

Puuaineen säteensuuntainen erottelu

Esiselvitys

**Antti Korpilahti
Heikki Alanne
Kaarlo Rieppo**

**Metsätehon raportti 112
15.6.2001**

Puuaineen säteensuuntainen erottelu

Esiselvitys

**Antti Korpilahti
Heikki Alanne
Kaarlo Rieppo**

Metsätehon raportti 112
15.6.2001

Konsortiohanke: Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj,
UPM-Kymmene Oyj

Asiasanat: tyvilaho, haketus, hierre

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 LAHO KUUSIPUU RAAKA-AINEENA	6
2.1 Sellu.....	6
2.2 Mekaaniset massat.....	7
3 EROTTELUHAKETUS	8
3.1 Tekniikka.....	8
3.1.1 Puunkäsittely	8
3.1.2 Kuorinta.....	8
3.1.3 Erotteluhaketus.....	8
3.1.4 Hakkeen käsittely	9
3.2 Kapasiteetti.....	9
3.3 Investointikustannukset	10
3.4 Erotteluhaketuksen yksikkökustannukset.....	11
3.5 Kannattavuus	11
3.5.1 Hinnoitteluperusteet	11
3.5.2 Kannattavuustarkastelut perushinnoilla	13
3.5.3 Kannattavuustarkastelut alennetuilla hinnoilla	15
3.5.4 Eräitä kannattavuuteen vaikuttavia seikkoja	16
4 PUUN SISÄISEN LAHON TUNNISTAMISTEKNIIKAT.....	17
4.1 Tietokonetomografia	17
4.2 Ultraääni	18
4.3 Mikroaallot	18
4.4 Kuvatulkinta	19
5 PÄÄTELMÄT	19
6 JATKOTOIMENPITEET	20
KIRJALLISUUS.....	22
LIITE	

TIIVISTELMÄ

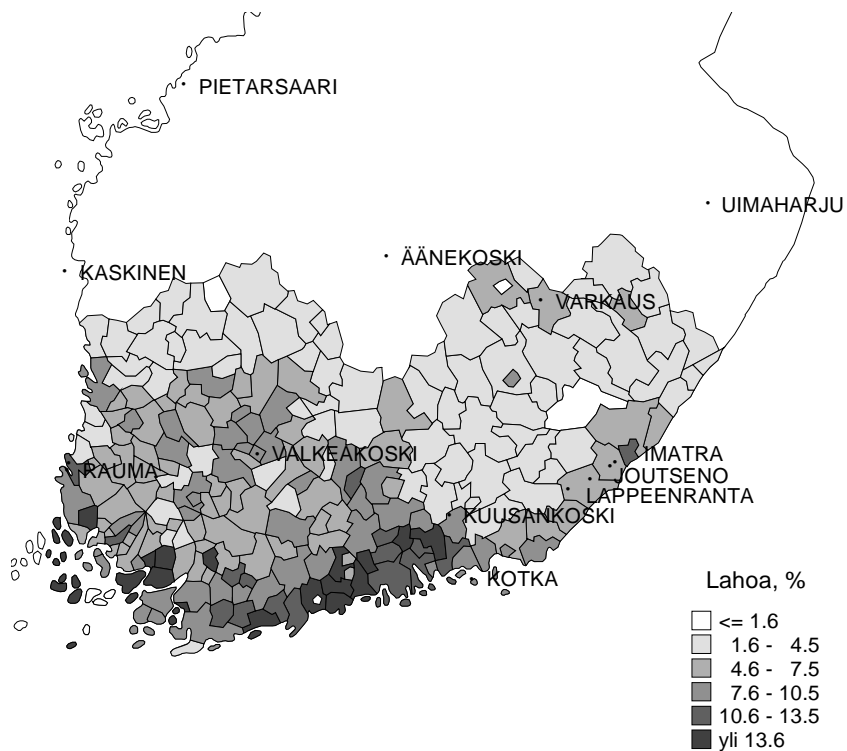
Nykyisillä puunkäyttömäärillä, tyvilahoa sisältävää kuusipuuta kertyy maassamme noin miljoona kuutiometriä vuodessa. Tyvilahopuusta noin 60 % on täysin tervettä puuainesta, joka erilleen hakettuna voitaisiin käyttää hierteen raaka-aineeksi. Nykyään lahovikainen kuusi käytetään kokonaan sellunvalmistukseen. Siitä saadaan kylläkin laadukasta selluloosaa, mutta selluun olisi käytettävissä runsaasti mäntykuitupuuta, kun taas mekaaniseen massaan käytettävästä kuusesta on niukkuutta.

Terve ja lahovikainen puu voitaisiin hakettaa erilleen sahteollisuudessa käytettävällä haketustekniikalla. Kun lahovikainen puu arvotetaan tehdashinnaltaan sellupuuna ja siitä erotteluhaketuksella saatu terve puuaines kuusikuitupuuna (hintaero 40 mk/m³), olisi erotteluhaketus kannattavaa, vaikka vain puolet terveestä osasta saataisiin erilleen. Puun sisäisen lahon tunnistamis- ja haketuslaitteiden ohjausjärjestelmiä ei vielä ole valmiina. Lahon tunnistamisen kustannukset ovat senkin vuoksi tällä hetkellä suuret. Mikäli erotteluhaketus voidaan tehdä yksinkertaisin laittein tai silmävaraisen arvion perusteella, erottelu olisi kannattavaa jo, kun 30 % terveestä osasta saataisiin erilleen lahosta. Jos lahovikainen puu käytettäisiin energiantuotantoon, ei erotteluhaketus olisi kannattavaa, vaikka terve puuaines saataisiin kokonaan hierteen raaka-aineeksi.

Hierteen raaka-aineen on nykyisten laatuvaatimusten mukaan oltava täysin tervettä ja tuoretta. Lahovikaisuus ei sinänsä aiheuta ongelmia hierrossa, mutta laho huonontaa hierteen vaaleutta. Vaaleutta voidaan parantaa valkaisuilla. Jatkossa tulisi ensisijaisesti tutkia, kuinka paljon hierteen raaka-aineessa voidaan sallia lahovikaista puuta. Myös sellun saanto ja ominaisuudet pelkästä lahovikaisesta osasta tulisi määrittää.

1 JOHDANTO

Tyvilahoista kuusta toimitetaan teollisuudelle vuosittain noin miljoona kiintokuutiota. Tyvilahoisuutta esiintyy runsaasti varsinkin Etelä-Suomen järeissä kuusikoissa (kuva 1). Koska laho esiintyy puun sisässä kartionmuotoisesti ja lahovikainen osa pitää erottaa kokonaan sahatukista, tyvilahoa sisältävien pölkkyjen tilavuudesta terveen puun osuus on suuri. Eräässä tutkimuksessa tyvilahoisten pölkkyjen tilavuudesta tervettä puuta oli 59 % (Mäkelä ym. 1998). Tyvilahoinen kuusi on ohjattu sellutehtaille. Lahovikaisuudesta huolimatta puu on viimeisimmissä tutkimuksissa todettu varsin hyväksi selluloosan raaka-aineeksi, sellun lujuuden kannalta jopa selvästi paremmaksi kuin mäntykuitupuu (Öhman 2001).



Kuva 1. Kuntakohtaiset lahopuuprosentit kuusella Etelä-Suomessa (Mäkelä ym. 1998).

Mekaanisten massojen, hiokkeen ja hierteen, raaka-aineeksi on hyväksytty vain täysin terve kuusi. Kun terveen kuusikuitupuun tarve on suuri ja raaka-aineesta esiintyy puutetta, esiin on noussut ajatus tyvilahokuusen käytöstä mekaanisen massan raaka-aineena. Jos tyvilahopuuta kertyy vuodessa noin miljoonan kuutiota, täysin tervettä kuusta olisi siirrettävissä sellusta mekaaniin massoihin jopa 0,6 milj. kuutiota. Sellunvalmistukseen olisi käytettävissä vastaavasti enemmän mäntykuitupuuta.

Tämän selvityksen tarkoituksena on valottaa tyvilahokuusen käyttökelpoisuutta mekaanisten massojen raaka-aineena ja esitellä tarvittavaa käsittelytekniikkaa ja taloutta. Lähtökohtana on, että terve puuainekset erotetaan hakettamalla ja käytetään hierteen valmistukseen ja lahovikainen ydinosa käytetään ensisijaisesti sellunvalmistukseen.

Selvityksen ovat tehneet tutkijat Heikki Alanne, Antti Korpilahti ja Kaarlo Rieppo. Osakkaiden nimeämään asiantuntijaryhmään kuuluivat apulaispiiripäällikkö Markku Halonen ja kuljetuspäällikkö Pekka Lepikko UPM-Kymmene Oyj:stä, korjuupäällikkö Risto Lilleberg Metsäliitto Osuuskunnasta ja T&K-koordinaattori Martti Kattainen Stora Enso Oyj:stä. Asiantuntijatietoa selvitykseen antoivat lisäksi toimitusjohtaja Rauno Suoniemi Veisto-Rakenne Rautio Oy:stä, tutkimuspäälliköt Taisto Tienvieri ja Markku Gummerus UPM-Kymmene Oyj:stä, johtaja Heikki Öhman UPM-Kymmene Pulp Centeristä, tutkimuspäällikkö Veikko Jokela ja erikoistutkija Raija Mattelmäki Stora Enso Oyj:stä sekä tutkimuspäällikkö Jukka Rana ja käyttöpäällikkö Olli Alhoniemi Metsä-Serla Oyj:stä.

2 LAHO KUUSIPUU RAAKA-AINEENA

2.1 Sellu

Sulfaattiselluprosessissa puun lahoisuus vähentää kuitutuotteiden kokonaisuutta ja lisää valmistuskustannuksia. Jos puuainekset on vasta värivikaisuuden asteella, se heikentää lähinnä vain massan vetolujuutta vaikuttamatta saantoon ja muihin paperitekniisiin ominaisuuksiin. Myös kovaa lahoa sisältävä puun osa täyttää melko hyvin kuitutuotteelle asetetut vaatimukset. Värivikaisen ja kovaa lahoa sisältävän kuusipuun arvo sulfaattiselluloosatehtaalla on terveen mäntypuun luokkaa ja usein enemmänkin, kun tarkastellaan sellun lujuusominaisuuksia.

Pehmeälahoisessa puussa kuiturakenne on luhistunut ja rikkoutunut moneen suuntaan (Halonen 1997). Sellaisesta puusta saatava kuituainekset joko pilkkoutuu ja joutuu mustalipeän mukana polttoon tai on kuitutuotteessa mukana lyhyempinä ja heikompina kuituina. Pehmeää lahoa sisältävän puun tervettä puuainekset pienempi kuivatuoretiheys ja selluloosaprosessissa saatu pienempi saanto merkitsevät noin 20 %:n suhteellista arvonalennusta terveen mäntypuuhun verrattuna. Lahosta puusta tehdyn hakkeen suurempi seulontahukka ja kemikaalikulutus prosessissa merkitsevät lisäksi noin 10 % pienempää arvoa terveeseen mäntypuuhun verrattuna.

2.2 Mekaaniset massat

Puun terveen osan erottaminen hakettamalla lahosta puusta rajoittaa mekaanisen massan valmistusprosessiksi hierreprosessin.

Mekaanisesti kuidutettuja massoja käytetään määrällisesti eniten puupitoisissa painopapereissa. Niiden lisäksi mekaanisia massoja käytetään jatkolomakepapereissa, tietyissä pehmopaperilaaduissa ja kartongissa.

Puupitoisissa painopapereissa paperin perusvaaleustaso pyritään aina saamaan aikaan mekaanisella massalla (Vahteri 1993). Puuaineen sinistymät ja tummentumat alentavat massan vaaleusastetta eikä sellaista nykyään hyväksytä mekaanisten massojen raaka-aineessa. Paperin vaaleutta voidaan parantaa kemiallisen massan, täyteaineen ja päällysteen korkeammalla vaaleudella. Vaarana on, että paperin eri ainesosien erot tulevat näkyviksi. Mekaanisen massan lähtövaaleudella ja valkaistavuudella on kuitenkin merkittävä osa lopputuotteen vaaleudessa ja sen tuotantokustannuksissa. Hierteiden lähtövaaleustaso suurenee järjestyksessä CTMP–TMP. Kun puun vaaleusarvo on noin 70 %, se on tavanomaisella hiokkeella 64–66 ja TMP-hiokkeella 62 %. Hiokkeiden vaaleustasoa parannetaan mm. suuremmalla kemikaalianoksella.

Mekaanisten massojen valkaisumenetelmänä käytetään pelkistävää ditioniittivalkaisua ja hapettavaa peroksidivalkaisua tai näiden yhdistelmiä. Ditioniittivalkaisulla vaaleutta voidaan lisätä noin 10 ja peroksidivalkaisulla 15 yksikköä. Peroksidivalkaisua käytetäänkin laadukkaiden puupitoisten painopapereiden raaka-aineen valkaisussa. Ditioniitilla valkaistun massan vaaleuden pysyvyys on huono ja auringonvalo tummentaa massan nopeasti.

Johtopäätökset:

1. Jos tyvilahokuusen erottelussa pitää soveltaa tämän hetken puunhankinnassa noudatettavia kuusikuitupuun laatuvaatimuksia, niin terveen puuaineen ositteeseen ei hyväksytä edes värivikaa. Tämä laatuvaatimus on ymmärrettävä käytännön puunhankintaan sopivaksi ja helposti kontrolloitavaksi ohjeeksi. Tyvilahokuusen erottelukäsittelyn kannalta tulee kuitenkin selvittää, missä määrin prosessi sietää väri- ja lahovikaista puuainesta.
2. Pelkän lahovikaisen ositteen selluominaisuudet on määritettävä. Tähän mennessä tehdyissä lahopuututkimuksissa materiaalina on käytetty lahoa sisältävää puuta, jossa terveen puuaineen osuus on ollut yli puolet kokonaistilavuudesta.

3 EROTTELUHAKETUS

3.1 Tekniikka

Lahojen kuusipuiden erotteluhaketukseen tarvittava tekniikka on pääosin olemassa. Erotteluhaketuksen ohjaukseen tarvittavaa puun sisäisen lahon tunnistamistekniikoiden soveltuvuutta ei ole testattu tuotantomittakaavassa. Puunkäsittelyssä, kuorinnassa sekä kuoren ja hakkeen käsittelyssä voidaan käyttää normaaleja sahateollisuuteen suunniteltuja laitteita. Näissä esimerkiksi laskelmissa haketukseen on oletettu käytettävän Veisto-Rakenne Rautio Oy:n valmistaman Veisto-sahan periaatteella toimivaa haketuslaitetta.

3.1.1 Puunkäsittely

Puunkäsittelyyn kentällä voidaan käyttää sahatukkien käsittelyyn varustettua pyöräkuormaajaa. Erotteluhakkurilinjan syöttö vaatii hajotuspöydän ja vähintään 40 kpl/min nopeuteen pystyvän porrasannostelijan. Tukinkääntäjän sijoittaminen syöttölinjaan ei ole periaatteessa välttämätöntä, mutta kaikkien pölkkyjen syöttö samansuuntaisesti saattaisi helpottaa haketusta ja parantaa erottelutarkkuutta.

3.1.2 Kuorinta

Tyvilahopölkkyt voidaan kuoria tavallisella roottorikuorimakoneella. Valon Kone Oy:n kuorintakoneet pystyvät normaalivarusteisina kuorimaan lyhimillään 2,6–3,2 metrin mittaisia pölkkyjä. Kun kuorimakone on varustettu erikoisvalsseilla, sillä voidaan kuoria jopa vain 1,9 metrisiä pölkkyjä. Laitoksella voitaisiin siten käsitellä ongelmitta puunkorjuussa nykyään talteen otettavat minimipituisetkin lahoppöpölkkyt.

Kuorintakoneiden syöttönopeudet vaihtelevat välillä 60–110 metriä minuutissa. Erotteluhaketuksen kustannuslaskelmat on tehty hakkurin syöttönopeuksilla 60 ja 120 metriä minuutissa. Suuremmalla hakkurin ajonopeudella tarvitaan kaksi kuorimakonetta yhtä hakkuria kohden. Kuorintakoneeseen voidaan yhdistää täysautomaattinen tyvensievistäjä, joka estää ylisuurien tyvien pääsyn erotteluhakkurille.

3.1.3 Erotteluhaketus

Normaaliin sahaukseen tarkoitettussa Veisto-Rakenne Rautio Oy:n valmistamassa Veisto-sahassa puu haketetaan neljällä teräpäällä neljältä sivultaan. Lahojen kuusentyvien hakettamiseen voidaan soveltaa samaa tekniikkaa. Puun terveen osan erotteluhaketuksen saantoa voidaan suurentaa lisäämällä hakettavien teräpäiden määrää esim. kahdeksaan ja sijoittamalla teräkasetit lomittain toisiinsa nähden.

Sahatavaratuotannossa sahan syöttönopeus on yleensä 75 m/min. Syöttönopeutta voidaan säätää välillä 60–120 m/min. Pelkästään haketuskäyttöön rakennetulla laitteella päästään vähintään samaan syöttönopeuteen. Myös käyrä- ja muotohaketus on mahdollista, jos hakkuria ohjataan tarkkaan 3D-mittaukseen pystyvällä tukkimittarilla. Tavoitteena on noin 30 mm:n hakepituus ja noin 3,5 mm:n hakepaksuus. Lahon puuaineen tunnistustekniikoita käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3.1.4 Hakkeen käsittely

Erotteluhaketus tuottaa sahanhakkeen kaltaista haketta. Hakejakeiden seulontaan soveltuvat tavanomaiset sahateollisuudessa käytetyt seulat. Haketusyksikköä vastaavaan seulontakapasiteettiin päästään sijoittamalla kumpaankin hakelinjaan, sekä terveeseen puuaineeseen että lahovikaisen ositteeseen linjoihin, 12 m²:n seulat.

3.2 Kapasiteetti

Erotteluhaketuksen tuottavuutta ja kustannuksia on selvitetty kahdella eri kapasiteetin laitokoolla. Laitoksen kapasiteetti määräytyy varsinaisen haketusyksikön kapasiteetin mukaan.

Kun linjanopeus on 60 m/min ja haketetaan keskiläpimitaltaan 24 cm paksumia pölkköjä, laitoksen kapasiteetiksi saadaan kaksivuorotyössä 480 000 m³/vuosi. Vastaavasti, yksivuorotyössä vuosikapasiteetiksi saataisiin puolet tästä eli 240 000 m³. Mäkelän ym. (1998) mukaan lahon kuusen vuotuinen kertymä Etelä-Suomessa on noin 0,5 milj. m³. Tässä selvityksessä tehdyn tehtaittaisen kyselyn mukaan lahovikaisen kuusen määräksi arvioitiin koko maassa noin 850 000 m³. Voidaan tehdä johtopäätös, että käsittelylaitoksen kapasiteetti asettuu yksivuorokäytön mukaiseksi.

Erotteluhaketuslaitoksella voitaisiin tyvilahopuun lisäksi käsitellä myös esim. pieniläpimittaista tai tavanomaista kuitupuuta. Laitteiston tekniikka mahdollistaa jopa 120 metrin linjanopeuden käytön, jolloin edellä mainittuun 480 000 m³:n kapasiteettiin päästään jo 17 cm:n keskiläpimittaisella puulla.

3.3 Investointikustannukset

Edellä kuvatulla tavalla toteutetun erotteluhaketuslaitoksen kokonaisinvestointi olisi noin 9,3 milj. mk koostuen taulukossa 1 eritellyistä osista.

TAULUKKO 1 Erotteluhaketuslaitoksen investointikustannukset

<i>Työvaihe</i>	<i>Investointi, mk</i>	<i>Laite</i>
Puunkäsittely	500 000	Pyöräkuormaaja
Syöttö	700 000	Porrasannostelija ja kuljetin kuorimakoneelle
Lahon tunnistus	3 000 000	Lahon tunnistuslaite, röntgen tai vastaava
Kuorinta	930 000	Kuljetin, kuorintakone, peti ja kuorikuljetin
Haketus	2 500 000	Veisto-erotushakkuri
Hakkeen käsittely	700 000	Kuljettimet ja seula 2 kpl (12 m ²)
Rakennus	1 000 000	
<i>Yhteensä</i>	<i>9 330 000</i>	

Lahontunnistuksen laitteiston hinta riippuu suuresti valitun laitteiston ominaisuuksista. Tiettävästi kyseisiä laitteita on asennettu vasta yksi. Toimittajan ilmoittama hinta on arvio, jota voidaan pitää suuntaa antavana.

Haketusyksikkö perustuu Veisto-Rakenne Rautio Oy:n veistosahaan. Niitä on toiminnassa yli sata, joten haketusyksikön hinta-arvio on hyvin luotettava. Puunkäsittelyn, syötön, kuorinnan ja hakkeen käsittelylaitteet ovat saha-teollisuudessa jokapäiväisessä käytössä olevaa kalustoa, jonka investointikustannuksien voidaan olettaa olevan oikealla tasolla.

Erotteluhaketuslaitoksen kokoonpanoon voisi lisäksi kuulua metallintunnistin.

3.4 Erotteluhaketuksen yksikkökustannukset

Erotteluhaketuksen yksikkökustannukset käsittelyvaiheittain koko hakettavalle määrälle laskettuna on esitetty taulukossa 2. Haketusasemalla työskentelee kaksi henkilöä, pyöräkuormaajan kuljettaja ja haketuksen ohjaaja.

TAULUKKO 2 Erotteluhaketuksen yksikkökustannukset kuorellista runkopuuta kohti yksivuorotyössä

<i>Työvaihe</i>	<i>Yksivuorotyö mk/m³</i>	<i>Kaksivuorotyö mk/m³</i>
Puunkäsittely	1,39	1,28
Syöttö annostelijalla	0,83	0,71
Lahon tunnistus	2,78	2,08
Kuorinta ja kuoren käsittely	0,90	0,74
Haketus	3,78	3,34
Hakkeen käsittely	0,67	0,55
Rakennus	0,62	0,32
<i>Yhteensä</i>	<i>11,00</i>	<i>9,00</i>

Puunkäsittelyn työvaiheen kustannuksiin sisältyy yhden kuljettajan työpanos. Kuljettaja hoitaa koko puunsyötön laitokseen. Kuljettajan työpanos maksaa 0,85 mk/m³, joten ilman kuljettajaa puunkäsittelyn yksikköhinnaksi yksivuorotyössä tulisi 0,54 mk/m³.

Haketusta ohjaavan ja muuta laitteistoa valvovan operaattorin työn hinta on sisällytetty haketuksen kustannuksiin. Haketuksen kustannus ilman operaattoria olisi 2,94 mk/m³. Erotteluhaketuslaitoksen eri yksiköiden yksivuorotyön kustannuslaskelmat on esitetty liitteessä.

3.5 Kannattavuus

3.5.1 Hinnoitteluperusteet

Erotteluhaketuksen kannattavuutta arvioitiin laskemalla erotteluhaketuksella saatava kate. Lähtökohtana oli, että tyvilahoisen puutavaran hinta tehtaalla eli erottelupaikalla oli yhtä suuri kuin mäntykuitupuun tehdashinta (220 mk/m³). Perusteena oli ko. raaka-aineen käyttö sellunvalmistuksessa mäntykuitupuun veroisesti. Toisena tyvilahopuun lähtöhintana käytettiin mäntykuitupuun hintaa vähennettynä 50 mk/m³. Perusteena tälle oli se, että käytännössä tyvilahopuusta on usein maksettu vähemmän kuin mäntykuitupuusta. Kun prosessissa ei vaikuteta kuoren määrään, voidaan olettaa, että vertailulaskelmat koskevat kuoretonta puuta.

Erottelussa saatava, vain tervettä puuta sisältävä ja siis hierteen valmistukseen ohjattava, osite hinnoiteltiin kuusikuitupuun arvoiseksi (260 mk/m³).

Värivikaa ja kovaa lahoa sisältävä osite hinnoiteltiin mäntykuitupuun arvoiseksi (oletuksena selluntuotanto). Pehmeälahoisen osan arvo laskettiin siten, että mäntykuitupuun hinnasta vähennettiin tutkimustiedon perusteella määritetyt puunkäsittelyn ja sellunvalmistuksen aikaiset materiaalin hävikit ja lisäkustannukset. Väri ja lahovikainen osa hinnoiteltiin vaihtoehtoisesti myös puupolttoaineen arvoiseksi (34 mk/MWh eli 65 mk/m³).

Laskelmat perustuvat lahopusumaan, jossa tervettä puuta on 59 % tilavuudesta. Lahopuun määränä on käytetty Mäkelän ym. tutkimuksen tulosta (taulukko 3).

TAULUKKO 3 Laholuokkien osuudet Mäkelän ym. (1998) tutkimuksessa

<i>Puuaineen ominaisuus</i>	<i>Tilavuusosuus, %</i>
Terve puu	59
Värivika	8
Kova laho	29
Pehmeä laho	4

Kannattavuuslaskelmia tehtiin lisäksi siten, että erottelussa talteen saatavan hierrehakkeen osuutta (sitä kuvataan myöhemmin erottelutarkkuudella) terveen puun kokonaismäärästä vaihdeltiin.

Laskelmien perusteet olivat seuraavat:

		Puutavaralajin hinta (jalostusarvo) mk/m ³	
		Perushinta	Alennettu
<i>Mäntykuitupuun</i>		220,0	220,0
<i>Kuusikuitupuun</i>		260,0	260,0
<i>Laho kuusi erottelematta selluun</i>			
Mäntykuitupuun hinnalla	96 %	220,0	170,0
Pehmeälahoinen osa	4 %	149,6	115,6
Yhteensä		217,2	167,8
<i>Edellisessä pehmeälahoisen osan hinnoittelu</i>			
Mäntykuitupuun tehtaalla		220,0	170,0
Kuivatilavuuspainohäviö	-18 %	-39,6	-30,6
Hakkeen seulontarejekti	-5 %	-11,0	-8,5
Prosessin saantohäviö	-3 %	-6,6	-5,1
Kemikaalien lisäkulutus	-6 %	-13,2	-10,2
Laho osa selluun		149,6	115,6
<i>Laho kuusi polttoon</i>	34 mk/MWh	65,0	65,0

3.5.2 Kannattavuustarkastelut perushinnoilla

Kun erottelusta saadulle terveelle osalle lasketaan kuusikuitupuun arvo, ja muu osa ohjataan sellunvalmistukseen, saadaan perushinnoilla vaihtoehdon 1 mukainen tulos. Erottelutarkkuutta on vaihdeltu ja laitoksen kapasiteetti on laskettu yksi- ja kaksivuoroajon mukaan. Pienimmillä erottelutarkkuuksilla saattaisi olla mahdollista hakettaa osa tervettä puuta eroon ilman erillistä lahon tunnistuslaitteistoa. Tarkasteluun on tästä syystä laskettu mukaan myös vaihtoehto ilman lahon tunnistusta.

Vaihtoehto 1. Perushinnat, eroteltu terve hierteeseen, loput selluun.

Erotteluhaketuskustannuksen kapasiteetti yksivuorotyössä 240 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	42,5	70,8	99,1	127,4
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	7,1	11,8	16,5	21,2
Erotteluhaketuskustannus, mk/m ³	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>-3,9</u>	<u>0,8</u>	<u>5,5</u>	<u>10,3</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	-1,1	3,6	8,3	13,0

Erotteluhaketuskustannuksen kapasiteetti kaksivuorotyössä 480 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	85,0	141,6	198,2	254,9
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	7,1	11,8	16,5	21,2
Erotteluhaketuskustannus, mk/m ³	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>-2,0</u>	<u>2,8</u>	<u>7,5</u>	<u>12,2</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	0,1	4,8	9,6	14,3

Mikäli erottelusta ylijäänyt osite ohjataan polttoon, päädytään perushinnoilla seuraavaan tulokseen:

Vaihtoehto 2. Perushinnat, eroteltu terve hierteeseen, loput polttoon.

Erotteluhaketuskustannuksen kapasiteetti yksivuorotyössä 240 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	42,5	70,8	99,1	127,4
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	-117,7	-94,7	-71,7	-48,7
Erotteluhaketuskustannus, mk/m ³	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>-128,6</u>	<u>-105,6</u>	<u>-82,6</u>	<u>-59,6</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	-125,9	-102,9	-79,9	-56,8

Erotteluhaketuskustannuksen kapasiteetti kaksivuorotyössä 480 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	85,0	141,6	198,2	254,9
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	-117,7	-94,7	-71,7	-48,7
Erotteluhaketuskustannus, mk/m ³	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>-126,7</u>	<u>-103,7</u>	<u>-80,7</u>	<u>-57,7</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	-124,6	-101,6	-78,6	-55,6

3.5.3 Kannattavuustarkastelut alennetuilla hinnoilla

Vaihtoehto 3. Alennetut hinnat, eroteltu terve hierteeseen, loput selluun.

Erotteluhaustuslaitoksen kapasiteetti yksivuorotyössä 240 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	42,5	70,8	99,1	127,4
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	16,0	26,6	37,2	47,8
Erotteluhaustuskustannus, mk/m ³	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>5,0</u>	<u>15,6</u>	<u>26,2</u>	<u>36,8</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	7,8	18,4	29,0	39,6

Erotteluhaustuslaitoksen kapasiteetti kaksivuorotyössä 480 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	85,0	141,6	198,2	254,9
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	16,0	26,6	37,2	47,8
Erotteluhaustuskustannus, mk/m ³	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>6,9</u>	<u>17,6</u>	<u>28,2</u>	<u>38,8</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	9,0	19,6	30,2	40,9

Vaihtoehto 4. Alennetut hinnat, eroteltu terve hierteeseen, loput polttoon.

Erotteluhaustuslaitoksen kapasiteetti yksivuorotyössä 240 000 m³/vuosi.

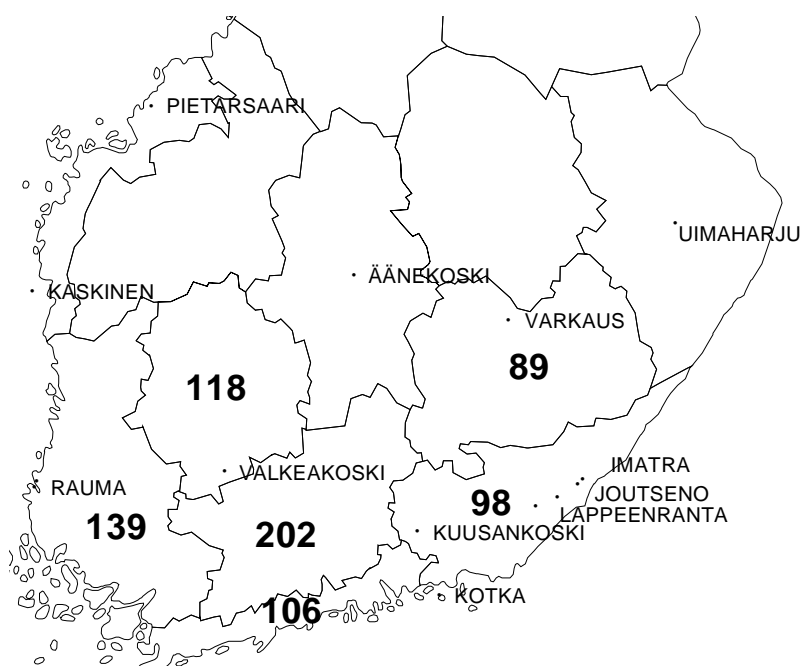
Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, 1000 m ³	42,5	70,8	99,1	127,4
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	-68,3	-45,3	-22,3	0,7
Erotteluhaustuskustannus, mk/m ³	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>-79,2</u>	<u>-56,2</u>	<u>-33,2</u>	<u>-10,2</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	-76,5	-53,5	-30,5	-7,4

Erotteluhaustuslaitoksen kapasiteetti kaksivuorotyössä 480 000 m³/vuosi.

Erottelutarkkuus	30 %	50 %	70 %	90 %
Hierteeseen saatava määrä, m ³	85,0	141,6	198,2	254,9
Hakkeen arvonlisäys, mk/m ³	-68,3	-45,3	-22,3	0,7
Erotteluhaustuskustannus, mk/m ³	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
<u>Tulos, mk/m³</u>	<u>-77,3</u>	<u>-54,3</u>	<u>-31,3</u>	<u>-8,3</u>
Tulos ilman lahon tunnistusta, mk/m ³	-75,2	-52,2	-29,2	-6,2

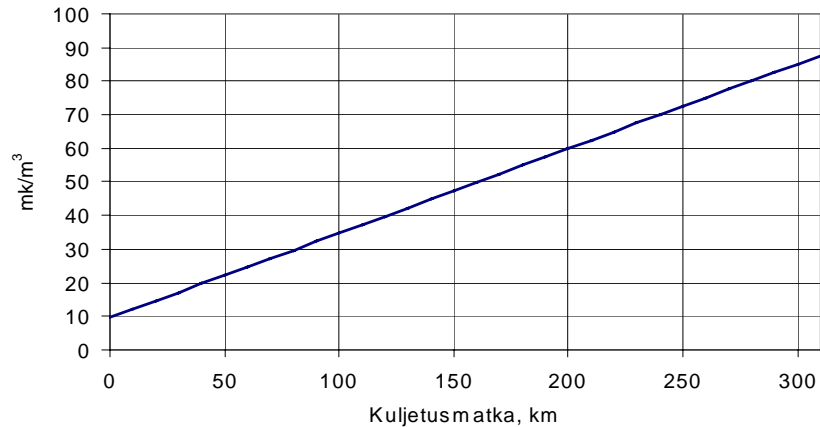
3.5.4 Eräitä kannattavuuteen vaikuttavia seikkoja

Kannattavuustarkasteluissa erotteluhaketuslaitoksen tuotantokustannusten ero yksi- ja kaksivuorotyössä oli $2,00 \text{ mk/m}^3$. Kaksivuorotyö kasvatti laitoksen kapasiteettia $240\,000 \text{ m}^3$. Kaksivuorotyössä yhden erotteluhaketuslaitoksen kapasiteetti olisi jo noin puolet vuotuisesta lahon kuusen kertymästä. Kapasiteetin kasvun vaikutus puunhankinta-alueen laajuuteen ja keskimääräiseen kuljetusmatkaan riippuu laitoksen sijaintipaikasta (kuva 2).



Kuva 2. Lahon kuusen kertymä, $1\,000 \text{ m}^3$, eteläisten metsäkeskusten alueella keskimääräisten lahoprocenttien ja vuoden 2000 hakkuumäärien mukaan.

Kaksivuorotyöstä saaduilla tuotantokustannussäästöillä ei keskikuljetusmatkan pidentymisestä johtuvaa kuljetuskustannusten kasvua kyetä korvaamaan (kuva 3). Pitkillä kuljetusmatkoilla kuljetuskustannuksia voidaan rautatiekuljetuksella alentaa verrattuna kuvassa 3 esitettyihin autokuljetuksen kustannuksiin. Erotteluhaketuslaitoksen kapasiteetti luonnollisesti määräytyy sen tuottamaa raaka-ainetta käyttävän prosessin vaatimusten mukaan, vaikka laitostekoa ei kuljetuskustannuksista johtuen kannattaisikaan suurentaa.



Kuva 3. Autokuljetuksen kustannukset 90 km keskilähtömatkalla ja 40 000 m³ vuosityömäärällä laskettuna.

Mikäli erotteluhaketuslaitoksen kapasiteettia ei pystytä täysimääräisesti hyödyntämään laholumppien erotteluhaketuksessa, ylijäävää kapasiteettia olisi mahdollista käyttää tavanomaisen kuitupuun erotteluhaketukseseen. Tavanomaisesta kuitupuusta erotteluhaketuksella tuotettuja, kuituominaisuuksiltaan eräviä ositteita, voitaneen jatkossa hyödyntää massan valmistuksessa nykyistä paremmin.

4 PUUN SISÄISEN LAHON TUNNISTAMISTEKNIIKAT

4.1 Tietokonetomografia

Tietokonetomografiassa eli kerroskuvauksessa kappale läpivalaistetaan röntgensäteilyn avulla, ja saaduista kuvista muodostetaan kolmiulotteinen malli tietokoneen avulla. Lääketieteessä saadaan satoja projektioita sisältävä kuva asettamalla säteilylähde ja vastaanottava detektori kuvattavan kohteen kiertävälle alustalle.

Puutavarakappaleiden on-line-kerroskuvauksessa ei ole mahdollista saada edellä kuvatun kaltaisesti satoja projektioita. Kuvaukseen on linjan nopeudesta riippuen käytettävissä vain muutamia sekunteja eikä kappaleen kiertäminen ole mahdollista. Ainoa mahdollisuus on käyttää kiinteitä säteilylähde-detektoripareja. Puutavarakappaleiden on-line-tutkimukseen soveltuvissa markkinoilla olevissa laitteissa näitä pareja on kolmesta neljään.

Metsätehon toimesta on tutkittu Bintec Oy:n valmistamaa Wood-X-tukkiröntgeniä kuitupuun ominaisuuksien, vikojen ja laadun määrittämisessä (Heino 2000). Tutkimuksen mukaan Wood-X-tukkiröntgen pystyy erottelemaan puusta ominaisuudet ja viat, joiden tiheys eroaa ympäristöstään tai terveestä puusta noin kymmenen prosenttia. Värivikoja, kuten esimerkiksi sinistymää, ei röntgensäteiden avulla kyetä paikallistamaan.

Käytettäessä röntgensäteiden absorptiotekniikkaa tiheyden mittaamiseen puusta, tieto puun eri osien absorptiokertoimista on erityisen tärkeä. Röntgenlaitteisto on kalibroitava vertailumittauksilla saaduilla tiedoilla käsiteltäväntyyppisten pölkkyjen tiheys- ja kosteusvaihtelusta.

Röntgenlaitteistoja valmistavat mm. Bintec Oy (Hollola), SR-Instruments Oy (Sodankylä) ja Simage Oy (Espoo).

4.2 Ultraääni

Ultraäänellä tarkoitetaan ihmisen kuuloalueen yläpuolella olevilla taajuuksilla esiintyvää akustista aaltoliikettä, joka etenee kaasussa, nesteessä tai kiinteässä aineessa. Ultraääniaaltojen etenemisnopeuteen vaikuttavat aineen laatu ja olomuoto. Ultraäänen taajuus on 20 kHz - 10 GHz ja sen etenemisnopeus ilmassa on noin 340 m/s ja vedessä noin 1 500 m/s.

Ultraäänen sovelluskohteita teollisuudessa ovat esim. ultraäänivirtausanturit, joita käytetään nesteen virtausnopeuden mittaamiseen, sekä erilaiset lähes-tymiskytkimet ja etäisyyden mittausanturi.

Mallittamismuotona ultraääni perustuu etenemiseen väliaineessa ja väliai- neen lähettämien kaikujen havaitsemiseen. Puun sisäisen lahon havaitsemi- ssa ultraäänen mahdollisuudet rajoittunevat vain täysin onton osan erotta- miseen.

4.3 Mikroaallot

Puuaineen sisäistä vaihtelua voidaan selvittää analysoimalla mikroaaltojen etenemistä ja vaimentumista siinä. Lappeenrannan teknillisessä korkeakou- lussa on toteutettu koelaitteisto, joka mittaa tutkittavan puun läpi kulkeneen ja siitä heijastuneen K-alueen mikroallosignaalin paikan ja suunnan funk- tion (Eskelinen, P. ja Eskelinen, H. 2000). Laitteistolla kyetään suhteelli- silla asteikoilla mittaamaan pienetkin oksat, näiden laatu, monia lahovikoja, hyönteisten tekemiä käytäviä ja terveen puun tiheysvaihteluita. Laitteistoa on toistaiseksi testattu vain laboratorio-olosuhteissa. Jatkotutkimukset kes- kittyvät riittävän pienikokoisen ja kestävän, rungon läpi kulkeneen mikro- aallosignaalin polarisaatiokäyttämisen mittaamiseen soveltuvien anturien suunnitteluun.

4.4 Kuvatulkinta

Eräs mahdollisuus on käyttää 3D-mittaukseen perustuvaa tukkimittaria täydennettynä silmämääräisellä lajittelulla. Lajittelija voisi esim. antaa pölkylle laholuokan tai terveen osan vahvuuden, joka yhdistettynä tukkimittarin antamiin pölkyn dimensioihin ohjaa haketusta. Optinen kuvatulkinta on myös mahdollista, mikäli pölkyt saadaan lähes kaatotuoreena lajitteluun. Pitempään varastoiduissa pölkkyissä, joiden päät ovat jo tummuneet, ei kuvatulkinnalla kyetä erottamaan lahoa osaa terveestä.

5 PÄÄTELMÄT

Erotteluhaketuksen toteuttamisen edellytys on, että erottelusta jäävä laho osite voidaan käyttää sellun valmistuksessa. Jos laho osite joudutaan ohjaamaan polttoon, ei toimintaa saada taloudellisesti kannattavaksi. Kun tuotantokustannukset laskettiin yksivuorotyön mukaan ja laho puunosa hinnoiteltiin mäntykuitupuun arvoiseksi, nollatulokseen päästiin noin 50 % erottelutarkkuudella. Ilman lahon tunnistamiseen tarvittavaa laitteistoa ja siitä aiheutuvia kustannuksia, nollatulokseen päästään jo 40 % erottelutarkkuudella.

Mikäli laholle kuuselle käytetään hintaa (50 mk) mäntykuitupuutehtaalla, päästään positiiviseen tuloksen jo 30 % erottelutarkkuudella. Lahon kuusen jalostusarvon hinnoittelu riippuu kunkin sellutehtaan tuotevalikoimasta eli siitä, miten kuusen kuituominaisuuksia arvotetaan kyseisen tehtaan tuotannossa. Jos lahon kuusen terveen osan sisältämät kuidut ovat tuotteen ominaisuuksien kannalta hyvin tärkeitä, ei niitä voida poistaa raaka-aineesumasta. Tehtaalla, jossa poistuva kuusi voidaan korvata mäntykuitupuulla tuotteen ominaisuuksien kärsimättä, olisi erotteluun paremmat mahdollisuudet.

Erotteluhaketuslaitos voidaan sijoittaa joko sellutehtaan tai hiertämön yhteyteen tai erilliseksi käsittelylaitokseksi erilleen tehtaista. Koska tällä hetkellä kannattava toiminta edellyttää lahovikaisen ositteen käyttöä selluntuotantoon, luontevin sijoituspaikka laitokselle on sellutehdas. Käytännössä tervettä, hiertoon ohjattavaa puuta saataisiin todennäköisesti vähemmän kuin puolet raaka-aineen määrästä. Kuljetuskustannukset minimoituisivat, kun vain hierrehake kuljetettaisiin toiseen paikkaan, ja lahopuuta sisältävä selluhake käytettäisiin paikan päällä ja siirrettäisiin prosessiin tai hakevarastoon kuljettimilla. Lisähyötyä tulisi siitäkkin, että mahdolliset ylilahot pölkkyt voitaisiin ohjata erotteluhaketuslaitoksen ohi suoraan normaaliin haketukseen.

6 JATKOTOIMENPITEET

Suuntaa antavat kustannuslaskelmat osoittavat, että erotteluhaketus olisi kannattavaa jo silloin, kun terveestä puuaineesta saataisiin talteen vain puolet. Kun erotteluhakkurin ohjaamiseen tarvittavaa lahon tunnistamistekniikkaa ei ole vielä valmiina, voitaisiin kokeilla erotteluhaketuksen onnistumista silmävaraisen ohjauksen perusteella. Sitä voitaisiin kokeilla nykyisillä sahalaitoksilla Veisto-sahalla tai pelkkahakkurilla.

Puunsisäisen lahon tunnistamiseen soveltuvaa tekniikkaa tulisi kehittää ja kokeilla. Eräissä yhteyksissä on jo nyt kehitteillä laitteita puun sisäisten ominaisuuksien tunnistamiseksi. Niiden kehittämiseen tulisi vaikuttaa siten, että kehittämisessä otettaisiin huomioon erotteluhaketuksessa tarvittava lahon tunnistaminen.

Koska laho esiintyy pölkyissä jossain määrin epäsäännöllisesti, terveen puuaineen joukkoon voisi erotteluhaketuksessa tulla jonkin verran lahovikaista puuta. Sen vuoksi väri- ja lahovikaisen puun käyttäytymistä hierrossa ja vaikutusta hierteen ominaisuuksiin tulisi tutkia. Tämä on tärkeää myös sen vuoksi, että tyvilahopölkkyjen tilavuudesta enemmän kuin kolmannes (37 %) on väri- ja lahovikainen ja kovaa lahoa. Jos tämä puuainekokos, tai vaikka vain osa siitä, kelpaisi hiertoon, erotteluhaketuksen kannattavuus parantuisi ja tuotos suurenisi merkittävästi. Hiertokokeissa tulisi mitata eri ositteiden hierrossa kuluva energia. Laboratoriolaittein tehtävissä kokeissa voitaisiin helposti käsitellä useita näytteitä ja mitata massan vaaleutta ja lujuutta sekä energiankulutustakin. Näytteen koko voisi olla minimissään noin 10 litraa. Tehdaskokeet puolestaan noudattaisivat käytännön prosessia ja sisältäisivät mm. seulonnan ja hakkeen pesun. Tehdaskokeessa näyte voisi olla esimerkiksi tunnin hierto, jossa tarvittaisiin minimissään noin 13–14 kiintokuutiota haketta.

Hiertoon erotettavasta ositteesta ja selluun käytettävistä laho-ositteista tulisi tehdä koekeitot ja määrittää niistä sellu- ja paperitekniset ominaisuudet. Tietoa tarvitaan erotushaketuksessa tuotettavien ositteiden käyttöarvojen määrittämiseksi ja niiden prosessivaikutusten arvioimiseksi.

Esiselvityksen perusteella esitetään seuraavat tehtävät ja tutkimustarpeet:

1. Tehdään laboratoriolaittein hiertokokeet, ja määritetään saatavan massan vaaleus ja valkaisu saatu tulos. Mitataan lujuusominaisuudet, ja tehdään sellun koekeitot ominaisuusmäärittämisineen. Ositteet ovat terve puuainekokos, erottelematon puu, lahovikainen osa sekä terveen ja lahovikaisen puun osuudet halutussa suhteessa. Jauhituksen tai hierron energiankulutus mitataan.

2. Kokeillaan erotteluhaketusta käytännössä, ja tuotetaan tehdaskokeissa tarvittava materiaali. Silmävaraista erotteluhakurin ohjausta voidaan kokeilla hakettavilla sahakoneilla. Tukkiröntgenin toimivuutta lahon tunnistamiseen voitaisiin mahdollisesti kokeilla Stora Enso Oyj:n Hämeenkosken sahall, jossa kyseinen laite on käytössä.
3. Testataan tehdaskokein tyvilahopuusta erotteluhaketuksella saadun hakkeen hierontaa käytännön prosessissa. Ositteet ovat erotteluhaketuksella saatu pääosin terve pintapuu, pääosin lahovikaista puuta käsittävä osite sekä erottelematon puu. Vaaleus- ja lujuusmäärytykset kuten laboratorio-kokeissa.
4. Tuotetaan tyvilahopölkkyjä kuvaavaa tietoa. Mitataan tyvilahopölkkyjä niin, että saadaan luotettava tieto pölkkyjen dimensiojakaumasta. Lahon sijaintia ja määrää pölkkyissä selvitetään pölkkyjen halki- tai poikittaisleikkauksista.
5. Täsmennetään puun sisäisen lahon tunnistamistekniikoiden kuvausta ja kehittämismahdollisuuksia.
6. Laaditaan erotteluhaketusasemasta tarkempi kuvaus, ja tarkennetaan erotteluhaketuksen kustannusarviota.
7. Esitetään tapaustarkasteluina erotteluhaketusasemien mahdollisia sijoituspaikkoja ja toteutusmalleja. Tarkasteluihin sisällytetään myös tavanomaisen kuitupuun erottelu haketuskapasiteetin mahdollistamissa puitteissa.

Edellä esitettyjen tehtävien täsmentämiseksi ja kokeiden suunnittelemiseksi kootaan suunnitteluryhmä, jossa on massanvalmistuksen ja -tutkimuksen sekä puunhankinnan ja tehdaskäsittelyn asiantuntijoita.

KIRJALLISUUS

- Eskelinen, P. ja Eskelinen, H.** 2000. A K-band microwave measuring system for the analysis of tree stems. *Silva Fennica* Vol. 34(1), 2000.
- Halonen, M.** 1997. Lahon kuusipuun soveltuvuus sulfaattiselluloosaprosessin raaka-aineeksi. Pro Gradu -tutkimus, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltavan kemian osasto.
- Heino, A.** 2000. Kuitupuun ominaisuuksien ja vikojen määrittäminen röntgensäteiden avulla. Opinnäytetyö, Hämeen Ammattikorkeakoulu, Evo.
- Mäkelä, M., Lipponen, K. ja Sainio, M.** 1998. Tyvilahoa sisältävän kuusen määrä, laatu ja käyttömahdollisuudet sellun raaka-aineena. Metsätehon raportti 50.
- Seppälä, M. J. (Toim.)** 1999. Kemiallinen metsäteollisuus 1. Paperimassan valmistus. Opetushallitus.
- Vahteri, R.** 1993. Raaka-aineen kuituvaatimukset nykyaikaisten prosessien ja tuotteiden näkökulmasta. Puunhankinnan ja metsäteknologian tutkijoiden koulutuspäivät 1993. Luentomoniste.
- Öhman, H.** 2001. Lahon merkitys kuiduttavassa teollisuudessa. Kehittyvä puuhuolto 2001 -seminaarijulkaisu. Metsäteho Oy.

LIITE Kustannuslaskelmat yksivuorotyön mukaan

Puunkäsittelyn kustannuslaskelma

Pyöräkuormaaja

Hankintahinta	500 000 mk
Jäännösarvo %	21
Jäännösarvo	105 000 mk
Pitoaika	7 a
Korko	7 %
Työntekijöitä	1
Vuoroja/päivä	1
Kk/a	11
Päiviä/kk	21
Tuntipalkka	55 mk/h
Sivukulut	100 %
Käyttöaste	90 %
Polttoaineen hinta	2,17 mk/l
Polttoaineen kulutus	10 l/käyttötunti
Korjaus ja huolto	10 mk/h 231 päivää/a 1 663 käyttötuntia/a 1 848 miestuntia/a

Tuotanto

Pölkyn pituus	3 m
Kouran koko	2 m ²
Kiintotilavuus	70 %

Pääomakulut

Poisto	56 429 mk/a
Pääoman korko	21 175 mk/a
	77 604 mk/a

Käyttökulut

Palkat	101 640 mk/a
Palkan sivukulut	101 640 mk/a
Polttoaine	36 091 mk/a
Korjaus ja huolto	16 632 mk/a
	256 003 mk/a

Kustannukset yhteensä

333 607 mk/a

Taakan koko	4,2 m ³
Taakka-aika	1 min
Taakkoja	60 kpl/h

Max. tuotanto 252 m³/h
419 126 m³/a

Tavoite = haketus-
kapasiteetti 240 772 m³/a

Puunkäsittely 1,39 mk/m³

Sisäänsyötön kustan- nuslaskelma

Porrasannostelija + kuljetin kuorimakoneelle

Hankintahinta	700 000 mk
Jäännösarvo %	11
Jäännösarvo	77 000 mk
Pitoaika	10 a
Korko	7 %
Työntekijöitä	0
Vuoroja/päivä	1
Kk/a	11
Päiviä/kk	21
Tuntipalkka	55 mk/h
Sivukulut	100 %
Käyttöaste	80 %
Sähkön hinta	0,33 mk/kWh
Sähkön kulutus	30 kWh/käyttötunti
Korjaus ja huolto	0,20 mk/m ³ 231 päivää/a 1 478 käyttötuntia/a 0 miestuntia/a

Tuotanto

Pölkyn pituus	3 m
Syöttönopeus	40 kpl/min
Pölkyn lm	24 cm

Syöttö 0,83 mk/m³

Pääomakulut

Poisto	62 300 mk/a
Pääoman korko	27 195 mk/a
	89 495 mk/a

Käyttökulut

Palkat	0 mk/a
Palkan sivukulut	0 mk/a
Sähkö	14 636 mk/a
Korjaus ja huolto	96 309 mk/a
	110 945 mk/a

Kustannukset yhteensä

200 440 mk/a

Pölkkyjä	2 400 kpl/h
Pölkyn koko	0,136 m ³ /kpl
Tuotanto	326 m ³ /h
	481 545 m ³ /a
Tavoite = haketus- kapasiteetti	240 772 m ³ /a

Lahon tunnistuksen kustannus- laskelma

Tukkiröntgen

Hankintahinta	3 000 000 mk
Jäännösarvo %	12
Jäännösarvo	360 000 mk
Pitoaika	6 a
Korko	7 %
Työntekijöitä	0
Vuoroja/päivä	1
Kk/a	11
Päiviä/kk	21
Tuntipalkka	55 mk/h
Sivukulut	100 %
Käyttöaste	80 %
Sähkön hinta	0,33 mk/kWh
Sähkön kulutus	30 kWh/käyttötunti
Korjaus ja huolto	0,20 mk/m ³ 231 päivää/a 1 478 käyttötuntia/a 0 miestuntia/a

Tuotanto

Pölkyn pituus	3 m
Syöttönopeus	40 kpl/min
Pölkyn lm	24 cm

Lahon tunnistus **2,78 mk/m³**

Pääomakulut

Poisto	440 000 mk/a
Pääoman korko	117 600 mk/a
	557 600 mk/a

Käyttökulut

Palkat	0 mk/a
Palkan sivukulut	0 mk/a
Sähkö	14 636 mk/a
Korjaus ja huolto	96 309 mk/a
	110 945 mk/a

Kustannukset yhteensä

668 545 mk/a

Pölkkyjä	2 400 kpl/h
Pölkyn koko	0,136 m ³ /kpl
Tuotanto	326 m ³ /h
	481 545 m ³ /a
Tavoite = haketus- kapasiteetti	240 772 m ³ /a

Kuorinnan kustan- nuslaskelma

Kuorintakone, peti ja kuori- kuljetin

Perusteet:

Kuorintakone 750 000
Peti ja kuorikuljetin 180 000

Valon Kone Oy Esa Parviainen
Lekopa Oy Jukka Niemi

Hankintahinta 930 000 mk
Jäännösarvo % 11
Jäännösarvo 102 300 mk
Pitoaika 10 a
Korko 7 %
Työntekijöitä 0
Vuoroja/päivä 1
Kk/a 11
Päiviä/kk 21
Tuntipalkka 55 mk/h
Sivukulut 100 %
Käyttöaste 80 %
Sähkön hinta 0,33 mk/kWh
Sähkön kulutus 100 kWh/käyttötunti

Pääomakulut
Poisto 82 770 mk/a
Pääoman korko 36 131 mk/a
118 901 mk/a

Käyttökulut
Palkat 0 mk/a
Palkan sivukulut 0 mk/a
Sähkö 48 787 mk/a
Korjaus ja huolto 48 907 mk/a
97 694 mk/a

Korjaus ja huolto 0,20 mk/m³
231 päivää/a
1 478 käyttötuntia/a
0 miestuntia/a

Kustannukset yhteensä 216 595 mk/a

Tuotanto

Pölkyn pituus 3 m
Syöttönopeus 65 m/min.
Pölkkyväli 0,20 m
Pölkyn lm 24 cm

Kuorinta 2,80 s/pölkky
Pölkkyjen väli 0,18 s/pölkky
Yhteensä 2,95 s/pölkky

Pölkkyjä 1 219 kpl/h
0,136 m³/kpl
Tuotanto 165 m³/h
244 535 m³/a

Tavoite = haketus-
kapasiteetti 240 772 m³/a

Kuorinta 0,90 mk/m³

Haketuksen kustannuslaskelma

Veistoerotushakkuri

Hankintahinta	500 000 mk
Jäännösarvo %	11
Jäännösarvo	275 000 mk
Pitoaika	10 a
Korko	7 %
Työntekijöitä	1
Vuoroja/päivä	1
Kk/a	11
Päiviä/kk	21
Tuntipalkka	55 mk/h
Sivukulut	100 %
Käyttöaste	80 %
Sähkön hinta	0,33 mk/kWh
Sähkön kulutus	300 kWh/käyttötunti
Korjaus ja huolto	1,00 mk/m ³ 231 päivää/a 1 478 käyttötuntia/a 1 848 miestuntia/a

Tuotanto

Pölkyn pituus	3 m
Syöttönopeus	60 m/min
Pölkkyväli	0 m
Pölkyn lm	24 cm

Haketus 3,78 mk/m³

Pääomakulut

Poisto	222 500 mk/a
Pääoman korko	97 125 mk/a
	319 625 mk/a

Käyttökulut

Palkat	101 640 mk/a
Palkan sivukulut	101 640 mk/a
Sähkö	146 362 mk/a
Korjaus ja huolto	240 772 mk/a
	590 414 mk/a

Kustannukset yhteensä

910 039 mk/a

Haketus	3,0 s/pölkky
Pölkkyjen väli	0 s/pölkky
Yhteensä	3,0 s/pölkky

Pölkkyjä	1 200 kpl/h 0,136 m ³ /kpl
----------	--

Tuotanto	163 m ³ /h 240 772 m ³ /a
----------	--

Hakkeen käsittelyn kustannuslas- kelma

Hakeseulat ja kuljettimet

2 kpl

Hankintahinta	700 000 mk
Jäännösarvo %	11
Jäännösarvo	77 000 mk
Pitoaika	10 a
Korko	7 %
Työntekijöitä	0
Vuoroja/päivä	1
Kk/a	11
Päiviä/kk	21
Tuntipalkka	55 mk/h
Sivukulut	100 %
Käyttöaste	80 %
Sähkön hinta	0,33 mk/kWh
Sähkön kulutus	100 kWh/käyttötunti
Korjaus ja huolto	0,10 mk/m ³ 231 päivää/a 1 478 käyttötuntia/a 0 miestuntia/a

Pääomakulut

Poisto	62 300 mk/a
Pääoman korko	27 195 mk/a
	89 495 mk/a

Käyttökulut

Palkat	0 mk/a
Palkan sivukulut	0 mk/a
Sähkö	48 787 mk/a
Korjaus ja huolto	24 077 mk/a
	72 864 mk/a

Kustannukset yh- teensä

162 359 mk/a

Tuotanto

Haketuskapasiteetti 240 772 m³/a

Seulonta 0,67 mk/m³

Tuotantotilan kustannuslaskelma

Tuotantorakennus

Hankintahinta	1 000 000 mk
Jäännösarvo %	35
Jäännösarvo	350 000 mk
Pitoaika	10 a
Korko	7 %
Työntekijöitä	0
Vuoroja/päivä	1
Kk/a	11
Päiviä/kk	21
Tuntipalkka	55 mk/h
Sivukulut	100 %
Käyttöaste	100 %
Sähkön hinta	0,33 mk/kWh
Sähkön kulutus	10 kWh/käyttötunti
Korjaus ja huolto	3 % hankintahinnasta 231 päivää/a 1 848 käyttötuntia/a 0 miestuntia/a

Pääomakulut

Poisto	65 000 mk/a
Pääoman korko	47 250 mk/a
	112 250 mk/a

Käyttökulut

Palkat	0 mk/a
Palkan sivukulut	0 mk/a
Sähkö	6 098 mk/a
Korjaus ja huolto	30 000 mk/a
3 % hankintahinnasta	36 098 mk/a

Kustannukset yhteensä

148 348 mk/a

Tuotanto

Haketuskapasiteetti 240 772 m³/a

Rakennus

0,62 mk/m³