakkurin terämalleja (Sipi 2006, 86)

Yllä olevassa kuvassa on esitetty kolme haketusterämallia. Ensimmäinen (a) on porraslevy, jossa on 3, 4 tai 6 terää kussakin portaassa. Portaita tässä on 4 tai 5. Suuri syöttönopeus on tämän terämallin etuna. Toisen hakkurimallin (b) nimi on pelkkalevy. Sen etuna on nopea terien vaihto, joka on mahdollista terien alhaisen määrän johdosta (1-6 kappaletta). Kahdessa ensimmäisessä terämallissa haketetaan hake poikittain syysuuntaan nähden. Kolmas hakkurimalli (c) on spiraalihakkuri, jossa terät ovat kolmessa spiraalin muotoisessa rivissä. Tässä haketusmallissa haketetaan hake yhdensuuntaisesti syysuunnan mukaan. Terien vaihto on hidasta, koska teriä on suuri määrä. Paras hakkeen laatu saadaan kolmannella hakkurimallilla, koska siinä hake haketetaan halutun paksuiseksi sekä pituiseksi, joten hakkeen pituus on vakio. Porras- ja pelkkalevyhakkureissa hakepalanen lohkeaa vapaasti, koska haketetaan poikittain syysuuntiin nähden. Tämän takia hakkeen pituus ei ole vakio. (Sipi 2006, 86.)

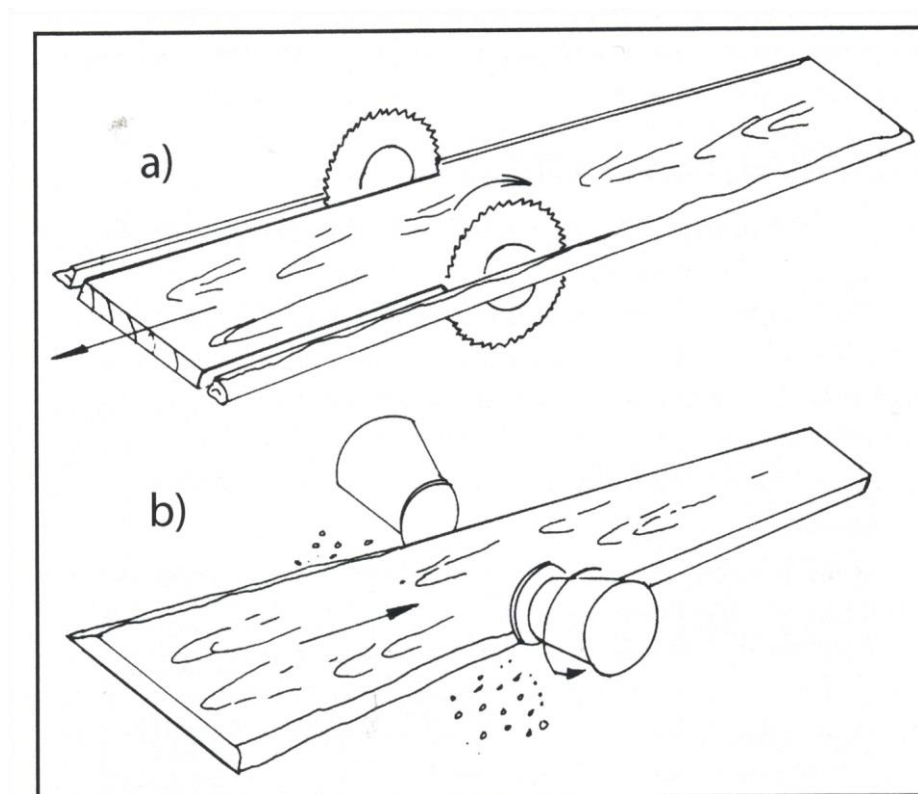
Hakkureissa käytetään usein pyöröteriä sahauspinnan laadun parantamiseksi. Tämä lisää purun määrää oleellisesti, koska ne tekevät haketusta ennen sahausraon. Hakkeen laatu on parempaa jos hakkureissa käytetään silotusteriä eikä pyöröterillä. Tosin pinnan laatu on huonompi. (Sipi 2006, 86.)

4.5 Särmäys

Särmäys voidaan suorittaa automaattisärmäyksenä, käsinsärmäyksenä tai puoliautomaattisärmäyksenä. Särmäyksen tavoitteena on saada poistettua sahatusta tukista saaduista sivulaudoista tai lankuista ylimääräinen osa eli vajaasärmä pois. Vajaasärmä haketetaan hakkeeksi ja valmiista sahatavarasta saadaan paras mahdollinen hinta. (Kuikka 1993, 57- 58.)

Puoliautomaattisessa särmäyksessä särmättävien kappaleiden leveydet määritellään painonapein. Syöttö ja suuntaus tapahtuvat mekaanisesti. Käsinsärmäyksessä särmättävän kappaleen esisyöttö tapahtuu käsin, mutta varsinainen syöttö koneellisesti. Apuna käytetään valo- tai varjolaitetta, jotta saadaan laudalle haluttu leveys. Nykyaikaisessa sahalaitoksessa käytetään automaattisärmäystä, jossa käytetään apuna matriisikameroita. Aihio menee mittauslaitteiston lävitse ja tietokoneeseen voidaan syöttää erilaatuisten ja kokoisten sahatavaroiden hinta tietoa. Tällä tavoin sahatavarasta saadaan maksimaalinen hyöty. (Kuikka 1993, 57-58.)

Automaattisessa särmäyksessä aihio ensin mitataan ja kone laskee miten siitä saadaan paras mahdollinen hinta laatusuhde. Kone mittaa myös oksien koot ja laadut sekä muut virheet aihiossa. Lautojen reunat voidaan särmätä joko särmäyskursolla tai särmäyssahalla. Kurson etuna on hakkeen hakettuminen saman tien. Särmäyssahaa käytettäessä syntyy purua ja rimoja lautoja särmättäessä. Syntyvät rimat tulee hakettaa muulla hakkurilla. (Sipi 2006, 89-91.)



Kuvio 7. Särmäyskoneet (Sipi 2006, 89)

4.6 Kuivausmenetelmät

Sahatavaran kuivaamiseen voidaan käyttää monia eri menetelmiä riippuen halutusta kosteusprosentista tai ajasta joka kuivaamiseen halutaan käyttää. Kuivumiseen vaikuttaa monet eri tekijät, kuten puun tilavuus, paino, paksuus, puulaji, lämpö ja tuuli. Ennen sahatavaran kuivaamiseen käytettiin pelkästään lautatavarakuivausta, mutta nykyaikaisia kuivaustapoja ovat muun muassa kamari-, -kanava- ja alipainekuivaus.

Kamarikuivaamolla tarkoitetaan vain yhtä kammiota, johon märkä sahatavara siirretään yleensä trukin avulla ja jossa kuivausolosuhteet muuttuvat kuivauksen edetessä. Tämä kuivaustapa on huomattavasti kalliimpi kuin kanavakuivaamo, joka on sahatavaran kuivauksessa hyvin yleinen. Kanavakuivaamossa kuorma syötetään toisesta päästä ja kuivattu

sahatavara otetaan valmiina toisesta päästä kuivaamoa.

Kuivausolosuhteet muuttuvat toisesta päästä toiseen päähän.

Kuivaustavan etuna on helppohoitoisuus, pieni investointi ja vähäinen energiankulutus. (Isomäki 2002, 57- 58.)

Alipaine kuivaus muistuttaa kuumakuivausta. Siinä kuivaus tapahtuu teräksestä tehdyssä kammiossa, jossa kiehumispisteen yläpuolella kuivataan vesi puusta pois alipaineen avulla. Sen etuna ovat vähäiset kuivausvirheet ja lyhyt kuivausaika. (Isomäki 2002, 62- 63.)

5 SAHAHAKKEEN LAATUVAATIMUKSET JA LAADUN MITTAAMINEN

Sahahake on sahauksen sivutuote, jota käytetään paperin ja kartongin valmistamiseen. Suositeltava hakepaksuus on noin 4-7mm. Sahahake seulotaan pääasiassa jo sahalaitoksella ennen sen viemistä sellun valmistukseen. (Seppälä 1999, 30- 31.)

Mitä ohuempi reunakaistan osuus on hakettaessa, sitä huonompaa on hakkeen laatu. Tämä johtuu siitä, että hakettaessa täysimittaista haketta, ei sitä saada reunan ohuuden takia. Täysimittaista haketta saataisiin enemmän ja tätä kautta parempaa haketta, jos sahatavaraa ei sahattaisi niin tarkasti. Toisaalta tämä laskisi tukista saatavaa saantoa ja siitä saatavaa hintaa. (Sipi 2006, 198.)

Kuori on yleisin hakkeessa oleva epäpuhtaus. Sahahakkeen käyttäjän kannalta hyvä hake on toivottua pituutta ja hake on tasaista laatua. Hakkeen lastupituus tehtaiden vaihtelevuuden mukaan on 12 mm:stä 30 mm:iin. (Heikinheimo 1964, 232-233.)

TAULUKKO 1. Sahahakkeen hankintaohje (Stora Enso 2004, 5)

palakoko	Ø 45 mm lokeron osuus	8 mm rako lokeron osuus	Ø 7 mm lokeron osuus	Ø 3 mm lokeron osuus	purun osuus
hakkeen osuus	3 %	20 %	35 %	8 %	3 %

Hakkeesta maksettava hinta vaihtelee sen laadun, määrän ja eri yritysten mukaan. Sen määrää mitataan yleisesti kuiva-ainetonneina. Hake ei saa sisältää kiviä, hiekkaa, muovia eikä muita epäpuhtauksia tai vieraita esineitä. Jos hake sisältää edellä mainittuja asioita, siitä maksettava hinta on sama kuin polttihakkeesta maksettava hinta. Hakkeiden seulonnalla pyritään selvittämään sen palakoko. Seulonta suoritetaan koeseulalla standardin SCAN-CM 40:94 mukaan, jolla pyritään selvittämään hakkeen palajakauma. Palajakauma määrää siitä maksettavana hinnan (TAULUKKO 1).

Hakkeen paksuuden pitää olla <8 mm ja pituuden 7-45 mm. Hakkeelle on määrätty perusmäärä ja hintakertoimet sen mukaan, mitä hakkeen koko on. Koeseulonnat suoritetaan standardin SCAM-CM 41:94 ja kuiva-aine pitoisuus standardin SCAN-CM 39:94 mukaan.

Sahahakkeesta maksetaan vain polttihakkeen hinta jos kuoren osuus ylittää yli 3 % kuivapainosta. Samoin jos jonkin hakkeen osuus ylittää sallitun ohjearvon. 13 mm reikälevylle jäävää haketta saa olla testeissä paljon, sillä se on haluttu palakoko. Kuoripitoisuuden selvittämisen avuksi käytetään standardia SCAN-CM 42:95. Kuoren osuus saisi olla korkeintaan 1 % koko painosta.

Ongelma ylisuurten yli 45 mm olevien hakepalojen kanssa on niiden huono kuituuntuminen sellunkeitossa. Ne myös kasvattavat energian tarvetta kuidutuksen suhteen kun valmistetaan hierremassaa. Jos hake sisältää yli 5 % tikkuhaketta, joka on 3-7 mm tai yli 5 % ylipaksua >8 mm haketta, alentavat niiden määrät kokonaishakkeesta maksettavaa hintaa merkittävästi.

TAULUKKO 2. Sahahakkeen hankintaohje (Stora Enso 2004, 5)

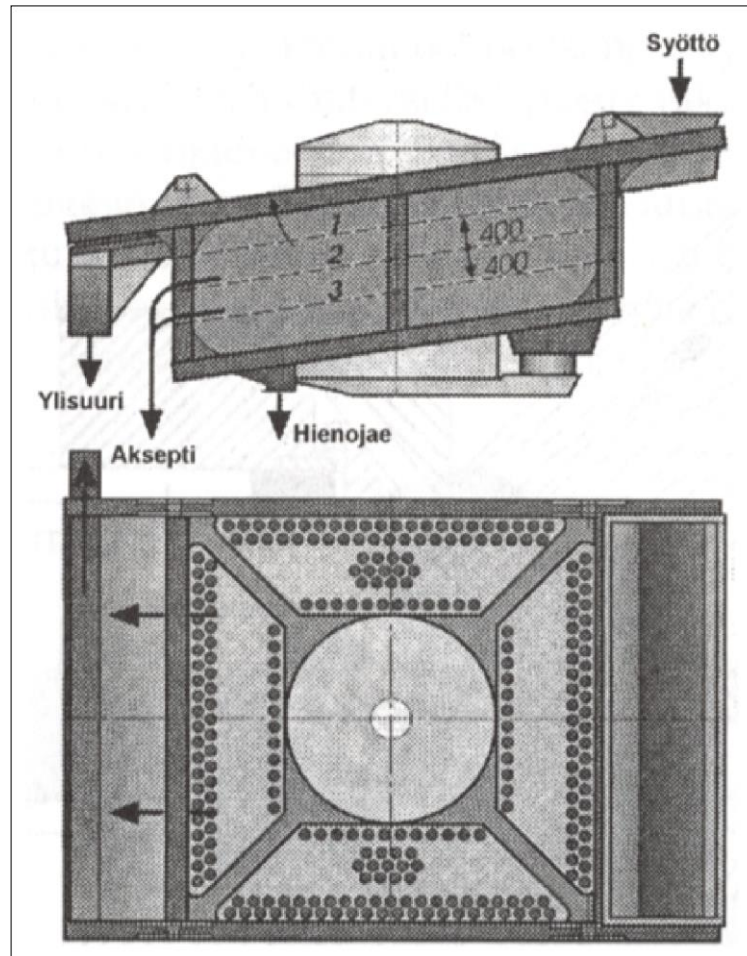
hakkeen koko (mm)	peruspitoisuus (%)	muutos, p on hakkeen pitoisuus
Ø 45 mm lokeron osuus	0,0 %	- p %
8 mm rako lokeron osuus	10,0 %	(10,0 - p) × 0,4 %
Ø 7 mm lokeron osuus	22,0 %	(22,0 - p) × 0,6 %
Ø 3 mm lokeron osuus	3,0 %	(3,0 - p) × 1,0 %
purun osuus	0,0 %	(x - p) × 1,5 %

Sahahakkeen laatua valvotaan koeseulontojen avulla. Suhteellinen perusarvo hakkeelle on 100 % ja siitä maksettava hinta voi joko laskea tai nousta (TAULUKKO 2.) sen mukaan miten se poikkeaa perusarvosta seuraavan taulukon mukaisesti. (Sipi 2006 196–197.)

6 HAKKEEN SEULONTATAVAT JA VARASTOINTI

6.1 Tasoseula

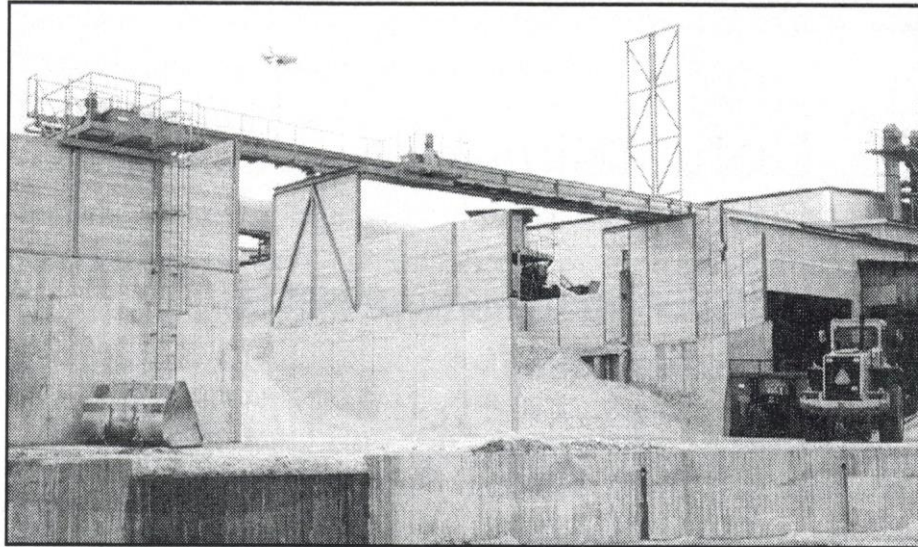
Yleisin hakkeen seulontaan käytettävä seula on tasoseula (Kuvio 8). Siinä seula pyörii ympyräliikettä vaakatasossa, josta hyväksytty jae ja puru menevät läpi reikälevyjen läpi. Ylimmälle reikälevylle jäävä hake menee uudelleen haketettavaksi ja palautuu takaisin seulaan. (Seppälä 1999, 34.)



Kuvio 8. Tasoseula (Seppälä 1999, 34)

6.2 Hakkeen varastointi

Sahahake varastoidaan yleensä sahoilla maakasoihin tai siiloihin (Kuvio 9). Kuljetus tapahtuu pääosin autoilla. Rautatiekuljetuksia käytetään myös jos kuljetettava matka on pitkä. (Sipi 2006, 196.)



Kuvio 9. Hakkeen varastointi maakasoihin (Sipi 2006, 195)

7 HAKKEEN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

7.1 Raaka-aine

Hakkeen laatu paranee mitä kosteampaa puu on, joten tukkien vesivarastointi on suositeltavaa. Tämä tosin pätee vain sulaan puuhun, jäätyneellä puulla tulos on toisinpäin. Vuodenajoilla on myös suuri merkitys hakkeen laatuun. Kuusesta saadaan samoilla teräasetuksilla pidempää ja tasaisempaa haketta, koska kuusi on mäntyä pehmeämpää. Hakkeen laatuun vaikuttaa myös paljon tukkien laatu, esimerkiksi oksaisen tukin haketuksessa hakepalat halkeilevat määräämättömästi ja liian paksun hakkeen määrä kasvaa. Purun ja tikkuhakkeen määrä kasvaa, jos haketetaan pilaantuneita tukkeja.

7.2 Laitteiden kunto ja kunnossapito

Terien kunto ja erityisesti tylsillä terillä sahaaminen vaikuttaa hakkeen ohenemiseen ja purun ja tikkuhakkeen määrän kasvamiseen. Säännöllinen huolto ja puhtaanapito edesauttavat myös hakkeen laatua.

7.3 Sahaustapa

Sahauksessa hakkeen laatuun vaikuttaa terien leikkuunopeus, palapituudet, tukkien syöttönopeus ja teräpäähän pyörimisnopeus. Hienojakeen osuus kasvaa jos nostetaan leikkausnopeutta. Tämä korostuu haketettaessa jäätynyttä puuta. (Sipi 2006, 198.)

8 TULOKSET

Hakekokeet on jaettu neljään eri tukkiluokkaan tukin halkaisijan mukaan (TAULUKKO 3). Tutkimustuloksia tarkastellaan laatuarvon muutoksia silmälläpitäen vaihtamalla eri muuttujia. Eri muuttujat tutkimuksissa ovat: tukin halkaisijan koko, palapituus, lämpötila, ensimmäisen ja toisen vaiheen lautojen määrä, sahausnopeus ja männyn sekä kuusen vastakkainasettelu. On myös huomioitava, että osa koeseulonnoista otettiin ensimmäisen pelkkahakkurin jälkeen ja osa vasta seulan jälkeen. Myös niiden vaikutusta vertaillaan keskenään.

TAULUKKO 3. TUKKIEN NUMEROIMINEN HALKAISIJAN MUKAAN

luokkanumero	halkaisija (mm)
1	<180
2	181–219
3	220–300
4	>300

TAULUKKO 4. PALAPITUUKSIEN NUMEROINTI

	1	2	3	4	5	6	7	8
Ryhmänro								
seulan jälkeen	23/24	24/25	26/27	28/29	29/30	30/31	31/32	

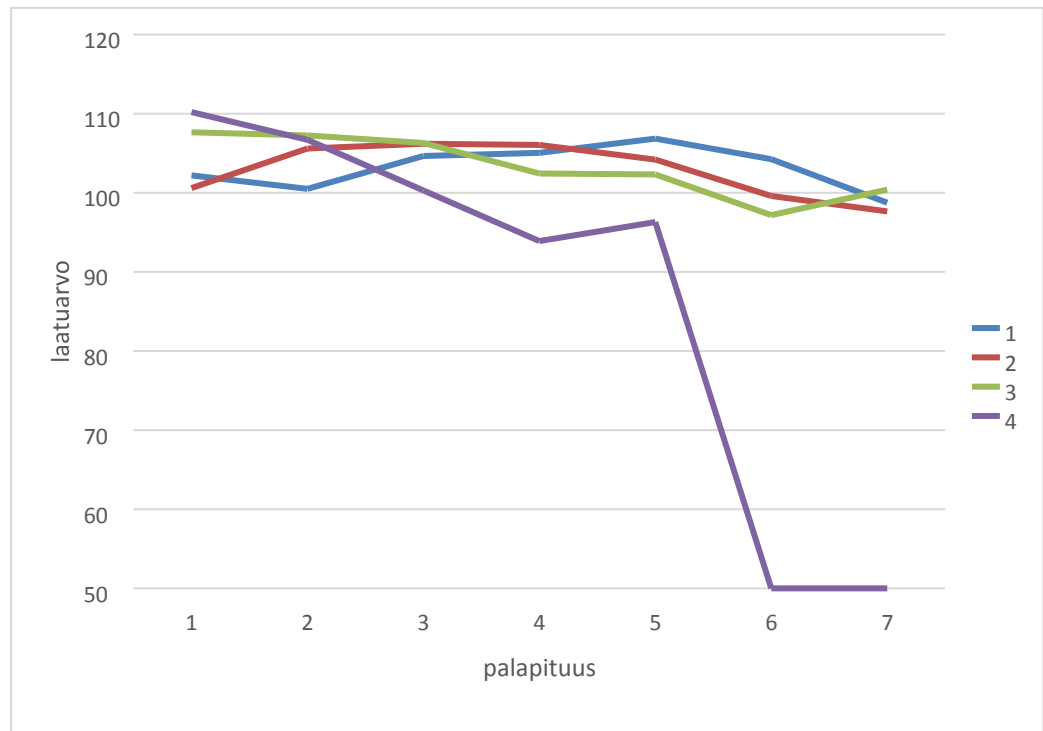
hakkurin 1 jälkeen	23	24	25	26	27	28	29	30
---------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----

Eri palapituudet on numeroitu taulukoiden lukemisen helpottamiseksi (TAULUKKO 4). Seulan jälkeiset palapituudet ovat kaksi eri lukemaa, joista toinen kuvastaa ensimmäisen hakkurin palapituuden asetetta ja jälkimmäinen toisen hakkurin palapituuden asetetta.

TAULUKKO 5. Laatuarvon seurantataulukko (Koskisen 2015)

		Yövuoro			
Pvm.	9/16/2015	Seulalevyt	Paino / [g]	Prosentit[%]	Laatuarvot[%]
Puulaji	kuusi	Ø 45 mm	1 g	1,00 %	Normaali 92
Asete / Exlog	32x175 3	8 mm rako	20 g	20,00 %	
YPS	22	Ø 13 mm	60 g	60,00 %	Karkea 108,4
Jakolaudat	22 22	Ø 7 mm	16 g	16,00 %	
Nopeus 1 (m/min)	60	Ø 3 mm	2 g	2,00 %	
Nopeus 2 (m/min)	65	Puru	1 g	1,00 %	
Palapituus 1 (mm)	24	Kok. paino / [g]	100 g		
Palapituus 2 (mm)	26				

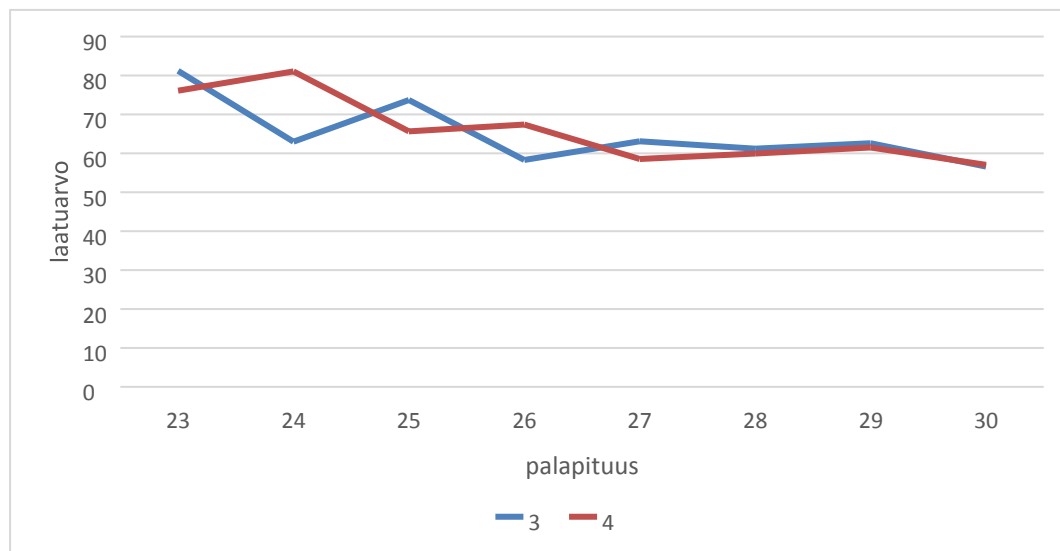
Paperiin merkitään koeseulonnan jälkeen jokaiseen lokeroon jäänyt painomäärä grammoina sekä muut oleelliset tiedot, joita ovat muun muassa: asete, puulaji, lautojen määrä ja koko sekä nopeudet yksi ja kaksi, sekä päivämäärä jolloin koeseulonta on suoritettu (TAULUKKO 5). Saadut painomäärät syötetään koneella Excel-taulukkoon, joka laskee hakkeen laatuarvon.



Kuvio 10. Palapituuden vaikutus laatuarvoon eri tukkiluokilla seulan jälkeen

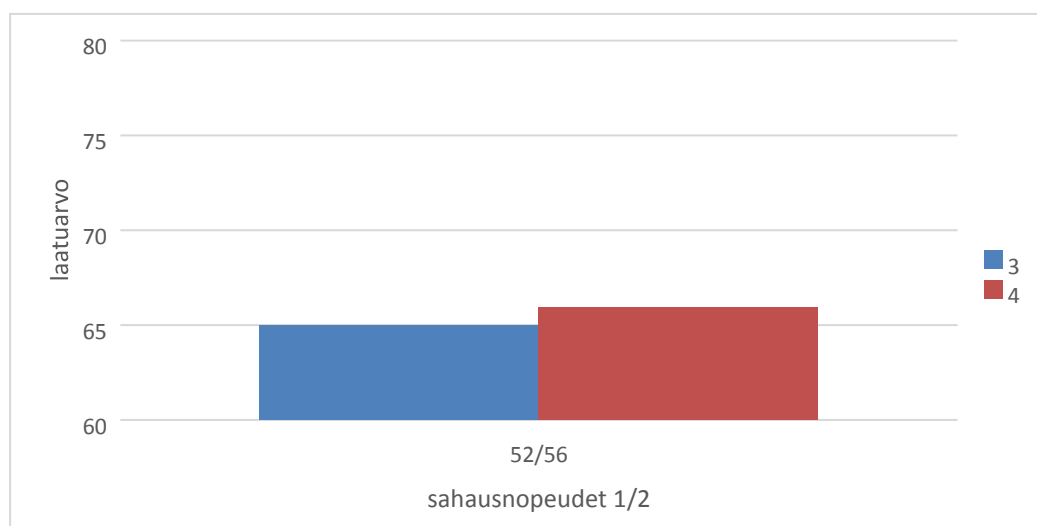
Voidaan huomata, että hakkeen laatuarvoon vaikuttaa palapituuden valitseminen melko paljon. Varsinkin neljännen luokan tukilla saatu hakkeen laatuarvo heikkenee huomattavasti, mitä isompaa palapituutta hakettaessa käytetään.

Myös kolmannen luokan tukin halkaisijan laatuarvo heikkenee paljon nostettaessa palapituutta. Ensimmäisen ja toisen luokan tukit saavuttavat parhaimman laatuarvonsa, kun palapituudet säädetään pituuksiksi 28/29 mm tai 29/30 mm (Kuvio 10).



Kuvio 11. Palapituuden vaikutus laatuarvoon eri tukkiluokilla ensimmäisen pelkkahakkurin jälkeen.

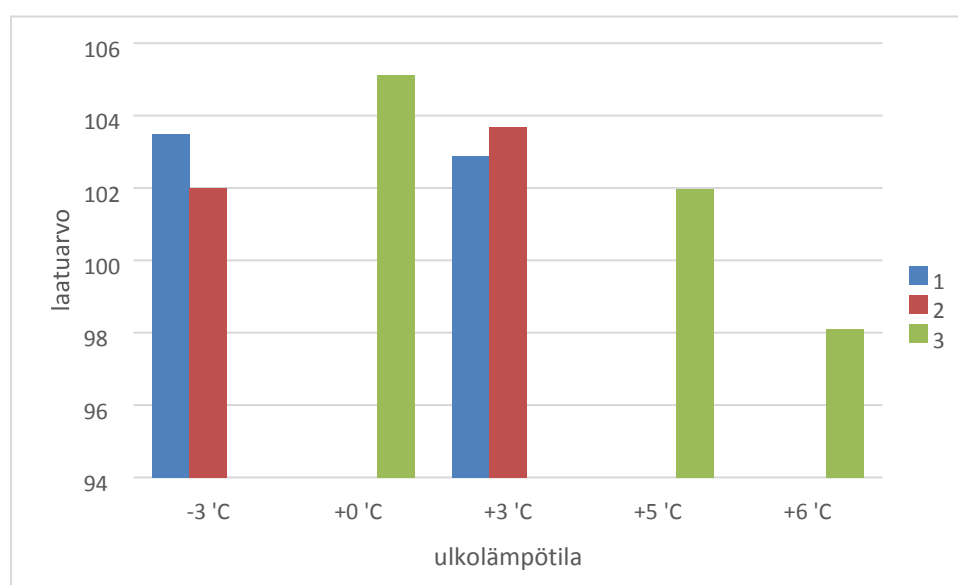
Tarkastellessa laatuarvoja ensimmäisen pelkkahakkurin jälkeen voidaan huomata, että paras laatuarvo saadaan kolmannen luokan tukille pitämällä palapituus pienenä, joko 23 mm tai 25 mm. Neljännen luokan tukille parhaimmat laatuarvot saadaan myös pienillä palapituuksilla; 23 mm ja 24 mm olivat parhaimpia (Kuvio11).



Kuvio 12. Sahausnopeuden vaikutus laatuarvoon ensimmäisen pelkkahakkurin jälkeen.

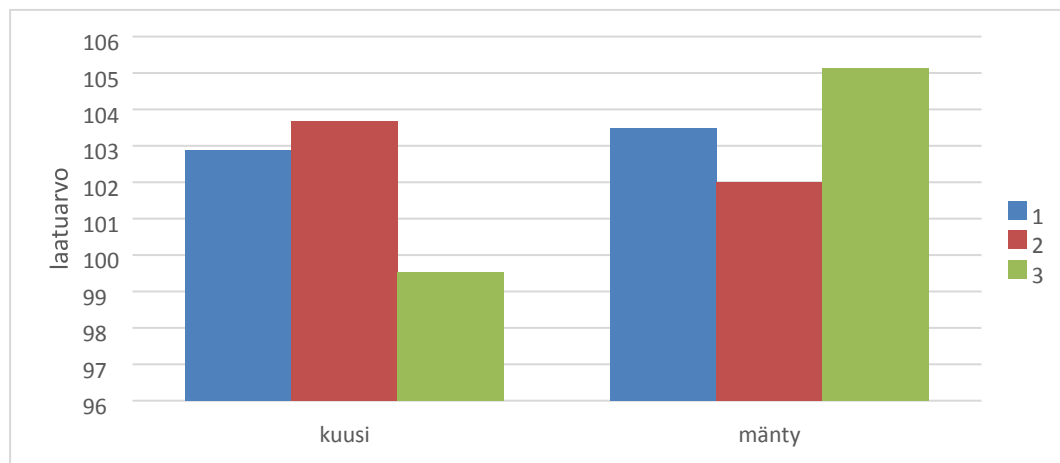
Ensimmäisellä sahausnopeudella tarkoitetaan nopeutta, jossa sahataan ensimmäisen vaiheen laudat ja toisella vaiheella vaihetta, jossa sahataan toisen vaiheen laudat. Tuloksista huomataan että, samoilla sahausnopeuksilla neljännen luokan tukilla laatuarvo on hieman parempi kuin halkaisijaltaan pienemmän tukin.

Sipin mukaan sahausnopeutta nostettaessa hienojakeen osuuden määrä kasvaa. Tämä korostuu jos puu on jäänyt. Sahausnopeus ei vaikuta varsinaisesti palakokoon (Kuvio 12).



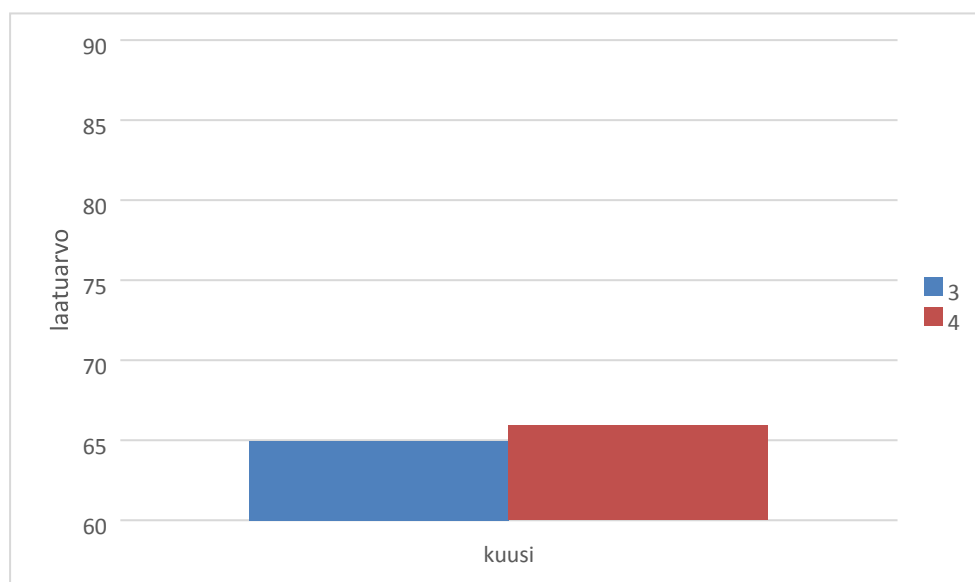
Kuvio 13. Lämpötilan vaikutus laatuarvoon

Kirjallisuutta tarkastellessa jäätyneen puun hakkeen laatuarvon pitäisi olla huonompaa kuin sulan puun (Sipi 2006, 198). Tutkimustulokset tukkiluokassa kaksi tukevat tätä väitettä, jossa verrataan +3 asteista ja -3 asteista tukin laatuarvoa. Kolmannen luokan laatuarvo taas huononee merkittävästi, kun verrataan 0 asteista ja +6 asteista tukkia (Kuvio 13).



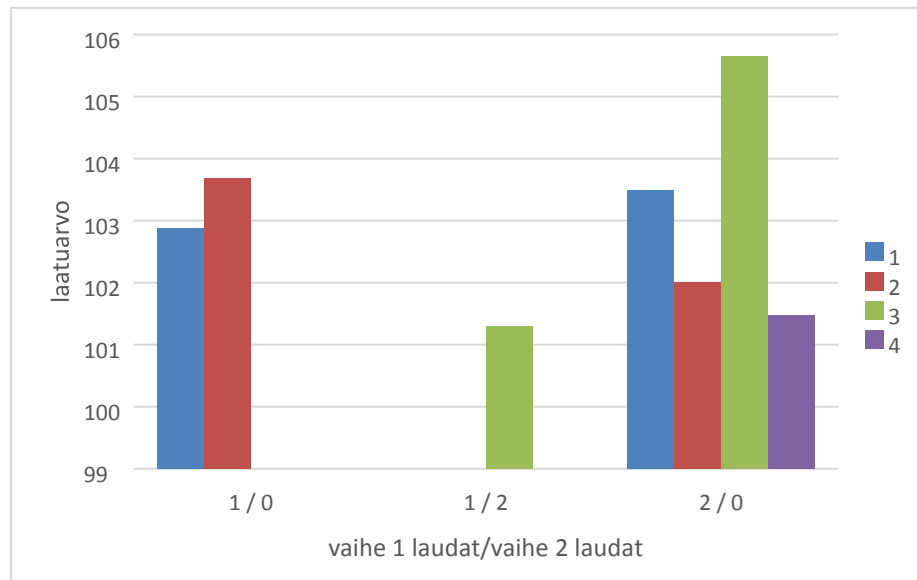
Kuvio 14. Puulajin vaikutus laatuarvoon seulan jälkeen.

Kuusen ja männyn laatuarvoja vertaillessa huomataan, että erityisesti kolmannen luokan tukissa laatuarvon ero on merkittävä. Männyllä saadaan parempia laatuarvon tuloksia. Tulokset eivät tue väitettä, koska Sipin mukaan kuusen laatuarvo samoilla teräasetuksilla pitäisi olla parempaa. Pienempiä tukkiluokkia sahatessa laatuarvossa ei ole suurempia eroja (Kuvio 14).



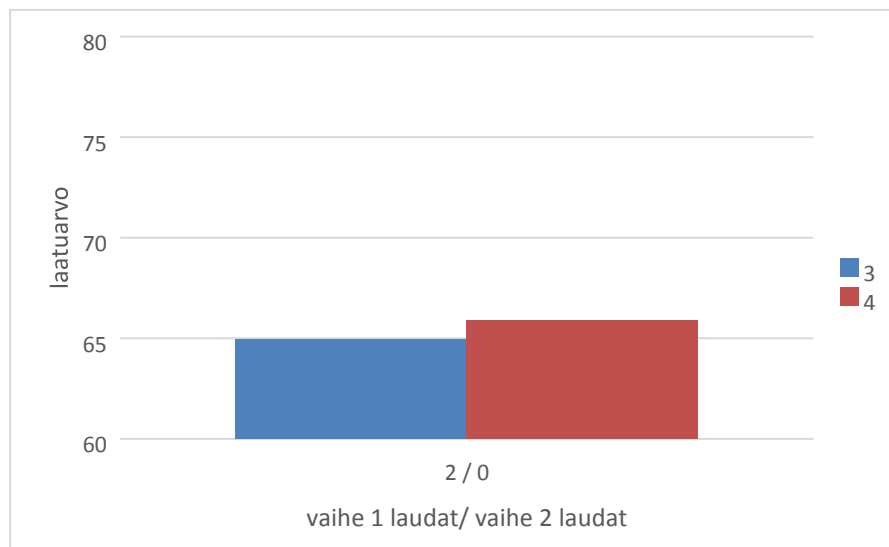
Kuvio 15. Tukkiluokan vaikutus laatuarvoon ensimmäisen pelkkahakkurin kohdalla.

Kuusen laatuarvo ensimmäisen pelkkahakkurin näytteillä eri tukkiluokittain ei ole merkittäviä eroja. Molemmat arvot ovat melko alhaisia, koska näytteet ovat otettu ennen seulontaa (Kuvio 15).



Kuvio 16. Eri sahausvaiheessa saatavien lautojen lukumäärän vaikutus laatuarvoon

Kolmannella tukkiluokalla saadaan parempi laatuarvo, kun sahataan ensimmäisessä vaiheessa kaksi lautaa ja toisessa vaiheessa ei ollenkaan kuin että sahattaisiin ensimmäisessä vaiheessa yksi lauta ja toisessa vaiheessa kaksi lautaa (Kuvio 16). Tämä johtuu siitä, että reunakaistan osuuden ollessa pieni, ei täysimittaisen hakkeen paksuus riitä hakettaessa, joten hakkeen laatuarvo kärsii.



Kuvio 17. Eri vaiheista sahattavien lautojen kappalemäärän vaikutus laatuarvoon eri tukkiluokilla ensimmäisen pelkkahakkurin jälkeen.

Tuloksissa kolmannen ja neljännen luokan tukkiluokilla ei ole suurempia eroja vertaillen montako lautaa otetaan ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa (Kuvio 17).

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA VIRHEARVIO TULOSTEN LUOTETTAVUUDESTA

Kaikkia tuloksia tarkastellessa huomataan, että suurin hakkeen laatuarvoon vaikuttava tekijä on haketuksessa asetettavat palapituudet, jotka vaihtelevat hieman eri tukkiluokkia ajettaessa. Oikealla palapituudella tietylle tukkiluokalle voidaan vähentää hakkeen hajontaa merkittävästi ja parantaa laatuarvoa. Sahattaessa pieniä tukkeja tulisi palapituuden olla melko pientä, koska näistä ei saada täysimittaista isoa haketta. Mikäli aihioista yritetään haketta liian isoa haketta ja hakkeen koko jää vajaaksi, vaikuttaa se alentavasti hakkeen kokonaislaatuun.

Tätä kautta saadaan suuria säästöjä hakkeen myynnissä. Jos hakkeen laatu arvo on esimerkiksi 102, saadaan siitä 2 % parempi hinta myytäessä kuin laatuarvolla 100. Koskisen viime vuoden sahausmäärä oli noin 353 000 m³. Lasketaan, että sivutuotteiden osuus on 50 % koko tukista, josta

30 % on hakkeen osuus. Tällöin sahataan noin $350\,000 \times 2 = 700\,000 \text{ m}^3$ kuorellista tukkikuutiota/ vuosi. Hakkeesta maksettava hinta on reilut 100 e/m^3 . Hakkeen osuus siis on vuodessa $700\,000 \text{ m}^3 \div 100 \times 30 = 210\,000 \text{ m}^3$. Tästä lasketaan, että $210\,000 \times 100 \text{ e/m}^3 = 21 \text{ miljoonaa/vuosi}$. 2 % summasta 21 miljoonaa euroa = 0,42 miljoonaa euroa.

Hakkeen tuottaminen Koskisen Oy:llä siis lisää liikevaihtoa vuodessa noin 21 miljoonaa euroa. Mikäli hakkeen laatuarvoa saataisiin nostettua 2 %, saataisiin siitä siis 2 % enemmän tuloja vuodessa. Tämä tarkoittaisi sitä, että 21 miljoonaa euroa kerrotaan kahdella, josta saadaan 0,42 miljoonaa euroa lisää euroja/vuosi. Tavoitteena olikin löytää jokaiselle tukkiluokalle palapituus, jolla saadaan paras mahdollinen laatuarvo.

Tuloksia tarkastellessa tulee myös huomioida muun muassa sahauksen ja hakkureiden terämallit ja niiden kunto, samoin kuin seulan kunto. Tylsien terien sahauksessa hake ohenee ja purun sekä tikkuhakkeen määrä kasvaa. Lähdekirjallisuutta tarkastellessa on todettu, että vuodenaikojen merkitys hakkeen laadussa on jopa suurempi kuin itse hakkureiden vaikutus.

Vesivarastoinnin on todettu nostavan hakkeen laatuarvoa. Tämän takia olisi hyvä pohtia tukkien jatkuvan kastelun kannattavuutta. Tosin jatkuva kastelu tai vesivarastointi on kallista erityisesti talvisin, koska vesi on pidettävä sulana, toisaalta tukit pysyisivät sulina, mikä taas helpottaisi sahausta ja nostaisi hakkeen laatuarvo. Isoilla sahoilla missä tukkeja on paljon, eikä vesivarastointi usein ole mahdollista. Vesivarastointi lisää myös ympäristöhaittoja, koska ne likaavat veden. Toisaalta lahon syntyminen, hyönteisvahingot, sinistymisen ja puun pilaantuminen estyisivät vesivarastoinnin ansiosta.

Tukkien valinnalla voidaan myös paljon vaikuttaa sahatavaran ja hakkeen laatuun. On tutkittu että isot oksat lisäävät ylisuuren hakkeen määrää, mikä alentaa laatuarvoa. Huonolaatuisten ja isojen oksien sekä muiden puun virheiden määrä alentaa myös sahatavaran laatua. Tämän takia raaka-aineella on suuri merkitys.

Tuloksien oikeellisuutta pohtiessa on huomioita myös esimerkiksi se miten koehake on otettu tai kasautuuko kaikki puru kuljettimella hihnan keskiosaan. Yleisimpänä hakkeen kuljettimina käytetään hihnakuljettimia. Hake kulkee pitkän matkan ennen näytteenottoa, kun näyte otettiin seulan jälkeen, joten olisi hyvä ottaa näytteet leveään hihnakuljettimen keskeltä ja reunoilta ja vertailla niitä keskenään.

Samasta sahausasetteesta olisi siis hyvä ottaa useampi hakenäyte, koska koeseulonnoissa käytettävä yksi ämpäri mitallinen ei anna välttämättä koko kuvaa koko hakkeen laadusta. Koeämpäriin osuessa esimerkiksi paljon oksia on koko hakkeesta maksettava hinta melko alhainen. Toisaalta useamman hakenäytteen ottaminen samasta asetteesta on todella aikaa vievää ja tätä kautta kallista, koska yhden koeseulonnan ottaminen ja seulominen vie noin 20 min.

10 LÄHTEET

Heikinheimo, O. 1964. Mekaaninen puuteollisuus. Joensuu: Pohjois-Karjalan Kirjapaino Oy

Isomäki. 2002. Raaka-aineet ja aihiot. 1. painos. Helsinki: Edita Prima Oy

Jääskeläinen, A-S. 2007. Puun rakenne ja kemia. Helsinki: Hakapaino Oy

Koskisen Oy. 2015. Yrityksen historia. [viitattu 13.4.2015]. Saatavissa: <http://www.koskisen.fi/yritys>

Kuikka, K. 1993. Puutekniikka materiaalit 1. painos. Keuruu: Kauko Kunelius ja Kustannusosakeyhtiö Otava.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy

Määttänen, J. 1999. ympäristömaantieteellinen tutkimus selluloosatehtaan ympäristövaikutuksista Pohjois-Karjalassa. Joensuu: Joensuun yliopistopaino

Stora Enso Oyj. 2004. Sahahakkeen hankintaohje

Seppälä, J. 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Helsinki: Painopaikka Oy Edita Ab.

Seppälä, M. 1999. Paperimassan valmistus. Helsinki: Hakapaino Oy.

Sipi, M.2006. Sahatavaratuotanto. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Edita Oy.

Usenius, A. 2010. Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa. Helsinki: Edita Prima Oy.

LIITTEET

Tukkiluokka	Päiväys	Asete	Tukin halkaisija (mm)	Nopeudet vaihe 1 ja 2	Puulaji	Näytteenotto-paikka	Näyte	Palapituus	Ø 45 mm	8 mm rako	Ø 13 mm	Ø 7 mm	Ø 3 mm	Puru	Kokonaispaino/g	Laatuarvo (Upm)	Laatuarvo karkea (metsä)	Ulkolämpötila
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	4 %	62 %	31 %	3 %	0 %	100 %	98,8	92,4	+3 'C
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	3 %	63 %	31 %	3 %	0 %	100 %	100	91,4	+3 'C
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	4 %	67 %	27 %	2 %	0 %	100 %	103,3	94,3	+3 'C
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	7 %	67 %	24 %	1 %	0 %	100 %	102,5	97,8	+3 'C
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	5 %	70 %	22 %	1 %	0 %	100 %	105,4	98	+3 'C
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	6 %	71 %	21 %	1 %	0 %	100 %	105,5	99,2	+3 'C
1	4.12.2015	34100 2 22	134	106/113	kuusi	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	8 %	70 %	20 %	1 %	0 %	100 %	104,6	101,3	+3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	4 %	70 %	24 %	1 %	0 %	100 %	105,6	96,6	-3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	2	24/25	1 %	11 %	67 %	19 %	1 %	0 %	100 %	101	103,1	-3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	3	26/27	1 %	6 %	72 %	21 %	1 %	0 %	100 %	106	99	-3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	10 %	75 %	15 %	1 %	0 %	100 %	107,6	104,8	-3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	9 %	75 %	14 %	0 %	0 %	100 %	108,3	104,9	-3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	14 %	70 %	15 %	1 %	0 %	100 %	103	107,8	-3 'C
1	15.12.2015	50100 2 2519	171	78/83	mänty	seulan jälkeen	7	31/32	1 %	25 %	62 %	12 %	1 %	0 %	100 %	92,9	115,6	-3 'C
2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	5 %	65 %	26 %	3 %	1 %	100 %	100,4	93,5	+3 'C
2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	3 %	67 %	27 %	3 %	1 %	100 %	102,8	92,4	+3 'C
2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	3 %	73 %	21 %	2 %	0 %	100 %	107,3	96	+3 'C
2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	7 %	72 %	19 %	2 %	0 %	100 %	106	99,7	+3 'C
2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	7 %	68 %	22 %	3 %	0 %	100 %	102	97,4	+3 'C
2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	12 %	71 %	15 %	1 %	0 %	100 %	104,2	105,9	+3 'C

2	4.12.2015	47150 2 22	187	90/96	kuusi	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	14 %	71 %	14 %	1 %	0 %	100 %	103,1	107,5	+3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	17 %	68 %	14 %	1 %	0 %	100 %	100,8	109,7	-3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	5 %	74 %	20 %	1 %	0 %	100 %	108,4	98,5	-3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	7 %	71 %	20 %	1 %	0 %	100 %	105,1	99,7	-3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	13 %	74 %	13 %	1 %	0 %	100 %	106,1	107,7	-3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	13 %	74 %	12 %	1 %	0 %	100 %	106,4	107,7	-3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	23 %	63 %	12 %	1 %	0 %	100 %	95	115,2	-3 °C
2	15.12.2015	50125 2 1925	184	78/83	mänty	seulan jälkeen	7	31/32	1 %	27 %	61 %	11 %	1 %	0 %	100 %	92,2	117,7	-3 °C
3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	8 %	76 %	15 %	1 %	0 %	100 %	109,3	102,8	+6 °C
3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	10 %	77 %	13 %	1 %	0 %	100 %	109	105,3	+6 °C

3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	18 %	70 %	11 %	1 %	0 %	100 %	101,9	111,9	+6 °C
3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	25 %	64 %	9 %	1 %	0 %	100 %	95,1	117,6	+6 °C
3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	24 %	66 %	9 %	1 %	0 %	100 %	97,3	116,9	+6 °C
3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	6	30/31	1 %	37 %	54 %	7 %	1 %	0 %	100 %	83,5	126,6	+6 °C
3	3.11.2015	47220 3 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	31 %	60 %	8 %	1 %	0 %	100 %	90,7	122,3	+6 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	1	23	0 %	10 %	53 %	14 %	17 %	6 %	100 %	81,2	83,4	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	2	24	0 %	12 %	39 %	12 %	28 %	9 %	100 %	63	71,5	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	3	25	1 %	13 %	49 %	7 %	23 %	7 %	100 %	73,7	80,6	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	4	26	0 %	9 %	35 %	12 %	33 %	10 %	100 %	58,3	62,9	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	5	27	0 %	10 %	39 %	12 %	31 %	8 %	100 %	63,1	67,8	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	6	28	0 %	18 %	37 %	12 %	27 %	7 %	100 %	61,2	78,7	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	7	29	0 %	17 %	39 %	8 %	28 %	7 %	100 %	62,6	77,9	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	230	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	8	30	4 %	13 %	35 %	8 %	33 %	7 %	100 %	56,6	67	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 2 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	-	-	+5 °C

3	9.11.2015	63175 2 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	-	-	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	17 %	69 %	13 %	1 %	0 %	100 %	100,8	110,3	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	12 %	73 %	13 %	1 %	0 %	100 %	105,7	106,5	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	17 %	71 %	11 %	1 %	0 %	100 %	102,1	111	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	6	30/31	1 %	20 %	68 %	9 %	1 %	0 %	100 %	99,3	113,4	+5 °C
3	9.11.2015	63175 2 22 2222	260	52/56	kuusi	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	-	-	+5 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	19 %	73 %	6 %	1 %	0 %	100 %	103,7	114,9	+0 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	3 %	83 %	13 %	1 %	0 %	100 %	115,7	100,7	+0 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	6 %	78 %	14 %	1 %	0 %	100 %	111,1	101,9	+0 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	10 %	76 %	12 %	1 %	0 %	100 %	108,2	105,6	+0 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	15 %	72 %	12 %	1 %	0 %	100 %	103,7	109,1	+0 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	18 %	69 %	11 %	1 %	0 %	100 %	100,5	110,9	+0 °C
3	17.12.2015	50200 2 2525	237	63/67	mänty	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	12 %	73 %	13 %	1 %	0 %	100 %	105,6	106,5	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	5 %	78 %	14 %	2 %	0 %	100 %	111,3	100,5	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	2	24/25	1 %	15 %	69 %	15 %	1 %	0 %	100 %	101,2	107,5	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	9 %	78 %	12 %	1 %	0 %	100 %	110,4	104,8	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	18 %	70 %	11 %	1 %	0 %	100 %	101,3	111,5	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	16 %	73 %	10 %	1 %	0 %	100 %	104,1	110,7	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	22 %	65 %	12 %	1 %	0 %	100 %	96,8	113,8	+0 °C
3	17.12.2015	32200 4 19 2519	261	62/66	mänty	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	15 %	72 %	12 %	1 %	0 %	100 %	103,6	108,5	+0 °C
3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	13 %	74 %	12 %	1 %	0 %	100 %	106,3	108,6	+0 °C
3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	18 %	72 %	9 %	1 %	0 %	100 %	103,1	113,3	+0 °C
3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	14 %	76 %	9 %	1 %	0 %	100 %	107,3	109,4	+0 °C
3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	18 %	70 %	10 %	1 %	0 %	100 %	101,9	112,6	+0 °C
3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	5	29/30	0 %	18 %	74 %	8 %	1 %	0 %	100 %	104,4	113,6	+0 °C

3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	13 %	74 %	12 %	1 %	0 %	100 %	105,8	108	+0 °C
3	17.12.2015	100150 2 2519	271	63/67	mänty	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	18 %	70 %	11 %	1 %	0 %	100 %	101,7	112,1	+0 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	1	23	2 %	14 %	44 %	12 %	22 %	6 %	100 %	69,4	79,7	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	2	24	0 %	4 %	57 %	10 %	18 %	11 %	100 %	82,4	74,4	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	3	25	0 %	8 %	46 %	8 %	30 %	7 %	100 %	69,6	69,5	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	4	26	1 %	2 %	37 %	13 %	35 %	12 %	100 %	59,4	53	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	5	27	0 %	10 %	34 %	11 %	36 %	10 %	100 %	56	61,4	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	6	28	0 %	10 %	34 %	10 %	37 %	9 %	100 %	55,9	61,5	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	7	29	1 %	19 %	42 %	7 %	25 %	6 %	100 %	66,2	83,4	+1 °C
4	25.11.2015	100200 2 3232	303	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	8	30	0 %	19 %	31 %	8 %	33 %	8 %	100 %	52,4	73,1	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	1	23	0 %	3 %	57 %	12 %	18 %	10 %	100 %	82,8	74,3	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	2	24	0 %	8 %	54 %	9 %	19 %	9 %	100 %	79,7	78,2	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	3	25	1 %	6 %	40 %	10 %	32 %	11 %	100 %	61,7	61	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	4	26	1 %	25 %	50 %	6 %	13 %	5 %	100 %	75,4	100,9	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	5	27	0 %	5 %	40 %	9 %	35 %	11 %	100 %	61,1	58,1	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	6	28	0 %	9 %	40 %	11 %	34 %	5 %	100 %	64	67,5	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	7	29	0 %	16 %	35 %	8 %	33 %	8 %	100 %	56,8	71,6	+1 °C
4	25.11.2015	44225 4 22 22	316	52/56	kuusi	hakkurin 1 jälkeen	8	30	0 %	19 %	39 %	5 %	28 %	8 %	100 %	61,7	80	+1 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	1	23/24	0 %	12 %	79 %	9 %	1 %	0 %	100 %	110,2	108,811	+0 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	2	24/25	0 %	17 %	75 %	7 %	1 %	0 %	100 %	106,7	113,5	+0 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	3	26/27	0 %	22 %	70 %	7 %	0 %	0 %	100 %	100,3	117,1	+0 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	4	28/29	0 %	29 %	64 %	7 %	1 %	0 %	100 %	93,9	121,3	+0 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	5	29/30	1 %	24 %	66 %	8 %	1 %	0 %	100 %	96,3	117,1	+0 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	6	30/31	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	-	-	+0 °C
4	17.12.2016	50200 4 2525	305	52/56	mänty	seulan jälkeen	7	31/32	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	-	-	+0 °C

