

**Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto  
ketjukarsinta-kuorintatekniikalla**

**Kaarlo Rieppo ja Asko Poikela, Metsäteho Oy  
Pentti Hakkila, Metsäntutkimuslaitos  
Veli-Juhani Aho ja Lauri Nikala, VTT Energia**

Metsätehon raportti 2  
26.6.1996

Konsortiohanke

Asiasanat: ketjukarsinta, kuorinta, haketus, murskaus, selluhake,  
bioenergia

*Keywords: Chain-flail delimiting, debarking, chipping, chrushing,  
pulpwood chip, bioenergy*

*Summary in English*

Helsinki 1996

## SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>4</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>ESIPUHE</b> .....	<b>6</b>
<b>1 PROJEKTIN TAUSTA</b> .....	<b>8</b>
<b>2 TAVOITE</b> .....	<b>9</b>
2.1 Osaprojekti 1 .....	9
2.2 Osaprojekti 2 .....	9
2.3 Osaprojekti 3 .....	9
2.4 Osaprojekti 4 .....	9
<b>3 OSAPROJEKTIN 1 ”KETJUKARSINTA-KUORINTA-MENETELMÄN KEHITTÄMINEN” TULOKSET</b> .....	<b>10</b>
3.1 Aineistot ja menetelmät .....	10
3.2 Eri tekijöiden vaikutus PP:n tehoajanmenekkiin.....	11
3.3 PP:n ajanmenekit ja käyttötuntituotokset.....	16
3.4 Vuoden 1994 kokeet.....	17
3.5 Kuoripitoisuus.....	20
3.6 Käyttöasteet, tuntikustannukset ja haketushinnat .....	21
3.7 Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän kustannuslaskentamalli .....	26
3.7.1 Laskentamallin rakenne .....	26
3.7.2 Mallin laskentaperusteet .....	30
3.8 Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän käsittelyketjuvertailut .....	30
3.8.1 Yleistetyt case-tapaukset .....	35
3.8.2 Todelliset case-tapaukset.....	45
3.9 Työmaan organisointi .....	54
3.10 Metsäalan kustannuslaskentamallien kehittäminen .....	55
3.11 Latvusmassamallin kehittäminen .....	47
<b>4 OSAPROJEKTIN 2 ”YHDISTETTY KETJUKARSINTA- JA RUMPUKUORINTA” TULOKSET</b> .....	<b>48</b>
4.1 Koe ensimmäisellä prototyypillä .....	58
4.2 Koe parannetulla koelaitteistolla .....	51
4.2.1 Kiinteän ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteiston rakenne .....	61
4.2.2 Koetulokset .....	62
4.2.3 Laitteen jatkokehitys .....	69

<b>5 OSAPROJEKTIN 3 ”KETJUKARSINTAMURSKKEEN KÄSITTELY JA JAKELU” TULOKSET .....</b>	<b>59</b>
<b>6 OSAPROJEKTIN 4 ”PUUN KUORINNAN TEHOSTAMINEN</b>	
<b>KETJUKARSINNASSA” TULOKSET .....</b>	<b>72</b>
6.1 Osaprojektin toteutus .....	72
6.2 Laitteiston toteuttaminen .....	73
6.2.1 Laitteiston suunnittelu .....	73
6.2.2 Laitteiston rakentaminen .....	73
6.2.3 Laitteiston koeajot ja muutokset .....	75
6.2.4 Laitteiston ominaisuudet .....	75
6.3 Mittauksien suorittaminen .....	76
6.3.1 Karsijakuorijakokeet .....	76
6.3.2 Näytteenottomenetelmä.....	79
6.3.3 Koemateriaalit .....	79
6.4 Koetulokset .....	81
6.4.1 Sulan puun kokeet.....	81
6.4.2 Jäätäneen puun kokeet .....	83
6.4.3 Puun eri osien kuoriutuminen .....	85
6.4.4 Jäävän puun rikkoutuminen .....	86
6.4.5 Ketju- ja harjakokeiden eroista .....	87
6.4.6 Yhteenveto koeajoista .....	88
<b>7 JATKOTOIMENPITEET .....</b>	<b>74</b>
<b>8 JULKAISUT JA RAPORTIT .....</b>	<b>92</b>
<b>LIITTEET 1 - 5</b>	

## TIIVISTELMÄ

Hankkeessa kehitettiin pienikokoiselle kuitupuulle ketjukarsinta-kuorintaan perustuva hankintamenetelmä. Menetelmässä puut karsitaan - tarvittaessa - ja kuoritaan ketjukarsija-kuorijalla ennen haketusta yhdellä koneella. Hankkeen toteuttivat Metsäteho Oy, Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia yhteistyössä Pertti Szepaniak Oy:n ja Enso Oy:n kanssa.

Peterson Pacificin käyttöön perustuvalla ketjukarsinta-kuorintahaketus-menetelmälle kehitettiin tutkimustuloksiin perustuen laskentamalli, jolla voidaan määrittää selluhakkeen ja sen ohessa syntyvän polttoraaka-aineen kustannukset erilaisia hankintamenetelmiä ja -ketjuja käytettäessä. Esimerkkilaskelmien perusteella todettiin, että tienvarsivarastokoon on yleensä oltava vähintään 250 - 1 000 m<sup>3</sup>, jotta se kannattaisi hakettaa tienvarressa. Vaihteluväli johtuu erilaisista raaka-aineista ja eripituisista kaukokuljetusmatkoista. Kokopuun haketus kannattaa tehdä pienemmällä varastokoolla tienvarressa kuin osapuulla ja normaalilla tavaralajilla. Lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla tehdaskäsittelyyn perustuvan hankintaketjun edullisuus paranee suhteessa tienvarsi- ja terminaalivarastoketjuihin. Erilaisten käsittelyketjujen keskinäinen edullisuus riippuu aina voimakkaasti käsittelypaikkojen sijainnista tienvarsivarastoon nähden.

Kiinteäksi rakennetulla ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteistolla tehtyjen ensimmäisten kokeiden perusteella laitteistolla tullaan pääsemään männyllä hyväksyttävään kuoripitoisuuteen ainakin lämpötilaan -10 °C saakka. Kokeet jatkuvat erillisessä hankkeessa 1996 - 1997.

Morbark 1200 -vasaramurskaimella ketjukarsinta-kuorintatähteestä tehty murske soveltuu palakokojakaumansa puolesta hyvin lämpölaitosten polttoaineeksi. Murskeen varastointiaika tulisi rajoittaa vain muutamaan viikkoon.

Projektissa kehitetyllä ketjukarsinta-kuorintasimulaattorilla voidaan tutkia ketjujen ja harjojen pituuksien, asettelun, iskukulmien ja iskunopeuksien vaikutusta oksien ja kuoren poistamiseen. Alustavia kokeita on tehty. On todettu varsin selvästi pyörintänopeuden vaikutus kuorintatulokseen ja puuhävikkiin. Kokeet jatkuvat 1996 - 1997 erillisessä hankkeessa.

## **SUMMARY**

*The objective of the research was to develop a procurement method for small-diameter pulpwood based on chain-flail delimiting-debarking method. The project was carried out as cooperation between Metsäteho Oy, Finnish Forest Research Institute (METLA), VTT Energy, Pertti Szepaniak Oy and Enso Oy.*

*A calculation model, by which it is possible to determine the costs of pulpwood chips and fuel-rawmaterials was developed for chain-flail delimiting-debarking-chipping method based on utilization of Peterson Pacific device. The size of the road-side storage has usually to be at least 250 - 1000 m<sup>3</sup> that road-side chipping would be profitable. It is profitable to chip the whole-trees with smaller storage size, than it is in the case of tree-section and normal shortwood methods. When the length of the long-distance transportation becomes shorter, the profitability of timber procurement, based on chipping at the plant, increases in comparison with road-side and terminal storage systems. The mutual profitability of different timber processing systems depends always strongly on how optimally the different timber processing places are located in respect to the road-side storage.*

*The preliminary test results of the fixed version of the combined chain-flail delimiting drum-debarking equipment which was constructed by Pertti Szepaniak Oy have shown that it will be possible to obtain pine chips with approved bark content at least to temperature -10 °C. The tests will continue during 1996.*

*The suitability of the Morbark 1200 hammer-crusher for processing chain-flail delimiting-debarking residues is good. The storage time of the chips should be reduced to few weeks only.*

*A delimiting-debarking simulator, by which it is possible to study the effects of the lengths of the chains and brushes, the positioning, the hit-angles and speeds on the removal of branches and bark, has been compiled. The effect of the rotation speed on the delimiting result and wood-losses has been noticed in the tests. The tests will be continued during 1996.*

## ESIPUHE

Bioenergian tutkimusohjelman projektissa 101 ”Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla” kehitettiin ketjukarsinta-kuorinta-haketukseen perustuva menetelmä, joka selluhakkeen lisäksi tuottaa oheistuotteena polttokäyttöön edelleenkäsiteltynä soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta.

Ketjukarsinta-kuorintatekniikkaan liittyvä projekti alkoi vuonna 1993 Peterson Pacific -ketjukarsinta-kuorinta-haketuslaitteiston tutkimisella. Vuosina 1994 - 1995 ketjukarsinta-kuorintahankkeen muodostivat neljä erillistä osaprojektia. Tämä on näiden osaprojektien yhteinen loppuraportti vuosien 1993 - 1995 tutkimuksista ja tuloksista. Projektin koordinoinnista ja kahdesta osaprojektista on vastannut Metsäteho Oy. Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia ovat kumpikin vastanneet yhdestä osaprojektista.

Projektin johtoryhmätyöskentelyyn jäsenenä tai asiantuntijoina ovat vuosien

1993 - 1995 kuluessa osallistuneet seuraavat henkilöt

maat. ja metsät. kand. Ahti Ullgren, Enso Oy,  
metsänhoitaja Kari Kuvaja, Enso Oy,  
dipl.ins. Aimo Aalto, KTM,  
ins. Veli-Juhani Aho, VTT Energia,  
prof. Pentti Hakkila, Metsäntutkimuslaitos,  
metsätalousins. Jukka Huovinen, Enso Oy,  
metsänhoitaja Juhani Hämäläinen, UPM-Kymmene Oy,  
metsätalousins. Hannu Kalaja, Metsäntutkimuslaitos,  
metsänhoitaja Pekka-Juhani Kuitto, VTT Energia,  
koneteknikko Jouko Kähkönen, Enocell Oy,  
maat. ja metsät. kand. Risto Lilleberg, Metsäteho Oy,  
maat. ja metsät. lis. Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos,  
metsätalousins. Tarmo Pesonen, Enso Oy,  
dipl.ins., maat. ja metsät. maist. Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy,  
metsänhoitaja Jorma Solismaa, UPM-Kymmene Oy,  
kuljetuspäällikkö Pekka Szepaniak, Pertti Szepaniak Oy,  
toim.joht. Pertti Szepaniak, Pertti Szepaniak Oy ja  
metsänhoitaja Ahti Äikäs, Enso Oy.

Johtoryhmä on kokoontunut vuosittain 2 - 3 kertaa.

Ketjukarsintaprojektin vastuullisena johtajana oli 1993 Pekka-Juhani Kuitto ja vuosina 1994 - 1995 Kaarlo Rieppo. Rieppo vastasi myös Metsätehon osaprojekteista ja tämän raportin koostamisesta. Metsätehon projektiryhmään kuuluivat lisäksi projektitutkija Asko Poikela, atk-ohjelmoija Jarmo Lindroos ja työntutkija Kari Uusi-Pantti. Metsäntutkimuslaitoksen osaprojektista 3 vastasi Pentti Hakkila, ja sen toteutti osittain alihankintana Joensuun yliopistosta Päivi Pulkkinen ja Antti Asikainen. VTT Energiassa osaprojektista 4 vastasi Veli-Juhani Aho.

Projektin rahoitus vuonna 1993 oli 242 000 mk, josta Bioenergiatutkimusohjelman osuus 220 000 mk.

Projektin rahoitus oli vuonna 1994 yhteensä 2 058 000 mk, josta Bioenergian tutkimusohjelman osuus oli 800 000 mk (osaprojekteittain 290, 85, 225 ja 200 tuhatta markkaa).

Vuonna 1995 projektin rahoitus oli yhteensä 1 983 000 mk, josta Bioenergian tutkimusohjelman osuus oli 800 000 mk (osaprojekteittain 155, 258, 0 ja 387 tuhatta markkaa).

Lisätietoja projektista antavat Kaarlo Rieppo Metsäteho Oy, puh. (09) 132 521, Pentti Hakkila Metsäntutkimuslaitos, puh. (09) 857 051 ja Veli-Juhani Aho VTT Energia, puh. (014) 672 611.

# 1 PROJEKTIN TAUSTA

Imatralainen Pertti Szepaniak Oy hankki vuonna 1991 ensimmäisenä Euroopassa USA:sta ketjukarsinta-kuorintamenetelmää käyttävän haketuslaitteiston, tyypiltään Peterson Pacific 5000 DDC. Ketjukarsinta-kuorintamenetelmässä puut kuoritaan tai karsitaan ja kuoritaan joukkokäsiteltyinä ennen haketusta yhdellä koneella. Selluhakkeen lisäksi menetelmä tuottaa oheistuotteena edelleenkäsiteltynä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta.

Ketjukarsinta-kuorintamenetelmän tutkimisen aloittivat vuonna 1992 Metsäteho, Metsäntutkimuslaitos, Pertti Szepaniak Oy ja Enso-Gutzeit Oy, ja se jatkui 1993 alkaneessa Bioenergia-tutkimusohjelmassa. Metsäteho tutki ketjukarsinta-kuorintamenetelmän tuottavuutta ja kustannuksia ja Metsäntutkimuslaitos raaka-ainetasetta sekä selluhakkeen ja karsintamurskeen kertymiä ja ominaisuuksia.

Ketjukarsintakuorintamenetelmän käyttöönsaamisessa on olennaisin tekijä valmistettavan selluhakkeen laatu ja hinta. Jos menetelmän tuottavuus on riittävä ja samanaikaisesti selluhakkeen palakokojakauma ja kuoripitoisuus hyväksyttävä, on selluhakkeen tuottaminen menetelmällä kannattavaa. Tästä puolestaan seuraa, että menetelmällä voidaan tuottaa merkittävä määrä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta.

Ketjukarsinta-kuorintahanketta koordinoi Metsäteho Oy. Vuosina 1994 -1995 hanke muodostui seuraavista osaprojekteista:

- Osaprojekti 1: Ketjukarsintakuorintamenetelmän kehittäminen (vastuututkija Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy)
- Osaprojekti 2: Yhdistetty ketjukarsinta- ja rumpukuorinta (vastuututkija Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy)
- Osaprojekti 3: Ketjukarsintamurskeen käsittely ja jakelu (vastuututkija Pentti Hakkila, Metsäntutkimuslaitos)
- Osaprojekti 4: Puun kuorinnan tehostaminen ketjukarsinnassa (vastuututkija Veli-Juhani Aho, VTT Energia)

Projekti toteutettiin edellä mainittujen laitosten sekä Pertti Szepaniak Oy:n ja Enso Oy:n yhteistyönä. Kokeiluihin osallistui myös Metsäliitto Osuus-

kunta, ja johtoryhmään kuului myös UPM-Kymmene Oy:n edustajia. Projektia rahoitti edellä mainittujen lisäksi KTM:n energiaosasto ja TEKES Bioenergia-ohjelman kautta.



## **2 TAVOITE**

### **2.1 Osaprojekti 1**

Projektin tavoitteena oli kehittää ja saada tuotantokäyttöön ketjukarsintakuorintatekniikkaan perustuva, harvennuspuun jalostus- ja energiakäytön kilpailukykyä edistävä puupolttoaineen ja teollisuuden ainespuun integroitu menetelmä. Edelleen projektin tavoitteena oli kehittää pienten puiden joukkokäsittelyyn soveltuva menetelmä, jolla voidaan tuottaa kilpailukykyiseen hintaan sekä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta että selluteollisuuden käyttöön hyvälaatuista haketta.

### **2.2 Osaprojekti 2**

Osaprojektin tavoitteena oli kehittää pienten puiden joukkokäsittelyyn soveltuva menetelmä, jolla voidaan tuottaa kilpailukykyiseen hintaan sekä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta että selluteollisuuden käyttöön hyvälaatuista haketta. Tavoitteena oli päästä havuselluhakkeella alle 0,5 %:n ja koivuselluhakkeella alle 1,0 %:n kuoripitoisuuteen. Polttohakkeen osalta oli tavoitteena niin alhainen hinta, että polttohake on kilpailukykyistä muihin polttoraaka-aineisiin verrattuna. Yleistavoitteena oli myös kehittää menetelmä, jota sellutehtaat pystyvät käyttämään kuorintahuippujen tasaamiseen. Tällöin tulee edulliseksi ohjata nimenomaan järeydeltään pienempi raaka-aine tällaisella laitteistolla käsiteltäväksi.

### **2.3 Osaprojekti 3**

Osaprojektin tavoitteena oli löytää tekninen ja organisatorinen ratkaisu, jonka avulla ketjukarsinta-kuorintajäte ja sen ohella myös esimerkiksi hakkuutähde (tuore ja kuiva) voidaan murskata hinnaltaan kilpailukykyiseksi ja laadultaan kelpolliseksi polttoaineeksi ensisijaisesti suurkulutukseen tähdäten.

### **2.4 Osaprojekti 4**

Projektin tavoitteena on kehittää ketjukarsintakuorintamenetelmää siten, että kyetään pienentämään jäävän puun kuoripitoisuus alle 1 %:n ennen haketusta ja pienentämään hakkurille menevien tikkujen ja epäpuhtauksien määrää sekä kyetään hyödyntämään erottuva kuori- ja oksa-aines sekä muut epäpuhtaudet suoraan energiantuotantoa varten. Vuoden 1995

osaprojektin tavoitteena oli tehdä alustavaa perus- ja soveltavaa tutkimusta erilaisten ketju- ja harjayhdistelmien toimivuudesta puun kuorinnassa laboratorio-olosuhteissa.

### **3 OSAPROJEKTIN 1 ”KETJUKARSINTA-KUORINTA-MENETELMÄN KEHITTÄMINEN” TULOKSET**

#### **3.1 Aineistot ja menetelmät**

Peterson Pacific DDC 5000 -ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön (jäljempänä PP) tuottavuudesta projektissa hankittu aineisto koostui pääosin erilaisista mäntykokeista muutamaa kuusi-mäntyerää ja koivukoetta lukuunottamatta. *Ellei jäljempänä tekstissä erikseen mainita, on kyse mäntykokeiden tuloksista.*

Analysoinneissa käytettävissä ollut aineisto selluhakkeena ilmaistuna oli seuraavanlainen:

Puuraaka-aineet	Väli- varastolla i-m <sup>3</sup>	Tehdas- varastolla
Mäntyosapuu	5 612	3 602
Kuusiosapuu	199	-
Mänty-kuusiosapuusekoitus	803	34
Mäntyosa-ainespuun latvat	1 459	-
Mäntytavaralaji	88	1 003
Joukkokäsittelyhakkuukoneella valmistettu mäntytavaralaji	939	320
Mäntyosapuun ja tavaralajin sekoitus	-	616
Mäntytavaralaji	-	229
Mänty-kuusiosapuusekoitus (93 % / 7 %)	753	-
Koivuosapuu	-	122

Kaikki kerätyt aineistot olivat mukana analysoinnissa, jossa selvitettiin eri tekijöiden vaikutukset PP:n tuottavuuteen. Tutkittuja muuttujia olivat kuljettaja, varastotyyppi, puuraaka-aine, puulajisuhde, järeyys, oksaisuus, katkontapituus, kasan korkeus, lumen määrä ja lämpötila.

Aluksi määritettiin em. tekijöiden vaikutukset PP:n prosessointituottavuuteen, jolla tarkoitetaan syöttöaikaan suhteutettua tuotosta. Prosessointituottavuuden analysoinnissa oli pienin tarkasteluyksikkö

hakelava. Kun prosessointiaikaan lisättiin apuajat eli ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön (jäljempänä kkh-yksikkö) siirtyminen kasalla, valmistelu/päättyminen ja auton odotus kuormauksen aikana, päästiin tehoaikaan ( $E_0$ ). Apuajojen laskentaa varten aineisto ryhmiteltiin isompiin vertailujoukkoihin (vähintään 2 - 3 rekkakuormaa) kuin prosessoinnin analysoinnissa, koska apuajat vaihtelivat runsaasti vakio-oloissakin. Edelleen aikatutkimusaineistosta määritettiin lyhyiden keskeytysten (< 15 min) ajanmenekit eri varasto-oloissa ja puuraaka-aineilla. Lisäämällä tämä ajanmenekki tehoaikaan päästiin käyttöaikaan ( $E_{15}$ ).

Vuonna 1994 toteutettiin myös noin 4 kuukauden pituinen seuranta-tutkimus, jolla tarkennettiin käyttöastetta ja tuotantoajan jakautumista eri osa-aikoihin.

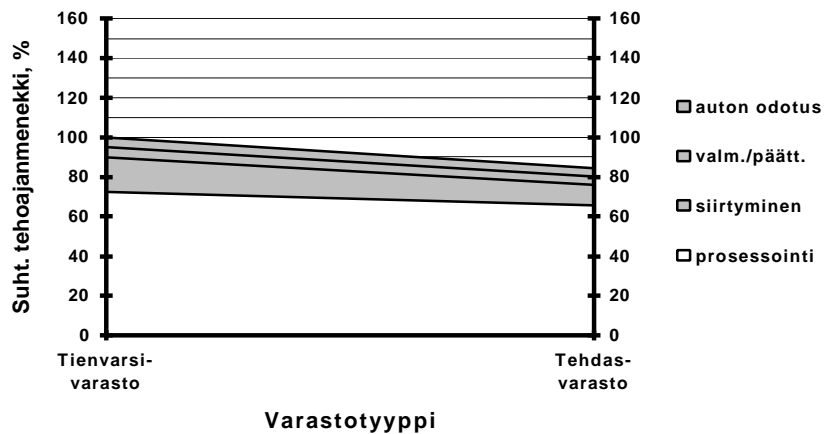
Edelleen vuoden 1994 aikana saatiin projektin käyttöön Pertti Sze-paniak Oy:n kirjanpitoon perustuvat tutkimuskonetta koskevat kustannustiedot, joiden perusteella laadittiin kustannuslaskentamalli laitekokonaisuuden käyttötuntikustannusten määrittämiseksi.

### **3.2 Eri tekijöiden vaikutus Peterson Pacificin tehoajanmenekkiin**

Vaikutukset selvitettiin vertailevan aikatutkimuksen periaatteiden mukaisesti, ts. tietyn tekijän vaikutus pyrittiin saamaan esiin vakioimalla mahdollisimman tarkasti muut mitattavissa olleet tekijät. Vaikutus määritettiin erikseen prosessointiajanmenekille ja apuajoille. *Niissä vertailuissa, joissa aineistoa oli niukasti, apuajat jouduttiin oletamaan olosuhteista riippumattomiksi vakioiksi.*

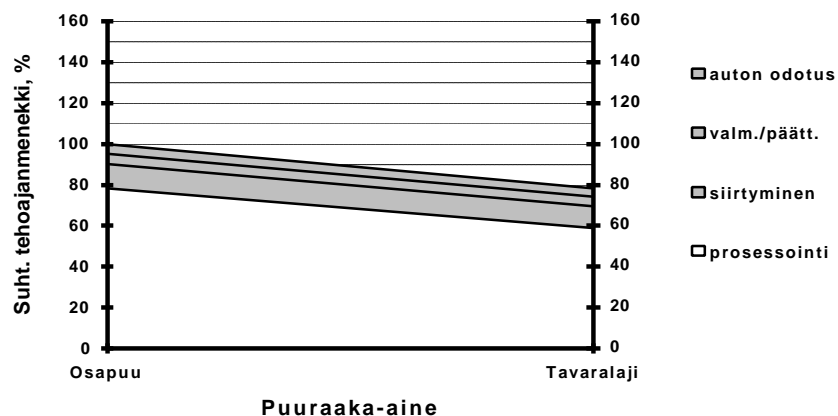
Kuljettajalla oli suuri vaikutus PP:n tuottavuuteen. Jos nopeimman tutkimuksessa mukana olleen kuljettajan tehoajanmenekkiä merkitään luvulla 100, oli hitaimman kuljettajan tehoajanmenekki 180. Muiden kuljettajien suhteelliset tehoajanmenekit nopeimpaan kuljettajaan verrattuina olivat 115 - 150.

Tehoajanmenekki tehdasvarastolla oli 15 % pienempi kuin tienvarsivarastolla (kuva 1). Apuajat pienuivat selvemmin kuin prosessoinnin ajanmenekki siirryttäessä tienvarsivarastolta tehtaalle. Eniten väheni kuormauksen aikana tehtyjen siirtymisten ajanmenekki.



**Kuva 1.** Varastotyypin vaikutus Peterson Pacific DDC 5000 -kkh-yksikön suhteelliseen tehoajanmenekkiin

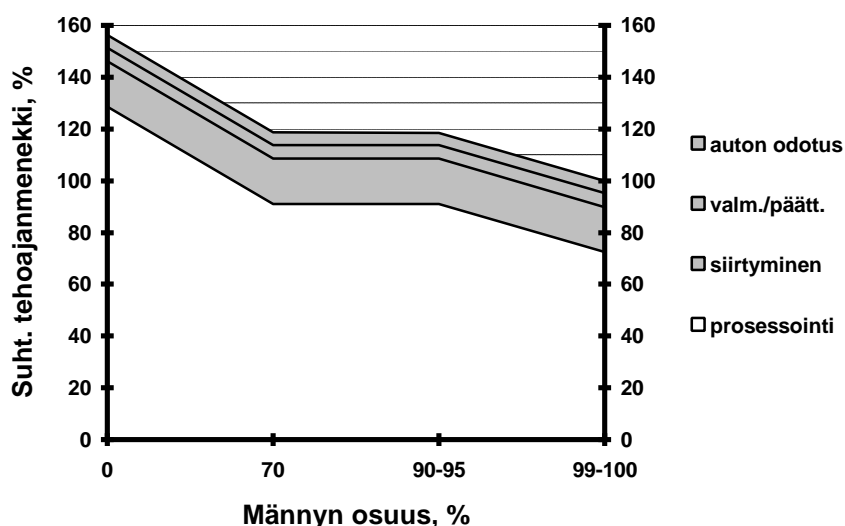
Tavaralajin haketuksen tehoajanmenekki oli yli 20 % pienempi kuin osapuun. Erot apuajoissa olivat pienempiä kuin prosessoinnissa, mutta samansuuntaisia (kuva 2). Tavaralajin ja joukkokäsitellyn ajanmenekki oli lähes sama. Kun raaka-aineena oli osapuun ja tavaralajin sekoitus (> R2-luokat valmistettu tavaralajeiksi), oli ajanmenekki viidenneksen suurempi kuin puhtaalla tavaralajilla. Kuljetuspituuksiin katkotun kokopuun (= latvat mukana) tehoajanmenekki oli 8 % suurempi kuin osapuun (= latvat ei mukana), kun oletettiin, että apuajat ovat samat.



**Kuva 2.** Puuraaka-aineen vaikutus Peterson Pacific DDC 5000 -kkh-yksikön suhteelliseen tehoajanmenekkiin

Puulajisuhteen vaikutusta selvitetessä tehtiin oletus, että apuajat pysyvät samoina männyn osuudesta riippumatta. Kuusella siirtymisten ajanmenekki on jätteen lisääntymisen vuoksi käytännössä todennäköisesti suurempi, mutta kuusiaineiston vähäisyydestä johtuen vaikutusta ei pystytty määrittämään. Jo 5 - 10 %:n osuus kuusta lisäsi tehoajanmenekkiä lähes 20 % (kuva 3). Ajanmenekki pysyi samana kuusen määrän lisääntyessä 5 - 10 %:sta 30 %:iin. Pelkkää kuusta hakeuttaessa ajanmenekki oli 56 % suurempi kuin pelkkää mäntyä hakeuttaessa.

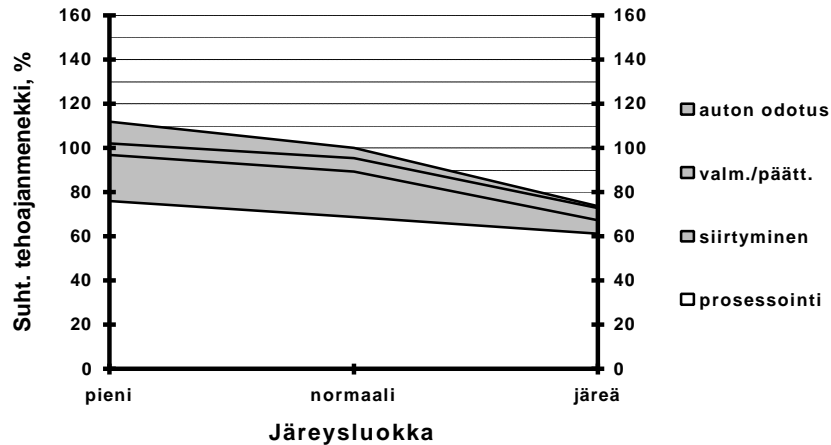
Kuusta sisältävästä kasasta on vaikea saada kuormaimella ehjiä taakkoja. Pitkät ja sitkeät oksat takertuvat kasaan ja hajottavat taakan. Oksat vähentävät myös pinotiheyttä, mikä lisää taakkojen määrää hakekuormaa kohti.



**Kuva 3.** Puulajisuhteen vaikutus Peterson Pacific DDC 5000 -kkh-yksikön suhteelliseen tehoajanmenekkiin

Järeystarkasteluja varten aineisto jaettiin rungon keskikoon mukaan kolmeen luokkaan: pieni (alle 50 dm<sup>3</sup>), normaali (50 - 70 dm<sup>3</sup>) ja järeä (yli 70 dm<sup>3</sup>). Järeydeltään keskimääräistä pienemmän puuraaka-aineen haketuksen tehoajanmenekki oli noin 10 - 20 % suurempi kuin normaalikokoisen (kuva 4). Oksaisuus jyrkensi vaikutusta, ts. mitä oksaisempaa raaka-aine oli, sitä enemmän ajanmenekki kasvoi järeyden pienetessä. Vaikutus selittyy pinotihedellä, joka vaikuttaa sekä taakkojen kokoon että siirtymis- ja siivoamistarpeeseen; pienet pölkyt ovat kasassa harvemmassa ja jos pölkyissä on lisäksi runsaasti oksia, ne vähentävät tiheyttä jyrkimmin juuri pienillä pölkyillä.

Normaalioksisella osapuulla ajanmenekki pieneni siirryttäessä normaalikokoisista pölkyistä järeisiin (kuva 4). Runsasoksisilla pölkyillä tapahtui päinvastoin. Järeiden pölkyjen oksat ovat nähtävästi niin tukevia, että kasa ja taakka jäävät niiden vuoksi harvoiksi ja taakkojen kiintomäärä pieneksi. Myös lyhyet syöttöhäiriöt lisääntyvät järeitä, oksaisia pölkyjä käsiteltäessä.



**Kuva 4.** Järeiden vaikutus Peterson Pacific DDC 5000 -kkh-yksikön suhteelliseen tehoajanmenekkiin normaalioksisella osapuulla

Joukkokäsitellyllä tavaralajilla ei havaittu selkeää järeystä johtuvaa ajanmenekin muutosta. Tarkastelu tehtiin luokkien normaali ja järeä välillä.

Oksaisuus yksin ei vaikuttanut merkittävästi haketuksen ajanmenekkiin.

Katkontapituudella ei ollut vaikutusta osapuun haketuksen ajanmenekkiin katkontapituuden vaihdeltaessa 4,5 metristä 7,5 metriin.

Mikäli apuajat pysyvät laskennassa tehdyn oletuksen mukaan kasan korkeudesta riippumatta vakiona, on haketus sitä nopeampaa, mitä matalampi on kasa. Joka tapauksessa prosessoinnin tuottavuus oli parempi matalammalla kuin korkealla kasalla. Matala kasa sortui vähemmän, ja näkyvyys kasan päälle on aina hyvä; nämä yhdessä helpottavat taakan ottamista. Kasan korkeuden vaikutusta apuakoihin ei voitu tällaiseen vertailuun soveltuvan aineiston vähäisyyden vuoksi luotettavasti selvittää.

Lämpötilan ja lumen määrän yhteisvaikutus kuvaa selkeimmin tuottavuuseroa kesä- ja talviolojen välillä. Kun verrattiin +10 - +25 °C:n lämpötilassa hakettuja koe-eriä sellaisiin koe-eriin, jotka oli haketettu

0 - -20 °C:n lämpötilassa ja joissa oli todettu yli 20 cm:n lumikerros kasan päällä, saatiin talvioloista aiheutuvaksi tehoajanmenekin kasvuksi 14 %. Vertailu tehtiin osapuulla tehdasvarasto-oloissa. Vaikutus näkyi selkeimmin prosessoinnin ajanmenekissä.

Pelkän lämpötilan vaikutusta tarkasteltiin lämpötila-alueiden >+15 °C, +5 - -5 °C ja <-15 °C välillä. Lämpötilan laskiessa >+15 °C:sta 0 °C:n tienoille kasvoi tehoajanmenekki 17 % hakettaessa osapuuta tienvarsivarastolla. Lämpötilan laskiessa 0 °C:n tienoilta alle -15 °C:n todettiin tavaralajin haketuksessa yli 50 %:n tehoajanmenekin kasvu. Kaiken kaikkiaan lämpötilan vaikutuksen toteaminen on melko epävarmaa, koska täysin vertailukelpoisten havaintoparien muodostaminen on vaikeaa kokeiden ajoittuessa eri vuodenaikoihin. Esimerkiksi pakkaskokeiden aikana kuormaimen kouran paine oli tavallista alhaisempi. Tämän johdosta taakka ”hajosi” tavallista pahemmin ja oli siten hitaampi syöttää haketusyksikölle kuin tavallisesti. Tämä tekijä ei kuitenkaan selitä kuin enintään osan vaikutuksesta. Pakkasen nousulla on siten todellista vaikutusta ajanmenekin kasvuun.

### 3.3 Peterson Pacificin ajanmenekit ja käyttötuntituotokset

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön käyttötuntituotos on ollut tienvarsivarastolla mäntyosapuuta käsiteltäessä 71 - 86 i-m<sup>3</sup> selluhaketta (32 - 39 m<sup>3</sup>) ja joukkokäsiteltyä sekä tavanomaista mäntytavara-lajia käsiteltäessä 75 - 101 i-m<sup>3</sup> (34 - 45 m<sup>3</sup>). Vastaavasti käyttötuntituotos tehdasvarastolla mäntyosapuuta käsiteltäessä on ollut 86 - 100 i-m<sup>3</sup> (37 - 43 m<sup>3</sup>) ja joukkokäsiteltyä sekä tavanomaista mäntytavara-lajia käsiteltäessä 100 - 120 i-m<sup>3</sup> (43 - 51 m<sup>3</sup>). Vaihteluväli kuvaa sekä olosuhteiden että kuljettajan (poislukien hitain kuljettaja) vaikutusta. Ajanmenekit on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1 Ajanmenekit eri puuraaka-aineilla ja eri haketuspaikoilla

Peterson Pacific DDC 5000 -kkh-yksiköllä

Ajanmenekki-luokka	Tienvarsivarasto		Tehdasvarasto	
	Osapuu	Joukkokäsitelty & tavaralaji	Osapuu	Joukkokäsitelty & tavaralaji

	cmin/i-m <sup>3</sup> (selluhaketta)			
Tehoaika, E <sub>0</sub>	60 - 75	50 - 70	55 - 65	45 - 55
Alle 15 min:n keskeytykset	10	10	5	5
Käyttöaika, E <sub>15</sub>	70 - 85	60 - 80	60 - 70	50 - 60



### 3.4 Vuoden 1994 kokeet

Vuoden 1994 aikana PP:llä tehtiin pakkaskoe Äänekoskella, jäätyneen puun koe Polvijärvellä ja koivukoe Imatralla. Nämä tuottavuus- ja laatukokeet tehtiin yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Metsäntutkimuslaitos teki lisäksi laatuun liittyviä pakkaskokeita Kemissä.

Pakkaskokeen aikana lämpötila oli  $-17 - -27$  °C. Haketta tehtiin yhteensä  $844 \text{ i-m}^3$  eli  $7\frac{1}{2}$  kuormaa. Tästä oli  $228 \text{ i-m}^3$  mäntytavara-lajia ja  $616 \text{ i-m}^3$  mäntytavara-lajin ja -osapuun sekoitusta. Taulukossa 2 on esitetty kokeen tulokset ja tavaralajin osalta vertailu lokakuussa 1993 Uimaharjussa tehtyyn kokeeseen, jossa lämpötila oli  $+4$  °C ja olot muutenkin normaalit. Tuottavuus pakkaskokeessa oli kolmanneksen pienempi kuin vertailukokeessa.

TAULUKKO 2 Äänekoskella tehdyn pakkaskokeen tulokset

Erittely	Äänekosken koe		Vertailu: Uimaharju 1993	Ero tavarala- lajilla (Äänekoski - Uimaharju)
	Puuraaka-aine			
	Sekoitus	Tavaralaji	Tavaralaji	
	cmin/i-m <sup>3</sup>			
Prosessointi	56,3	47,6	29,8	60
Siirtäminen	13,6	9,0	3,6	151
Valm./ päättäm.	6,5	9,3	9,0	4
Auton odotus <sup>*</sup>	0,9	0,0	0,7	-100
Tehoajan- menekki	77,3	66,0	43,1	53
<b>Tehotunti- tuotos</b>	<b>77,6 i-m<sup>3</sup></b>	<b>91,0 i-m<sup>3</sup></b>	<b>139,3 i-m<sup>3</sup></b>	<b>-35</b>

\* Tarkoittaa autosta johtuvaa odotusta haketuksen aikana (esim. kasalla siirtymisen yhteydessä)

Polvijärvellä tienvarsivarastolla tehtiin huhtikuun alussa jäätyneen puun koe. Jäätyneellä puulla tarkoitetaan tässä tapauksessa osapuura-  
raaka-ainetta, joka on kasaan kerääntyneen lumen ja jään vuoksi vaikeaa käsitellä. Haketta tehtiin  $753 \text{ i-m}^3$  eli 7 kuormaa. Aineisto jakautui tasan kahdelle kuljettajalle. Puuraaka-aine oli järeää ja oksaista. Kasat olivat korkeita, ja katkontapituus oli 4,2 - 4,4 metriä. Puuraaka-

aineesta 93 % oli mäntyä ja kuusta 7 %. Tulokset vertailuineen on esitetty taulukossa 3.

Kokeen tulos kuvaa vaikeiden talviolojen vaikutusta ajanmenekkiin, ei pelkästään kasan jääytymisestä aiheutuvaa hidastumista.

TAULUKKO 3 Polvijärvellä tehdyn jäätyneen puun kokeen tulokset

Erittely	Osapuu		Normaali vaihteluväli osapuulla	Ero (keskiarvo normaali)
	Kuljettaja 1	Kuljettaja 2		
	cmin/i-m <sup>3</sup>			%
Prosessointi	79,6	84,3	45,0 - 70,0	+82 .. +17
Siirtäminen	12,4	16,0	6,0 - 14,0	+136 .. +1
Valm./päättäm.	7,5	5,4	3,0 - 4,5	+115 .. +43
Auton odotus	7,0	6,6	2,0 - 6,5	+242 .. +5
Tehoajanmenekki	106,5	112,3	56,0 - 95,0	+95 .. +15
<b>Tehotuntituotos</b>	<b>56,3 i-m<sup>3</sup></b>	<b>53,4 i-m<sup>3</sup></b>	<b>107,1 - 63,2 i-m<sup>3</sup></b>	<b>-49 .. -13</b>

Pakkaskokeen ja jäätyneen puun kokeen perusteella voidaan todeta, että haketusyksikön tehoajanmenekki voi kasvaa äärioloihin vietäessä noin puolitoistakertaiseksi eli tuottavuus pienentyä yli kolmasosalla normaalioloissa saavutettuun tasoon verrattuna.

Koivuosapuulla Peterson Pacificin tuottavuutta ja selluhakkeen laatua tutkittiin yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa Imatralla marraskuussa 1994. Olot vastasivat tehdasvarastoa.

Suppeasta koejärjestelystä johtuen voitiin suhteellisen luotettavasti selvittää ainoastaan prosessointituottavuus. Koivuosapuulla prosessointituntituotos oli keskimäärin 77 i-m<sup>3</sup> (taulukko 4). Vastaava arvo mäntyosapuulla on ollut keskimäärin 120 i-m<sup>3</sup>. Koivuosapuun hakettaminen oli siten 36 % hitaampaa kuin mäntyosapuun.

TAULUKKO 4 Peterson Pacificin tuottavuus koivuosapuulla tehdasoloissa

Erittely	Kuljettaja 1	Kuljettaja 2	Yht./Keskim.
Hakemäärä, i-m <sup>3</sup>	82	40	122
Pros. ajanmenekki, cmin/i-m <sup>3</sup>	79	75	77

Prosessointituntituotos, i-m <sup>3</sup>	76	80	77
---	----	----	----

Koivuosapuun käyttötuntituotoksen arvioimiseksi tehtiin kaksi oletusta:

- apuaikojen (siirtäminen, valmistelu/päättäminen, auton odotus) *absoluuttinen* ajanmenekki on koivuosapuulla sama kuin se on ollut mäntyosapuulla
- lyhyiden keskeytysten (< 15 min) *suhteellinen* ajanmenekki on sama kuin mäntyosapuulla

Koivuosapuulla käyttötuntituotokseksi tuli em. oletuksin 60 i-m<sup>3</sup>. Nämä tulokset vastasivat siis tehdasvarastoa. Mäntyosapuulla vastaava arvo on ollut 86 - 100 i-m<sup>3</sup>.

Jos koivuosapuun ajanmenekki kasvaa tehdasvarastolta tienvarsivarastolle siirryttäessä samalla tavalla kuin mäntyosapuulla, saadaan käyttötuntituotokseksi tienvarsivarastolla 49 i-m<sup>3</sup>. Mäntyosapuulla vastaava arvo on ollut 71 - 86 i-m<sup>3</sup>.

### 3.5 Kuoripitoisuus

Sulfaattiselluteollisuudessa hakkeen kuoripitoisuus ei saisi olla yleensä enempää kuin 1 % kuivamassasta. Tämä raja on asetettu tavoitteeksi myös ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmällä tuotettavalle hakkeelle. Pienikokoisen ensiharvennuspuun kuoriminen on kuitenkin ongelmallista millä tahansa teknisellä ratkaisulla.

Ketjukuorinnan tulos riippuu raaka-aineen ominaisuuksista, prosessiteknisistä tekijöistä ja sääoloista. Hyvissä oloissa PP:llä päästään alle vaaditun rajan. Raja kuitenkin ylittyy, jos puut ovat hyvin pieniä, ne ovat päässeet kuivahtamaan tai ne ovat jäässä. Mäntyhakkeen kuoripitoisuus on yleensä 1 - 2 %. Metsäntutkimuslaitoksen talvella 1994 Kemissä ja Äänekoskella 10 - 30 °C:n pakkasessa tekemissä kokeissa mäntyhakkeen kuoripitoisuus oli 3 %:n tasolla.

Kuorintatuloksen kannalta ehkä vaikein kaikista puuraaka-aineista on jäänyt karsimaton kuusi. Kemissä 13 - 20 °C:n pakkasessa tehdyssä kokeessa kuorta jäi peräti 6,9 % hakkeen kuivamassasta, joten menetelmä ei sovellu kuusen osapuulle ainakaan talvella.

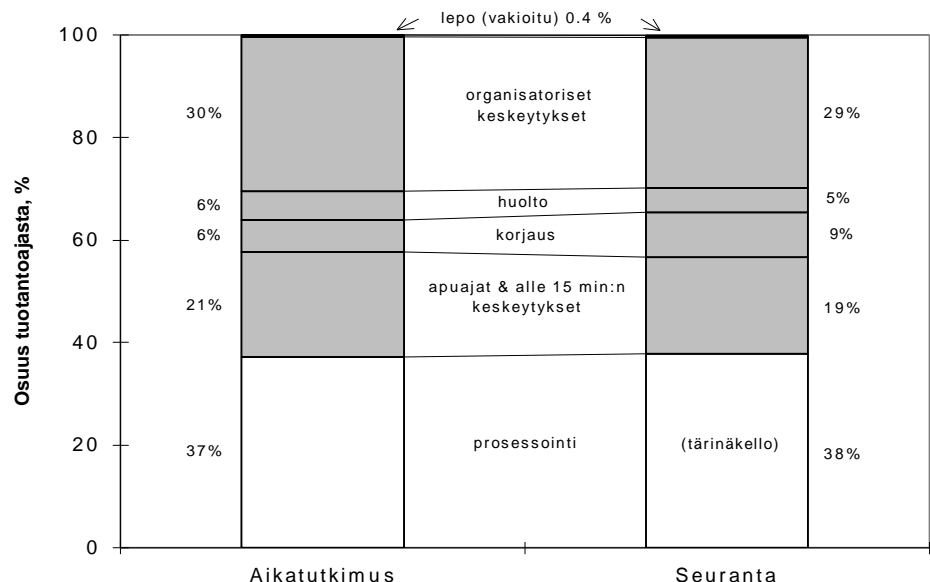
Vaikka kuoripitoisuus pyrkii erityisesti vaikeissa olosuhteissa jäämään tavoitetason yläpuolelle, menetelmä on kuitenkin myös puun laatu- ja kestävyysnäkökohtien kannalta hyvin mielenkiintoinen ja kehityskelpoinen ratkaisu silloin, kun kuitupuun latvusmassa halutaan hyödyntää energiatähteenä.

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmään liittyvien raaka-ainetaseiden ja hakkeen ominaisuuksien selvittäminen on tarkemmin raportoitu Metsäntutkimuslaitoksen projektissa 105 "Biomassatase ja energiapuun kertymä".

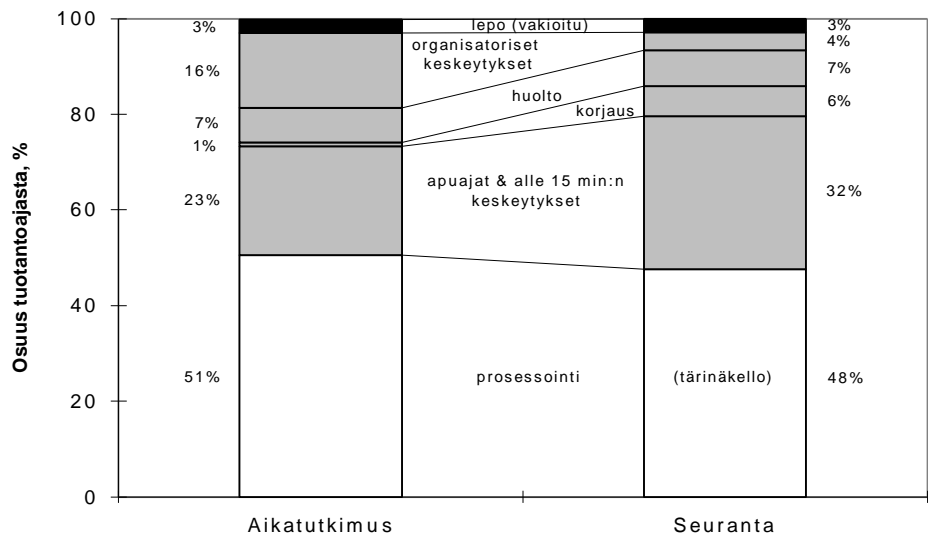
### 3.6 Käyttöasteet, tuntikustannukset ja haketushinnat

Kustannuslaskelmia varten  $i\text{-m}^3$ :nä todetut tuottavuudet on muunnettu selluhake- $\text{m}^3$ :ksi käyttämällä tiiviyskertoimia 0,43 (tehdasvarastolla haketus) ja 0,45 (tienvarsivarastolla haketus).

Käyttöajan ( $E_{15}$  = prosessointi + apuajat + alle 15 min:n keskeytykset) osuus tuotantoajasta oli tienvarsivarastolla aikatutkimuksen perusteella 58 % ja seurantatutkimuksen perusteella 57 % (kuva 5). Vastaavat arvot tehdasvarastolla olivat 74 % ja 80 % (kuva 6). Käyttöaste tehdasvarastolla oli selvästi parempi kuin tienvarsivarastolla. Ero johtuu lähinnä hakkurin ja hakeautojen ketjuttamisen vaikeudesta tienvarsivarastolla. Aikatutkimus- ja seurantatutkimustuloksen ero tehdasvarastolla johtuu siitä, että aikatutkimuksen aikana hakettiin autoon ja seurantajakson aikana pääosin maahan. Hyvin järjestetyllä terminaalivarastolla voidaan päästä lähelle tehtaan käyttöastetta, jos voidaan haketta maahan. Vertailulaskelmissa oletettiin, että haketetaan odottavaan autoon. Käyttöasteeksi arvioitiin tällöin 68 %.



**Kuva 5.** Tuotantoajan jakautuminen eri osa-aikoihin tienvarsivarastolla



**Kuva 6.** Tuotantoajan jakautuminen eri osa-aikoihin tehdasvarastolla

Kun käyttöaste lasketaan käyttöaikaa kokonaistyöaikaan (= tuotantoaika + siirrot + korjaamo-aika) vertaamalla saadaan toiminnallinen käyttöaste. Korjaamoajan on arvioitu PP:llä olevan kolme viikkoa vuodessa. Tuotanto- ja siirtoajan on oletettu olevan 4 140 tuntia vuodessa (46 vk x 5 pv/vk x 18 tuntia/pv). Siirtojen osuus on tienvarsivarastoilla operoitaessa merkittävästi suurempi kuin terminaali- ja tehdasvaihtoehdoissa.

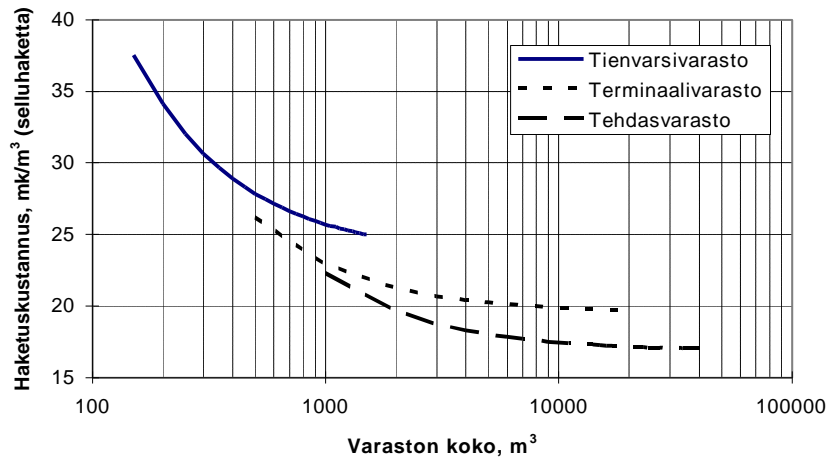
Tienvarsivarastolla operoitaessa toiminnalliseksi käyttöasteeksi muodostuu 47 % kun käyttötuntituotos on 35 m<sup>3</sup> ja kun yhdeltä varastopaikalta haketettava ainespuumäärä on 500 m<sup>3</sup> ja siirtokerta-aika 4 tuntia. Käyttötuntikustannukset vastaavilla arvoilla ovat 975 mk. Haketushinnaksi tulee 27,85 mk/k-m<sup>3</sup> selluhaketta, ja haketusmäärä on 70 000 k-m<sup>3</sup> selluhaketta vuodessa.

Vastaavasti tehdasvarastolla toiminnallinen käyttöaste on 76 % kun käyttötuntituotos on 40 m<sup>3</sup> ja kun kerralla haketettava ainespuumäärä on 15 000 m<sup>3</sup> ja siirtokerta-aika 10 tuntia. Käyttötuntikustannukset vastaavilla arvoilla ovat 691 mk. Haketushinnaksi tulee 17,26 mk/k-m<sup>3</sup> selluhaketta, ja haketusmäärä on 129 000 k-m<sup>3</sup> selluhaketta vuodessa. Tässä käytetty käyttötuntituotosluku perustuu aikatutkimuksiin, joissa hake puhallettiin tutkimusteknisistä syistä hakeautoon. Tehdasvarastolla hake voidaan yleensä puhalttaa myös maahan, jolloin tuotos on todennäköisesti jonkin verran suurempi, koska apuaikojen ja lyhyiden keskeytysten osuudet pienenevät.

Terminaalivarastovaihtoehdon tuottavuus ja käyttöaste johdettiin tehdas- ja tienvarsivarastoilla todetuista tasoista. Terminaalivarastolla toiminnallinen

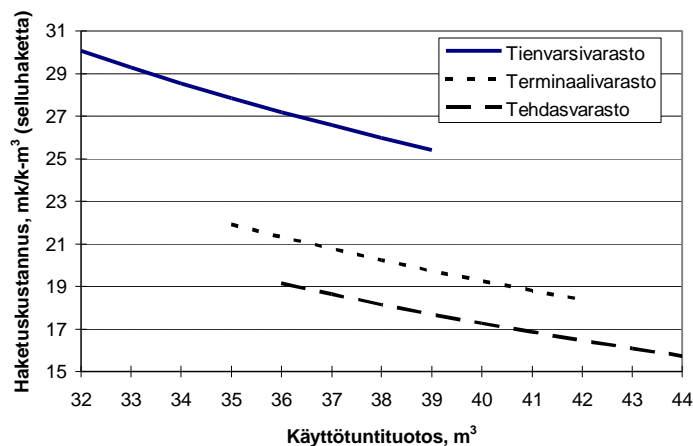
käyttöaste asetui 64 %:iin, kun oletettiin, että käyttötuntituotos on 38 m<sup>3</sup>, kerralla hakettava ainespuumäärä 5 000 m<sup>3</sup> ja siirtokerta-aika 6 tuntia. Käyttötuntikustannukset vastaavilla arvoilla ovat 769 mk. Haketushinnaksi tulee 20,24 mk/k-m<sup>3</sup> selluhaketta, ja haketusmäärä on 103 000 k-m<sup>3</sup> sellu-haketta vuodessa.

Kuvan 7 perusteella voidaan todeta, että haketus-kustannusten jyrkän nousun vuoksi tienvarsivaraston koon ei tulisi jäädä alle 500 m<sup>3</sup>:n.



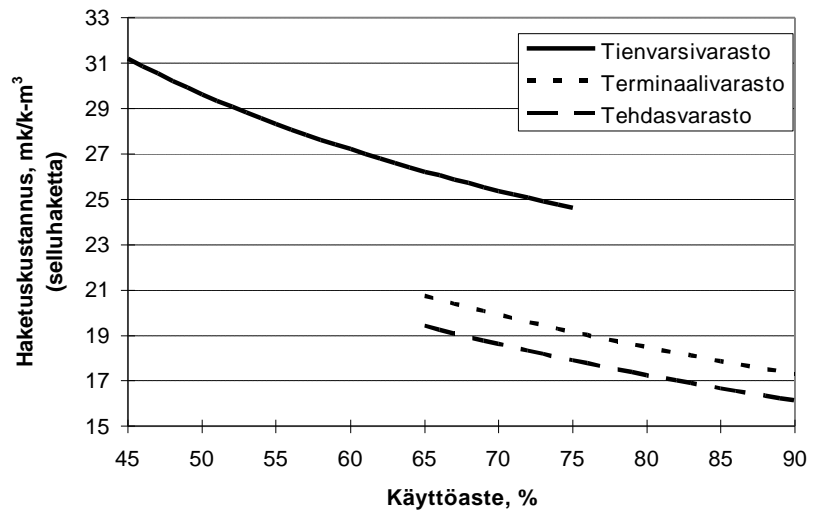
**Kuva 7.** Varastolla olevan puumäärän vaikutus haketus-kustannuksiin

Muita haketus-kustannuksiin selvästi vaikuttavia tekijöitä ovat käyttö-tuntituotos (kuva 8), käyttöaste (kuva 9) ja erityisesti vuosityöaika (kuva 10). Siirtokerta-ajalla eli siirtomat-kalla on suuri merkitys silloin, kun varaston koko on pieni, alle 500 m<sup>3</sup>. Tämä ongelma voi tulla esiin tienvarsivarastoilla (kuva 11).

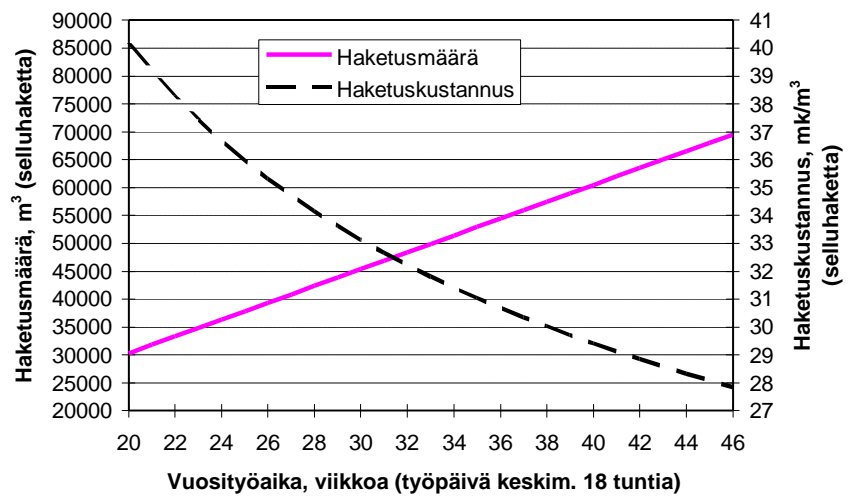


**Kuva 8.** Käyttötuntituotoksen vaikutus haketus-kustannuksiin

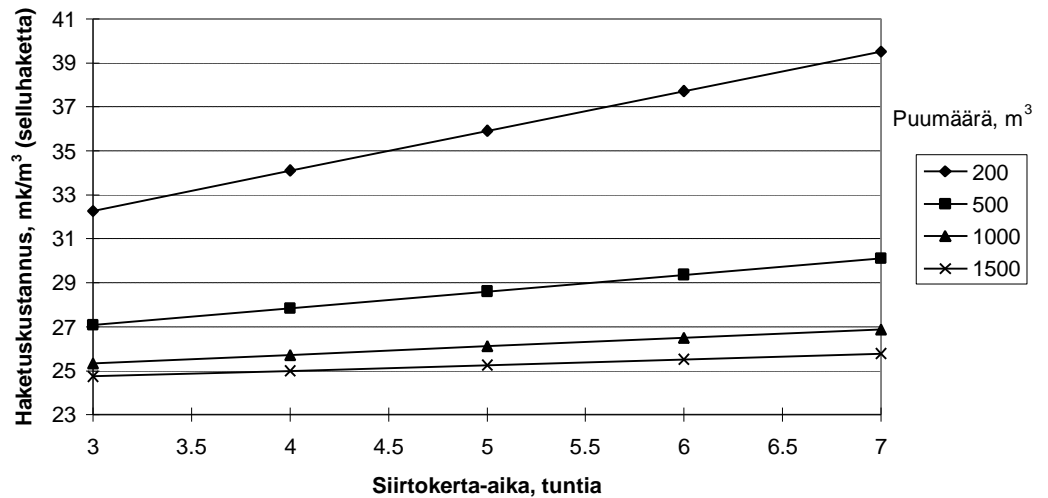




**Kuva 9.** Käyttöasteen vaikutus haketuskustannuksiin



**Kuva 10.** Vuosityöajan (= tuotanto- ja siirtoaika) vaikutus haketusmäärään ja -kustannuksiin tienvarsivarastolla



**Kuva 11.** Siirtoajan vaikutus haketus kustannuksiin tienvarsivarastolla

### 3.7 Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän kustannuslaskentamalli

#### 3.7.1 Laskentamallin rakenne

##### Yleistä

Projektissa kehitettiin ketjukarsinta-kuorinta-haketusmalli, jolla voidaan määrittää selluhakkeen ja ohessa syntyvän polttoraaka-aineen kustannukset erilaisia hankintamenetelmiä ja -ketjuja käytettäessä. Laskennat on mallilla helppo tehdä, joten erilaisten ketjujen kannattavuusvertailu eri tilanteissa on hyvin mahdollista. Tämä mahdollistaa käytännössä menetelmän optimaalisimman käytön ja parhaiden käytännön toimintamallivaihtoehtojen etsinnän menetelmän edelleen kehittämiseksi.

##### Mallin toimintaperiaate

Mallilla määritetään yhden tienvarsivaraston eri ketjukustannukset kerrallaan. Terminaali- ja tehdasvarastolle oletetaan tietyt koot (kyseinen tienvarsivarasto mukaan lukien) eli esimerkiksi tehdasvarastokoko on 5000 m<sup>3</sup>, kun sinne viedään kyseinen 300 m<sup>3</sup>:n tienvarsivarasto. Kaiken puuraaka-aineen ei tarvitse olla tehtaalla heti haketuksen alkaessa, mutta ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikkö hakettaa

yhtäjaksoisesti tuon määrän siirtyen vasta sen jälkeen muuhun työkohteeseen.

## Mallin toteutus

Malli toteutettiin Excel 5.0:lla ja sen Visual Basic -ohjelmointikielellä. Malli koostuu kolmesta tiedostosta: avaustiedosto, laskentatiedosto ja tulostustiedosto. Näistä laskentatiedosto on selvästi suurin ja muodostuu 16:sta laskenta-alustasta. Näistä kolme on vain Enso Oy:n sovellukseen liittyviä. Enson sovellus on rakennettu yleisen laskentamallin rinnalle.

Erityyppiset asiat jaettiin mallissa omille laskenta-alustoilleen, jotta malli olisi mahdollisimman selkeä ja ymmärrettävä. Laskenta-alustatyyppejä ovat: syöttötieto-, lähtötieto-, tuloslaskenta-, erilliset laskentamalli-, tulos-, välinäyttö- ja makroalustat.

Visual Basic -koodilla on rakennettu näytönhallinta (valikko), lähtöarvojen tarkastusrutiinit ja osa varsinaisesta laskennasta. Laskennassa Visual Basicia on käytetty lähinnä laskennan tapauskohtaisten lähtöarvojen syöttöön sekä laskentatulosten siirtoon edelleen käyttöä varten.

Laskenta-alustalta toiselle siirrytään kätevästi omasta valikosta. Valikkoon on tehty myös mahdollisuus siirtyä varsinaiseen Excel-valikkoon. Takaisin omaan valikkoon pääsee näppäinyhdistelmällä ctrl + m.

## Lähtöarvojen syöttö

Lähtöarvoja annetaan kahdella alustalla: yleiset-lähtöarvot ja Peterson-lähtöarvot. Yleisiä lähtöarvoja voidaan antaa kaikkiaan 45 (liite 1). Useimmilla lähtöarvoilla on jokin oletusarvo, jota malli käyttää laskennassa ellei muuta arvoa anneta. Yleisten lähtöarvojen lisäksi voidaan muuttaa eräitä PP:n tuntikustannuslaskentaan vaikuttavia lähtöarvoja omalla syöttöalustallaan. Näitä arvoja on asetettu malliin toistaiseksi 8.

Malliin syötetään mm. seuraaventyypisiä lähtöarvoja:

- eri varastojen koot
- etäisyydet eri varastoilta tarvittaviin paikkoihin (ks. kuva 12, s. 30)
- puulaji (mänty, kuusi, koivu)
- puuraaka-aine (5 erilaista)
- erilaisia olosuhdetietoja
- polttoraaka-aineen lähtötietoja
- muita mahdollisia kustannustietoja

## Tulosten laskenta ja tulostus

Tulokset lasketaan valitsemalla valikosta: Tulokset - Tulosten laskenta. Malli päivittää jokaisella laskentakerralla kaikki tulokset, joita on kolmella eri tulosalustalla. Nämä ovat: yleisketjut, Morbark-ketjut

ja Enson ketjut (vain Enson käyttöön). Yleis- ja Morbark-ketjut perustuvat PP:n osalta tässä projektissa määritettyihin kustannusarvoihin. Enson ketjut perustuvat sovittuihin haketustaksoihin Enson ja Pertti Szepaniak Oy:n välillä.

Yleisketjut ovat:

- tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätettä ei hyödynnetä
- tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte tehdasmurskaukseen
- tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte murskaukseen lämpövoimalaan
- terminaalihaketus - hake ja karsinta-kuorintajäte tehtaalle - tehdasmurskaus
- terminaalihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte murskaukseen lämpövoimalaan
- haketus lämpövoimalalla - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätteen murskaus lämpövoimalalla
- tehdashaketus ja -murskaus

Morbark-ketjut ovat:

- tienvarsihaketus - hake ja karsinta-kuorintajäte tehtaalle - Morbark-murskaus
- tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte lämpövoimalaan - Morbark-murskaus
- terminaalihaketus - karsinta-kuorintajätteen Morbark-murskaus terminaalissa - hake ja murske tehtaalle
- terminaalihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte lämpövoimalaan - Morbark-murskaus
- haketus lämpövoimalalla - karsinta-kuorintajätteen Morbark-murskaus lämpövoimalalla - hake tehtaalle
- tehdashaketus - Morbark-murskaus tehtaalla

Enson ketjut ovat:

- tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätettä ei hyödynnetä
- haketus lämpövoimalalla - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätteen murskaus lämpövoimalalla
- haketus VAPOn terminaalissa - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte käsittelemättömänä VAPOLle
- tehdashaketus ja -murskaus

Enson ketjuista toinen ei vielä ollut käytössä.

Kullekin ketjulle esitetään yksityiskohtaiset kustannukset eri tekijöittäin: kantohinta, organisointi/mittaus-, hakkuu-, metsäkuljetus-,

kaukokuljetus-, haketus-, murskaus-, karsinta-kuorintajätteen/murskeen siirto-, hakkeen tehtaalla siirto- ja muut kustannukset. Erillisenä tulokohtana on polttoraaka-ainehyvyys. Kokonaiskustannukset on esitetty ainespuu- ja selluhakekiinto-m<sup>3</sup>:ä kohti. Polttoraaka-ainetuotto on esitetty murske-m<sup>3</sup>:ä, MWh:a ja selluhakekiinto-m<sup>3</sup>:ä kohti. Esimerkit yleis- ja Morbark-ketjujen tuloslaskelmista ovat liitteinä 2 ja 3.

Kukin tuloslaskelma on tulostettavissa valikon avulla. Valikon avulla tehtävä tulosten tallennus on toteutettu toistaiseksi vain yleisketjujen osalta. Tallennus kopioimalla tulokset (vain arvot ja muotoilut) omaan työkirjaan on luonnollisesti aina mahdollista.

Erilaisten vertailulaskelmien tekemisen helpottamiseksi malliin on lisäksi rakennettu alustat, joilla voidaan laskea kätevästi puuraaka-aineiden, tienvarsivarastokokojen ja metsäkuljetusmatkan muutosten vaikutuksia yhdessä tai erikseen erilaisten ketjujen selluhakekustannuksiin.

### **3.7.2 Mallin laskentaperusteet**

#### Hakkuukustannusten määrittäminen

Manuaalisen hakkuun kustannukset koko- ja osapuulle sekä tavaralajille määritettiin Metsätehossa kehitetyllä erillisellä laskentamallilla (Örn).

Hakkuukoneen tuntikustannukset määritettiin Metsätehon erillisellä laskentamallilla (Oijala, Rajamäki) ja tuottavuudet puulajeittain Metsätehon tekemässä maskuperusteselvityksessä kehitetyillä tuottavuusfunktioilla (Kuitto ym.).

Edellä mainitut erilliset laskentamallit liitettiin nyt kehitettyyn malliin omina laskenta-alustoinaan.

#### Metsäkuljetuskustannusten määrittäminen

Metsätraktorin tuntikustannukset määritettiin Metsätehon laskentamallilla (Oijala, Rajamäki). Hakkuukoneella valmistetun mäntytavaramallin tuottavuudet määritettiin em. maksuperustetutkimuksessa kehitetyllä funktiolla. Muut puuraaka-aineet suhteutettiin tavaralajin kustannuksiin seuraavin kertoimin:

- Manu, kokopuu 1,20
- Manu, osapuu 1,15
- Manu, tavaralaji 1,10
- Moto, joukkokäsitelty tavaralaji 1,05

Koivulle käytettiin kertoimena 1,1:tä mäntyyn ja kuuseen verrattuna.

### Haketuskustannukset

Peterson Pacificin kustannusten laskennassa käytettiin projektissa jo aiemmin kehitettyä tuntikustannuslaskentamallia, jolla voidaan määrittää haketuskustannukset erikseen tienvarressa, terminaalissa ja tehtaalla toimittaessa. Polttolaitoksella ja VAPON terminaalissa toiminta on rinnastettu tavalliseen terminaalitoimintaan tuottavuudeltaan ja kustannuksiltaan.

PP:n tuotosarvoina käytettiin projektin tuottamia tietoja. Merkittävimpiä tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä on todettu olevan varastopaikan lisäksi puuraaka-aineen järeys (kolme luokkaa: alle 50 dm<sup>3</sup>, 50 - 70 dm<sup>3</sup> ja yli 70 dm<sup>3</sup>) sekä oksaisuus, puulaji (kuusella ja koivulla tuottavuus 70 % männyn tuottavuudesta) ja itse puuraaka-aine (kokopuu, osapuu, tavaralaji: kokopuulla 8 % pienempi tuottavuus kuin osapuulla; tavanomaisella ja joukkokäsitellyllä tavaralajilla yhtä suuri tuotos).

Ulkoisista olosuhteista vaikuttaviksi todettiin aiemmin lämpötila ja kasan päällä oleva lumen määrä. Näiden perusteella tehty luokitus oli seuraava:

- lämpötila  $\geq 0$  °C kerroin  
1,00
- pikku pakkaneen ja/tai kasan päällä lunta  $> 20$  cm kerroin  
0,87
- pakkasta yli 15 °C kerroin  
0,70

### Autokuljetuskustannusten laskenta

Autokuljetuskustannusten laskennassa lähtökohtana käytettiin Enso Oy:n keskimääräisiä taksoja havupuutavaralajille sekä Enso Oy:n ja Pertti Szepaniak Oy:n sopimia taksoja irtohakkeelle tienvarresta ja terminaalista.

Irtohakekustannukset muutettiin suhdeluvulla 2,08 (kääntäen 0,48) kiintohakekustannuksiksi.

Puutavaralajikuljetuskustannuksista johdettiin autokuljetustaksat koko- ja osapuulle sekä joukkokäsitellylle tavaralajille seuraavin kertoimin:

- kokopuu 1,80
- osapuu 1,30
- joukkokäs. tav.laji 1,03

Murskeen ja murskaamattoman karsinta-kuorintajätteen kustannukset saatiin hakkeen kuljetuskustannuksista kertoimin:

- murske 0,82
- karsinta-kuorintajäte 1,11

Koivukuitupuun kuljetuskustannusten oletettiin olevan 9 % kalliimmat kuin havukuitupuun. Koivuosapuun ja mäntyosapuun suhde oli 1,14. Kuusiosapuun ja mäntyosapuun suhde oletettiin samaksi kuin koivun ja männyn. Kokopuulla koivun ja kuusen kuljetuskustannusten suhde mäntyyntä oletettiin samaksi kuin osapuulla.

Kertoimien määrittämisessä käytettiin hyväksi soveltuvin osin lähdettä Bioenergia Julkaisuja 5 s. 48.

Autokuljetuskustannukset määritettiin alueelle 0 - 50 km 5 km:n välein ja välille 50 - 250 km 10 km:n välein.

#### Polttoraaka-aineen ja sellujakeen määrien laskenta

Energiapuuosuudet määritettiin erikseen männylle, kuuselle ja koivulle. Kullekin puulajille määritettiin neljä energiapuuosuutta: latvusmassa, katkennut runkopuu, kuori ja karsinta-kuorinnassa irronnut ainespuu. Puuraaka-aineesta riippuen osa tai kaikki näistä tulivat mukaan kokonaisenergiapuuosuuteen.

#### *Latvusmassa (kg, m<sup>3</sup>)*

Männyllä kokopuun latvusmassa (vain elävät oksat) on noin 95 kg/runkopuu-m<sup>3</sup> määritettynä julkaisun FF 773 mukaan seuraavasti: Etelä-Suomen arvot ensi- ja muulle harvennukselle painottaen ensiharvennusta kahdella ja muuta harvennusta yhdellä.

Kuusikokopuulle saatiin vastaavasti latvusmassaksi 166 kg/runkopuu-m<sup>3</sup> ja koivulle 89 kg/runkopuu-m<sup>3</sup> (ilman lehtiä).

Osapuulla eräiden esimerkkileimikoiden mukaan määritettynä latvusmassa on noin 60 % kokopuun latvusmassasta. Katkaisuläpimitan ollessa 5 cm on latvarunkopuun osuus 8,5 % kokopuungosta. Näin mäntyosapuun latvusmassa on  $1,085 \times 0,60 \times 95 \text{ kg/osapuu-m}^3 = 62 \text{ kg/osapuu-m}^3$ . Kuusiosapuulla latvusmassaksi tuli näin määritettynä  $108 \text{ kg/osapuu-m}^3$  ja koivuosapuulla  $58 \text{ kg/osapuu-m}^3$ .

Joukkokäsittelymenetelmällä tehdyllä tavaralajilla oletettiin latvusmassaa eli lähinnä oksantynkiä jäävän kaikilla puulajeilla  $3 \text{ kg/tavaralajim}^3$ .

#### *Katkennut runkopuu (kg, m<sup>3</sup>)*



Kokopuulla latvan oletettiin katkeavan 3,5 cm:stä, jolloin sen osuus on noin 2 % runkopuusta.

*Kuori (kg, m<sup>3</sup>)*

Kuoresta oletettiin 98 % poistuvan ketjukarsinta-kuorinnassa.

*Puuhävikki (kg, m<sup>3</sup>)*

Ketjukarsinta-kuorinnassa oletettiin puuhävikiksi eli irronneeksi ainespuuksi 3 % kuorettomasta runkopuusta.

Kuivapainot muutettiin tilavuuksiksi seuraavin kuivatuoretiheyksin (luvut A. Korpilahden selvityksistä).

	Kuivatuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>		
	Mänty	Kuusi	Koivu
Runkopuu kuoretta	397	370	457
Rungon kuori	267	365	505
Oksapuu kuoretta	424	547	514
Oksien kuori	311	348	493
Neulaset	373	353	-

Kiintokuutiometrit muutettiin irtokuutiometreiksi suhdeluvulla 0,4.

Kuivatonnit muutettiin tuoretonneiksi kaavalla:

$$Tuoretonni = \frac{kuivattonni}{1 - kosteusprosentti}$$

Tuoretonnien perusteella laskettiin energiasisältö kaavalla:

$$Energiasisältö(MWh) = \left[ \frac{3,719x (100 - kosteusprosentti)}{100} - 0,00677 x kosteusprosentti \right] x tuoretonnit$$

Sellujakeen osuus saatiin vähentämällä kuorellisesta ainespuumäärästä katkenneen runkopuun, kuoren ja irronneen ainespuun määrät.

Saanto laskettiin kaavalla:

$$Saanto = \frac{sellujakeen\ määrä}{kuorellinen\ ainespuumäärä + mahdollinen\ latvusmassa}$$

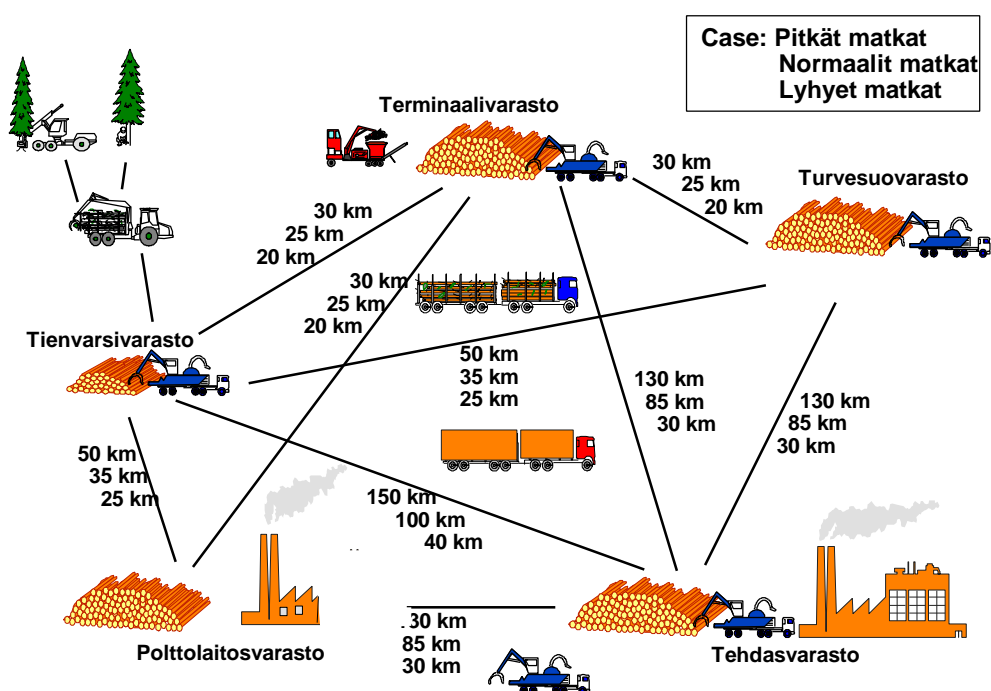
## 3.8 Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän käsittelyketjuvertailut

### 3.8.1 Yleistetyt case-tapaukset

#### Laskentaperusteet

Kehitetyllä ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän laskentamallilla tehtiin erilaisia yleistettyjä vaihtoehtolaskelmia, joissa käytettiin tiettyjä etäisyyksiä eri paikkojen välillä. Laskelmissa käytetyt alkuarvot ovat liitteessä 1 esitetyn mukaiset ellei tekstin yhteydessä muuta mainita.

Laskelmia tehtiin kolmelle case-tapaukselle, joita nimitettiin seuraavasti: *pitkät matkat*, *normaalit matkat* ja *lyhyet matkat*. Kussakin case-tapauksessa oletettiin olevan kuvan 12 mukaiset etäisyydet eri paikkojen välillä. Case-tapaus *normaalit matkat* oli perustapaus, jossa etäisyys tienvarsivarastolta tehtaalle oli 100 km. *Pitkissä matkoissa* vastaava etäisyys oli 150 km ja *lyhyissä matkoissa* 40 km. Muissa kuin matkoja koskevissa laskelmissa käytetään peruscase-tapauksen etäisyyksiä.



**Kuva 12.** Ketjukarsinta-kuorintalaskentamallin käsittelypaikka- ja reittivaihtoehdot ja case-tapauksissa käytetyt etäisyydet

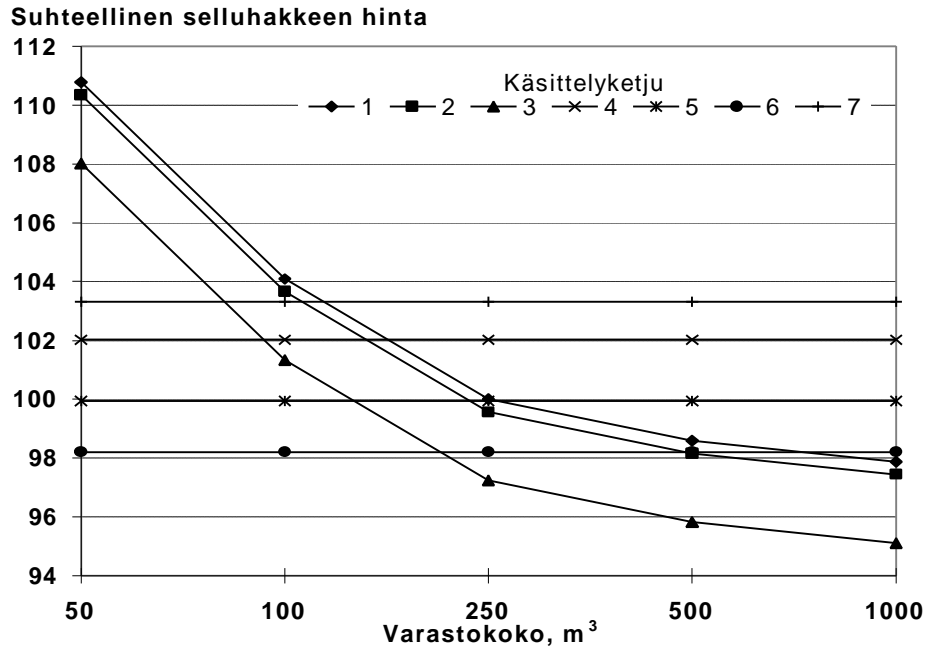
## Tulokset

Seuraavassa esitettävät peruslaskelmat tehtiin ns. yleisille ketjuille eli käsittelyketjuille, joissa karsinta-kuorintajätteen käyttöpaikalla on oma murskain. Aluksi tarkastellaan tienvarsivarastokoon merkitystä erilaisten käsittelyketjujen suhteellisiin kustannuksiin erilaisilla puuraaka-aineilla eri case-tapauksissa. Näissä laskelmissa terminaalivarastokooksi on oletettu 2 500 m<sup>3</sup> ja tehdasvarastokooksi 5 000 m<sup>3</sup>. Tarkasteltavat puuraaka-aineet ovat:

- manu, kokopuu, katkontapituus n. 5 m
- manu, osapuu, katkontapituus n. 5 m
- manu, tavaralaji
- moto, tavaralaji
- moto, joukkokäsitelty tavaralaji

Hakkuu on oletettu tehdyn lumettomana aikana ja karsinta-kuorintahaketus puun ollessa sulassa tilassa eli lämpötilan ollessa  $\geq 0$  °C. Polttoraaka-aineesta on oletettu saatavan Bioenergia-ohjelman mukainen tavoitehintaa eli 45 mk/MWh. Varastoalueiden ja teiden mahdollisiin parannuksiin ja kunnossapitoon tarvittavia kustannuksia ei peruslaskelmissa huomioitu millään varastopaikalla, koska nämä riippuvat niin paljon tapauksesta. Myöhemmin esitetään laskelma näiden kustannusten merkityksestä selluhakkeen suhteellisiin kustannuksiin. Tämän laskelman perusteella voidaan arvioida, miten eri käsittelyketjuvaihtoehtojen kustannukset muuttuisivat, jos jollekin varastopaikalle asetetaan toisia varastopaikkoja suuremmat kustannukset. Käytännön laskelmissa näitä varastopaikkakohtaisia kustannuksia on syytä käyttää jo laskelmia tehdessä, jos ne vain voidaan riittävän luotettavasti määrittää.

Mäntykokopuulla pienillä tienvarsivarastoko'illa polttolaitoksella tehtävään haketukseen perustuva käsittelyketju on edullisin (kuva 13). Varastoko'illa 50 - 100 m<sup>3</sup> tienvarsihaketukseen perustuvat ketjut eivät ole kannattavia. Nämä menetelmät vaativat kokopuulla vähintään 250 m<sup>3</sup>:n tienvarsivarastokokoa. Edullisin tienvarsivarastokäsittelyyn perustuvista ketjuista näyttäisi laskelmassa käytetyin oletuksien olevan ketju numero 3 eli tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte lämpövoimalaan murskaukseen. Suuremmilla tienvarsivarastoko'illa mäntykokopuulla kallein vaihtoehto on ketju tehdashaketus ja -murskaus. Terminaalihaketukseen perustuvat ketjut eivät näyttäisi tehdyin oletuksien olevan koskaan edullisimpia.



**Kuva 13.** Suhteellinen selluhakkeen hinta manuaalisesti hakatulla mäntykokopuulla eri tienvarsivarastoko'oilla.

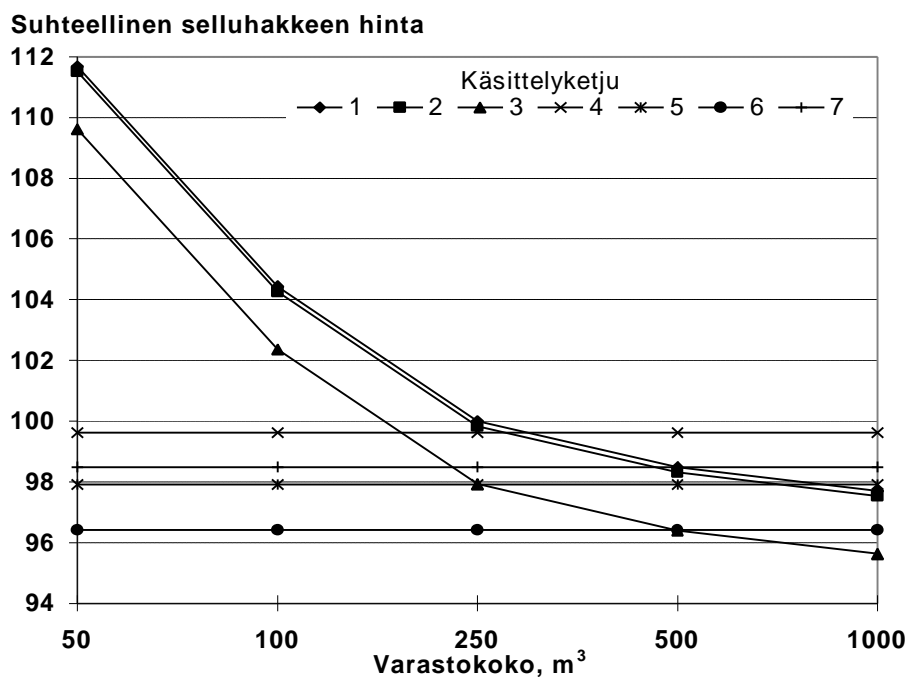
Case: normaalit kaukokuljetusmatkat.

Käsittelyketjut:

- 1 Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätettä ei hyödynnetä
- 2 Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte tehdas-  
murskaukseen
- 3 Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte läm-  
pö-  
voimalaan murskaukseen
- 4 Terminaalihaketus - hake ja karsinta-kuorintajäte tehtaalle -  
tehdasmurskaus
- 5 Terminaalihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte läm-  
pö-  
voimalaan murskaukseen
- 6 Haketus polttolaitoksella - hake tehtaalle - karsinta-  
kuorintajätteen  
murskaus lämpövoimalalla
- 7 Tehdashaketus ja -murskaus

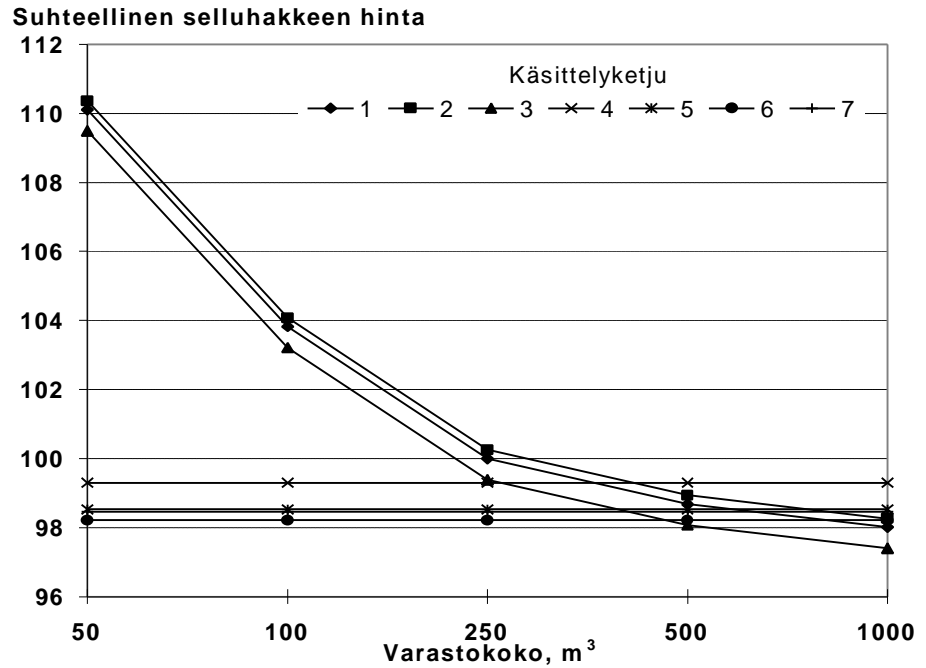
Mäntyosapuulla lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla tienvarsivarastokäsittelyketjujen kannattavuus on heikompi kuin kokopuulla (kuva 14). Tienvarsivarastokoon on oltava vähintään 500 m<sup>3</sup> ennenkuin mikään siihen perustuva ketju tulee edullisemmaksi kuin edullisin muu käsittelyketju. Aina kaikki ketjuvaihtoehdot eivät tule kyseeseen. Tällöin vertailu on tehtävä kyseeseen tulevien ketjuvaihtoehtojen kesken. Jos mäntyosapuulla on käytettävissä esimerkiksi käsittelyketjut 1 ja 7, on tehdaskäsittelyyn perustuva ketju 7 edullisempi 500 m<sup>3</sup>:n tienvarsivarastokokoon saakka. Tätä suuremmilla varastoilla kannattaisi toiminta

keskittää tienvarteen. Suurimmilla tienvarsivarastoko'illa terminaali-haketukseen perustuva ketju 4 näyttäisi epäedullisimmalta.

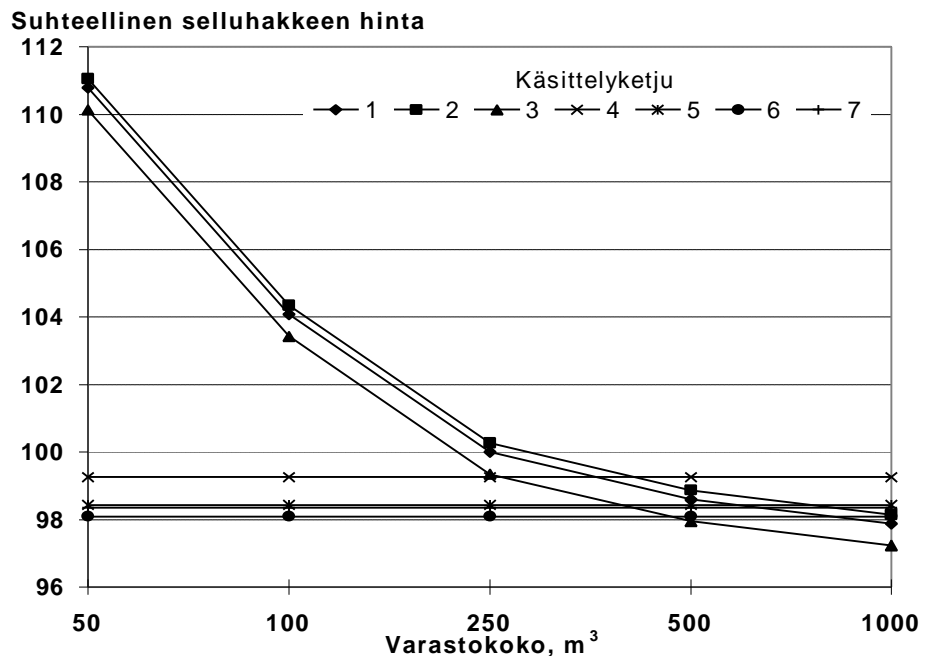


**Kuva 14.** Suhteellinen selluhakkeen hinta **manuaalisesti hakatulla mäntyosapuulla** eri tienvarsivarastoko'illa. Case: normaalit kaukokuljetusmatkat. Käsittelyketjuselitykset kuvan 13 yhteydessä

Tavaralajimenetelmiin perustuvien käsittelyketjuryhmien (tienvarsivarasto-ketjut, muihin varastoihin perustuvat ketjut) sisällä suhteelliset selluhakkeen hintaerot ovat pieniä, noin prosentin luokkaa (kuvat 15, 16 ja 17). Tienvarsivarastolla tehtävä haketus tulee jälleen muita menetelmiä edullisemmaksi noin 500 m<sup>3</sup>:n suuruisilla tienvarsivarastoilla. Näillä oletusarvoilla on siten oleellista ainoastaan valinta: haketus tienvarsivarastolla vai muualla.

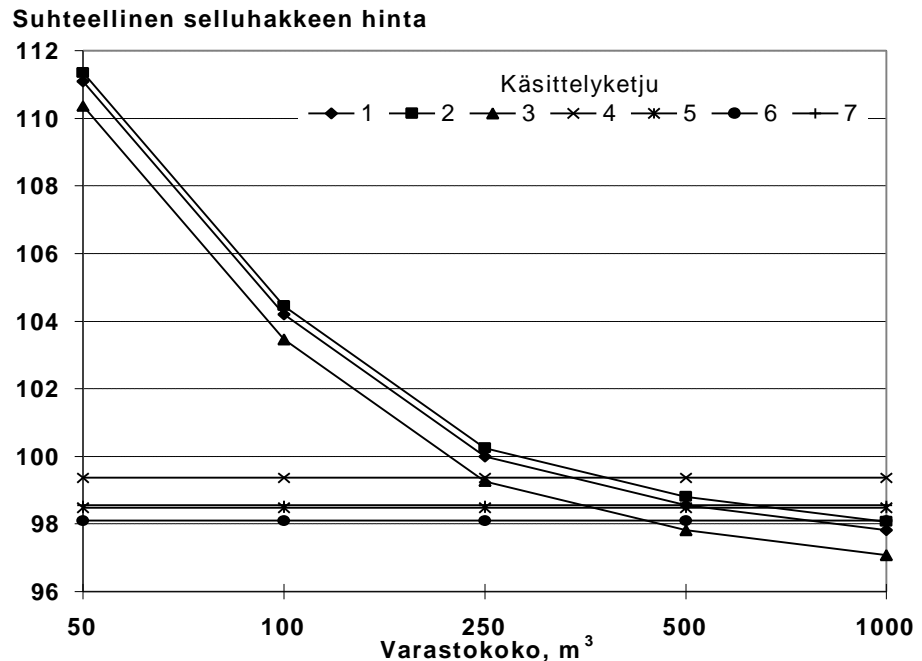


**Kuva 15.** Suhteellinen selluhakkeen hinta **manuaalisesti hakatulla mäntykuitupuulla** eri tienvarsivarastoko'oilla. Case: normaalit kaukokuljetusmatkat. Käsittelyketjuselitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä



**Kuva 16.** Suhteellinen selluhakkeen hinta **koneellisesti hakatulla mäntykuitupuulla** eri tienvarsivarastoko'oilla. Case: normaalit

32) kaukokuljetusmatkat. Käsittelyketjuselitykset kuvan 13 (s. yhteydessä

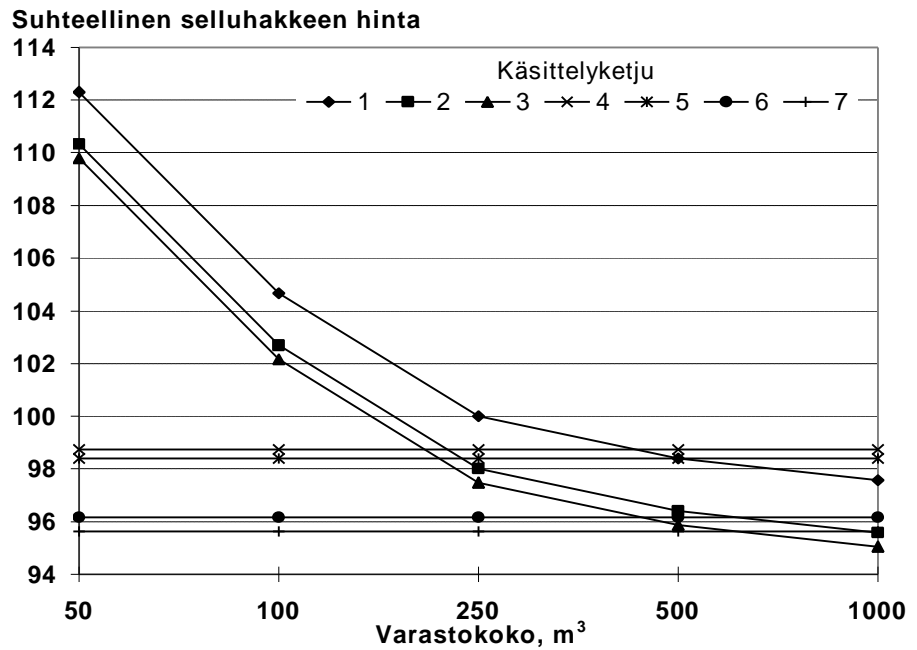


**Kuva 17.** Suhteellinen selluhakkeen hinta **koneellisesti joukko-** käsittelymenetelmällä hakatulla mäntykuitupuulla eri tienvarsi-varastoko'oilla. Case: normaalit kaukokuljetusmatkat. Käsittelyketjuselitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä

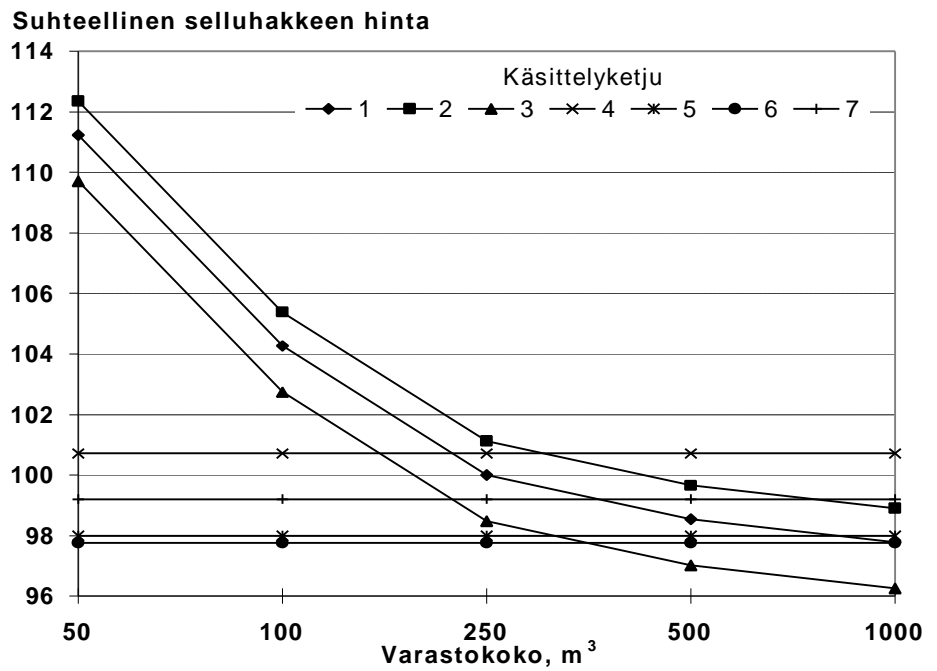
Lyhyemmän ja pidemmän kaukokuljetusmatkan vaikutusta tarkastellaan lähemmin puuraaka-aineen ollessa osapuu (kuvat 18 ja 19). Lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla tehdaskäsittelyyn perustuvan ketjun edullisuus paranee suhteessa muihin ketjuihin. Ellei lämpövoimala sijaitse sopivan lähellä tienvarsivarastoa, kuten kuvan 18 laskelmassa on tilanne, pitää tienvarsivaraston koon olla suuri, vähintään 1000 m<sup>3</sup>, ennen kuin se kannattaa hakettaa tienvarressa.

Pitkillä matkoillakin ketjujen keskinäinen edullisuus riippuu paljon siitä, miten optimaalisesti lämpövoimala sijaitsee tienvarsivarastoon nähden. Jos tilanne on kuvan 19 kaltainen eli lämpövoimala sijaitsee 50 km:n etäisyydellä tienvarsivarastosta ja lämpövoimalan kautta tehtaalte tulee matkaa 30 km enemmän kuin suoraan tienvarsivarastolta tehtaalte, tulee halvin tienvarsihaketusketju edullisimmaksi noin 300 - 400 m<sup>3</sup>:n tienvarsivarastokoolla.



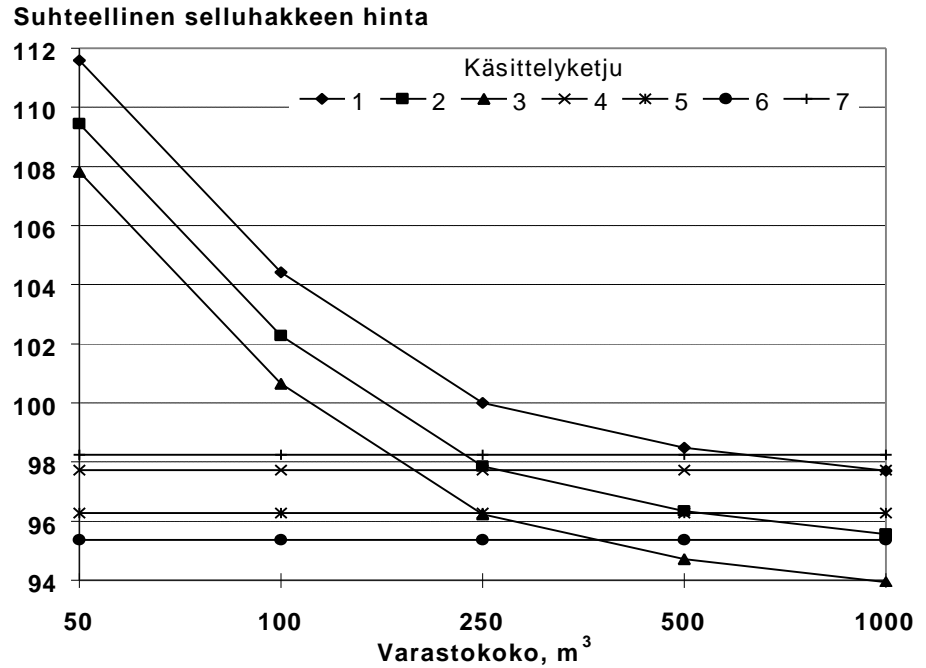


**Kuva 18.** Suhteellinen selluhakkeen hinta **manuaalisesti hakatulla mäntyosapuulla** eri tienvarsivarastoko'oilla. Case: **lyhyet kauko-** kuljetusmatkat. Käsittelyketjuselitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä



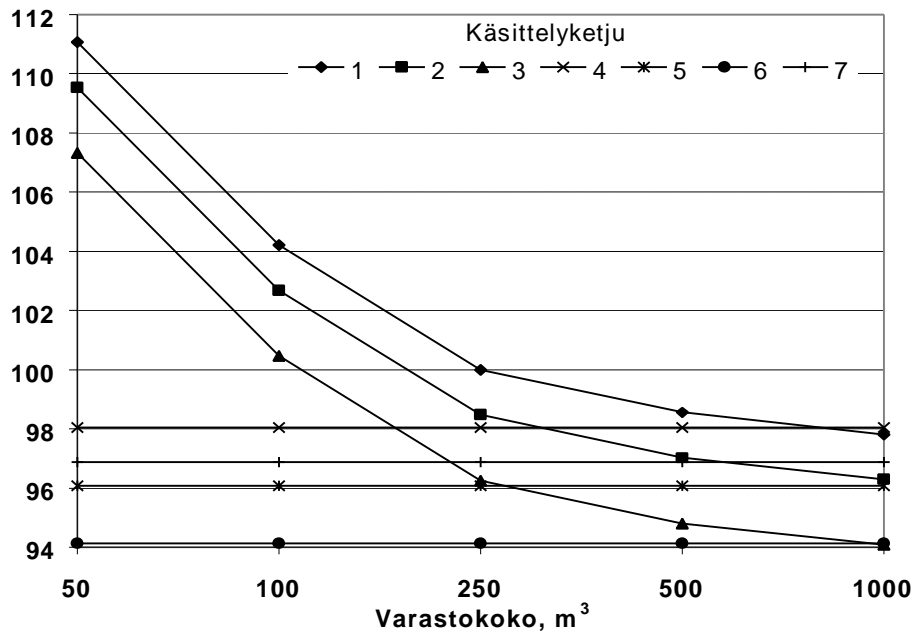
**Kuva 19.** Suhteellinen selluhakkeen hinta **manuaalisesti hakatulla mäntyosapuulla** eri tienvarsivarastoko'oilla. Case: **pitkät** kauko-  
kuljetusmatkat. Käsittelyketjuelitykset kuvan 13 yhteydessä

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty eri käsittelyketjujen keskinäinen edullisuus koivu- ja kuusiosapuulla.



**Kuva 20.** Suhteellinen selluhakkeen hinta manuaalisesti hakatulla **koivuosapuulla** eri tienvarsivarastoko'oilla. Case: **normaalit** kaukokuljetusmatkat. Käsittelyketjuelitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä

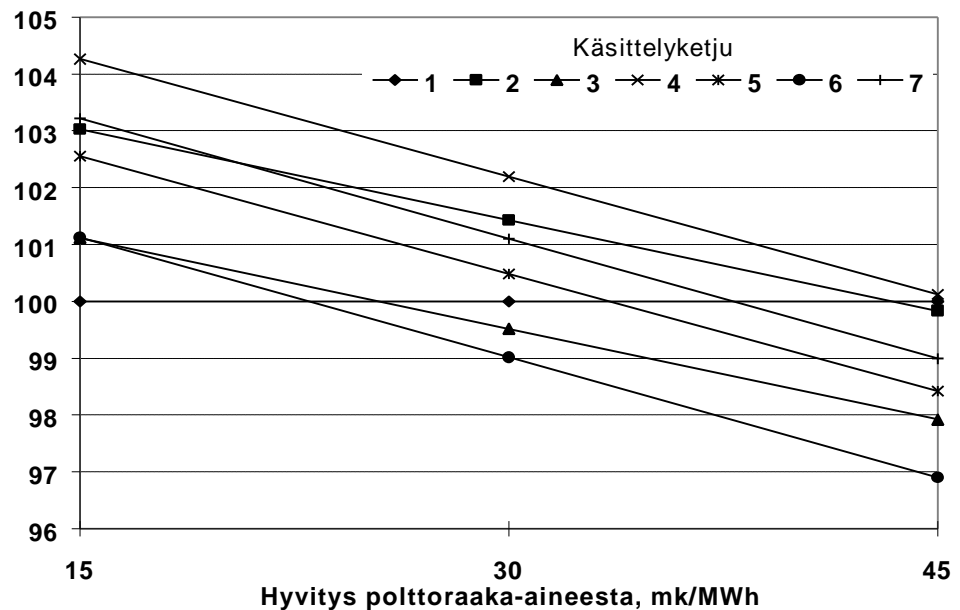
**Suhteellinen selluhakkeen hinta**



**Kuva 21.** Suhteellinen selluhakkeen hinta manuaalisesti hakatulla kuusiosapuulla eri tienvarsivarastoko'oilla. Case: normaalit kauko-kuljetusmatkat. Käsittelyketjusetelitykset kuvan 13 yhteydessä

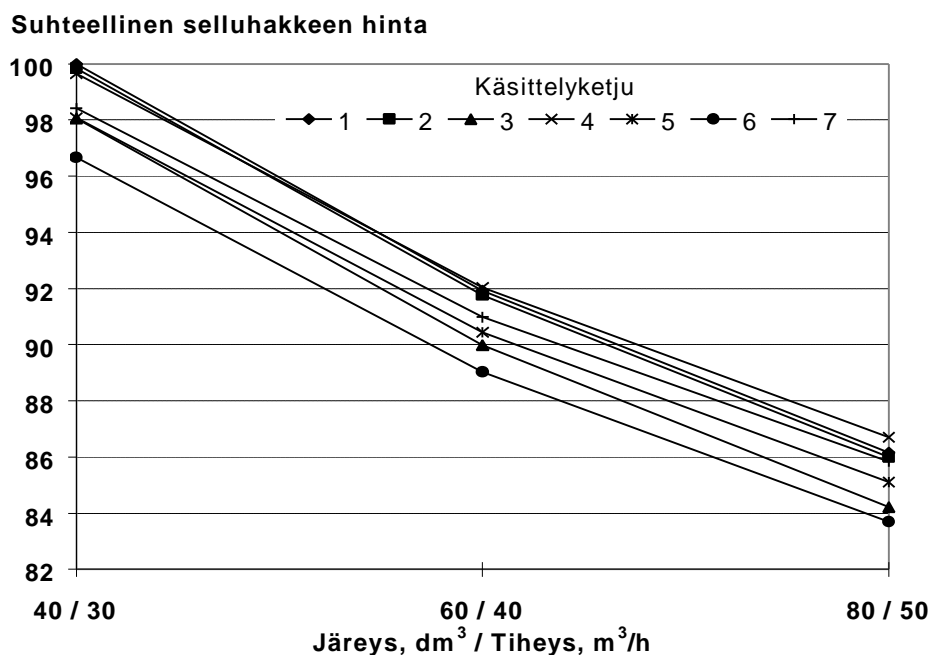
Polttoraaka-aineesta saatava hyvityshinta ei vaikuta käsittelyketjussa 1 *tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätettä ei hyödynnetä* selluhakkeen hintaan, koska tässä ketjussa karsinta-kuorintajäte jätetään tienvarteen ainoastaan siihen kohdistuvat siivouskulut rasitteena (kuva 22). Muissa käsittelyketjuissa selluhakkeen suhteelliset kustannukset nousevat 3 - 4 % polttoraaka-aineen hyvityshinnan laskiessa 45:stä 15 mk:aan/MWh.

Suhteellinen selluhakkeen hinta



**Kuva 22.** Polttoraaka-aineen hyvityshinnan vaikutus suhteelliseen selluhakkeen hintaan manuaalisesti hakatulla mäntyosa-puulla.  
Käsittelyketjuselitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä

Merkittävimpiä selluhakkeen hintaan vaikuttavia olosuhdetekijöitä on puuraaka-aineen järeys (kuva 23). Puun koon kaksinkertaistuessa 40 litrasta 80 litraan ja samalla tiheyden kasvaessa 30:stä 50 m<sup>3</sup>:iin hehtaarilla pienenee selluhakkeen tuotantokustannukset ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmää käytettäessä noin 13 %.



**Kuva 23.** Järeiden/tiheyden vaikutus suhteelliseen selluhakkeen hintaan manuaalisesti hakatulla mäntyosapuulla. Käsittelyketju-

selitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä

Liitteessä 4 on esitetty oksaisuuden, ketjukarsinta-kuorinta-haketusolosuhteiden sekä kauden/haketusolosuhteiden vaikutusta selluhakkeen suhteelliseen hintaan mäntyosapuulla ja kauden/olosuhteiden vaikutusta myös joukkokäsitellyllä tavaramallilla.

Jos ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmästä johtuen joudutaan tekemään, parantamaan tai kunnossapitamaan esim. varastoaluetta tai teitä, ja tästä johtuvat ylimääräiset kustannukset ovat esim. 10 mk/ainespuu-m<sup>3</sup>, nousevat suhteelliset selluhakkeen kustannukset reilut 4 % niissä käsittelyketjuissa, joita nämä kustannukset koskevat. Vastaavasti, jos em. kustannuserä on 20 mk/ainespuu-m<sup>3</sup>, nousevat kustannukset lähes 9 %.

### 3.8.2 Todelliset case-tapaukset

#### Laskentaperusteet

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän laskentamallilla tehtiin myös kolme todellista case-vaihtoehtolaskelmaa. Nämä case-tapaukset olivat Enso Oy:n Karjalan hankinta-alueelta. Muut kuin

case-tapauksen yhteydessä mainitut laskelmissa käytettävät arvot ovat liitteessä 1 esitetyn mukaiset.

## Tulokset

Seuraavassa esitetään kullekin case-tapaukselle tulokset sekä yleisille ketjuille että Morbark-ketjuille. Kaikissa tapauksissa puulajina on mänty.

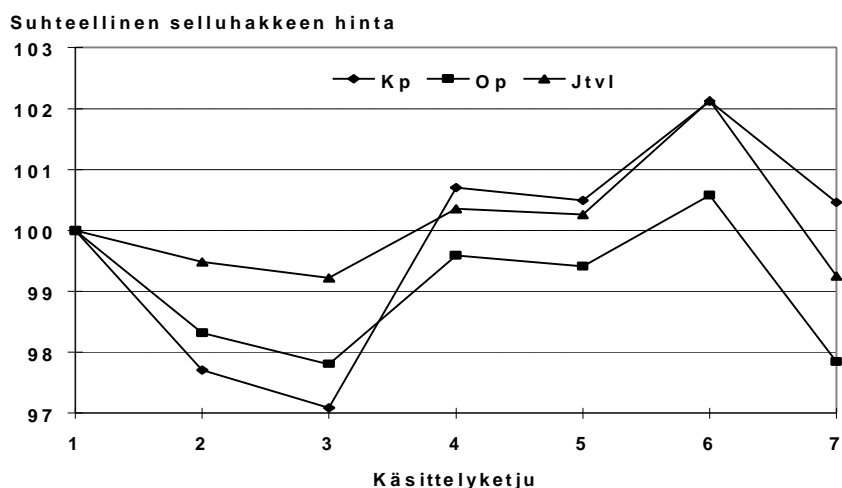
### *Case 1*

Kyseessä oli 500 m<sup>3</sup>:n tienvarsivarasto, joka sijaitsi Ilomantsin Käenkoskella. Muut varastokoot olivat: terminaalivarasto 1 500 m<sup>3</sup>, lämpövoimavarasto 1500 m<sup>3</sup> ja tehdasvarasto 5 000 m<sup>3</sup>.

Etäisyydet olivat:

- tienvarresta Enocellin tehtaalle 57 km.
- tienvarresta terminaalivarastolle 10 km.
- tienvarresta Ilomantsin lämpövoimalalle 35 km.
- terminaalivarastolta tehtaalle 47 km
- terminaalivarastolta lämpövoimalalle 40 km
- lämpövoimalalta tehtaalle 50 km

Jos puuraaka-aine olisi otettu katkottuna kokopuuna, olisi se yleisiä ketjuja käytettäessä ollut edullisinta käsitellä tienvarresta ja kuljettaa karsinta-kuorintajäte joko lämpövoimalalle murskaukseen (käsittelyketju 3) tai tehtaalle murskaukseen (käsittelyketju 2) (kuva 24). Kallein vaihtoehto olisi ollut haketus lämpövoimalassa. Jos puuraaka-aine olisi valmistettu osapuuksi tai joukkokäsittelyksi tavaralajiksi, olisi käsittelyketju 7 (tehdashaketus ja -murskaus) ollut yhtä edullinen ketjujen 2 ja 3 kanssa. Kokopuulla edullisimman ja kalleimman ketjun kustannusero oli 5 %-yksikköä. Osapuulla ja joukkokäsittelyllä tavaralajilla vastaava ero oli 3 %-yksikköä.

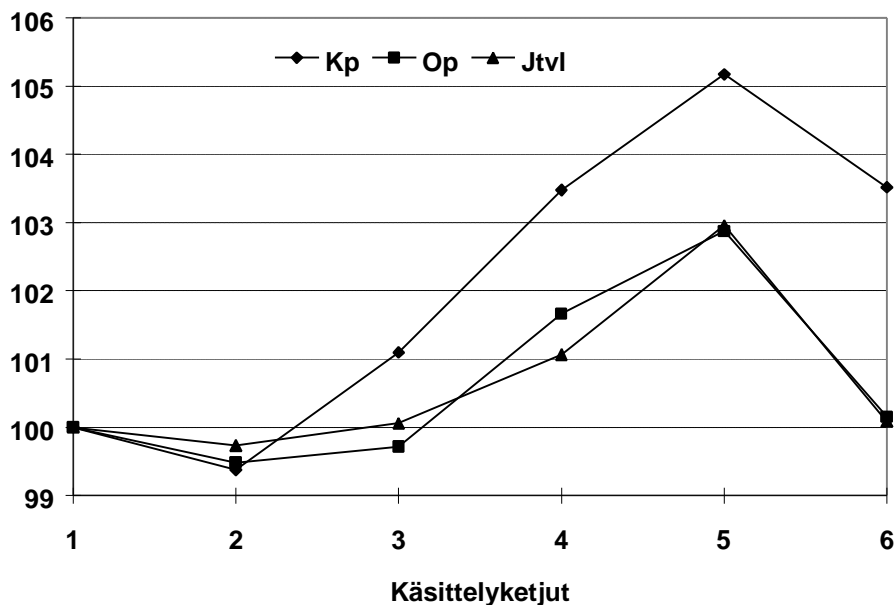


**Kuva 24.** Case 1: Suhteellinen selluhakkeen hinta eri puuraaka-aineilla käsittelyketjuittain yleisillä ketjuilla. Kullakin puuraaka-aineella käsittelyketjun 1 hinnaksi on asetettu 100.

Kp = kokopuu, Op = osapuu, Jtvl = joukkokäsitelty tavaralaji. Käsittelyketju-  
selitykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä.

Morbark-ketjuja käytettäessä kokopuulla käsittelyketjuista edullisimpia ovat 1 ja 2 (kuva 25). Osapuulla ja joukkokäsitellyllä tavaralajilla lähes yhtä edullisia ovat ketjut 1, 2, 3 ja 6. Kaikilla puuraaka-aineilla ketju 5 on epäedullisin.

**Suhteellinen selluhakkeen hinta**



**Kuva 25.** Case 1: Suhteellinen selluhakkeen hinta eri puuraaka-aineilla käsittelyketjuittain Morbark-ketjuilla. Kullakin puuraaka-aineella käsittelyketjun 1 hinnaksi on asetettu 100. Kp = kokopuu, Op = osapuu, Jtvl = joukkokäsitelty tavaralaji.

Käsittelyketjut:

- 1 Tienvarsihaketus - hake ja karsinta-kuorintatähde tehtaalle - Morbark-murskaus
- 2 Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - kars.kuor.jäte lämpövoimalaan - Morbark-murskaus
- 3 Terminaalihaketus - kars.kuor.jätteen Morbark-murskaus terminaalissa - hake ja murske tehtaalle
- 4 Terminaalihaketus - hake tehtaalle - kars.kuor.jäte lämpövoimalaan - Morbark-murskaus
- 5 Haketus polttolaitoksella - kars.kuor.jätteen Morbark-murskaus lämpövoimalalla - hake tehtaalle



## 6 Tehdashaketus - Morbark-murskaus tehtaalla

## Case 2

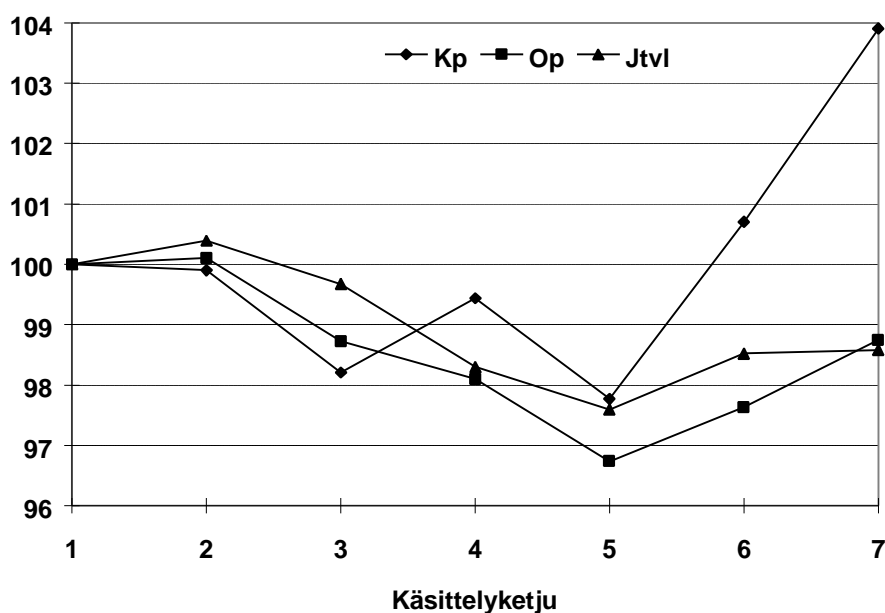
Kyseessä oli 250 m<sup>3</sup>:n tienvarsivarastoista koottu terminaalivarasto, jonka koko oli 1 500 m<sup>3</sup>. Paikka oli Rääkkylä. Lähin lämpövoimala oli Joensuussa ja sen varastokoko oli myös 1 500 m<sup>3</sup>. Tehdasvarastokoko oli 5 000 m<sup>3</sup>.

Etäisyydet olivat:

- tienvarresta Enocellin tehtaalle 118 km.
- tienvarresta terminaalivarastolle 3 km
- tienvarresta Joensuun lämpövoimalaan 67 km
- terminaalivarastolta tehtaalle 115 km
- terminaalivarastolta lämpövoimalaan 64 km
- lämpövoimalalta tehtaalle 51 km

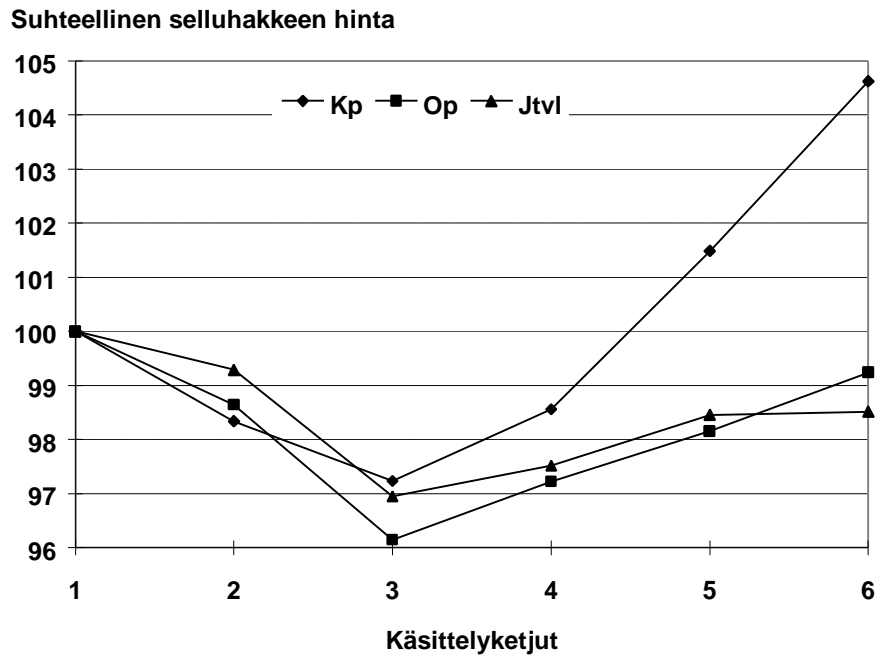
Kaikilla määritetyillä puuraaka-aineilla terminaalihaketukseen ja karsinta-kuorintajätteen käsittelyyn lämpövoimalalla perustuva ketju 5 olisi ollut edullisin (kuva 26). Kokopuulla erityisesti tehdaskäsittelyyn perustuva käsittelyketju 7 on muita kalliimpi.

Suhteellinen selluhakkeen hinta



**Kuva 26.** Case 2: Suhteellinen selluhakkeen hinta eri puuraaka-aineilla käsittelyketjuittain yleisillä ketjuilla. Kullakin puuraaka-aineella käsittelyketjun 1 hinnaksi on asetettu 100. Kp = kokopuu, Op = osapuu, Jtvl = joukkokäsitelty tavaralaji. Käsittelyketjuseilytykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä.

Morbark-käsittelyketjuilla edullisinta olisi ollut tehdä sekä haketus että jätteen murskaus terminaalilla eli käsittelyketjun 3 mukaisesti (kuva 27).



**Kuva 27.** Case 2: Suhteellinen selluhakkeen hinta eri puuraaka-aineilla käsittelyketjuittain Morbark-ketjuilla. Kullakin puuraaka-aineella käsittelyketjun 1 hinnaksi on asetettu 100. Kp = kokopuu, Op = osapuu, Jtvl = joukkokäsitelty tavaralaji. Käsittelyketjuselytykset kuvan 25 yhteydessä.

### Case 3

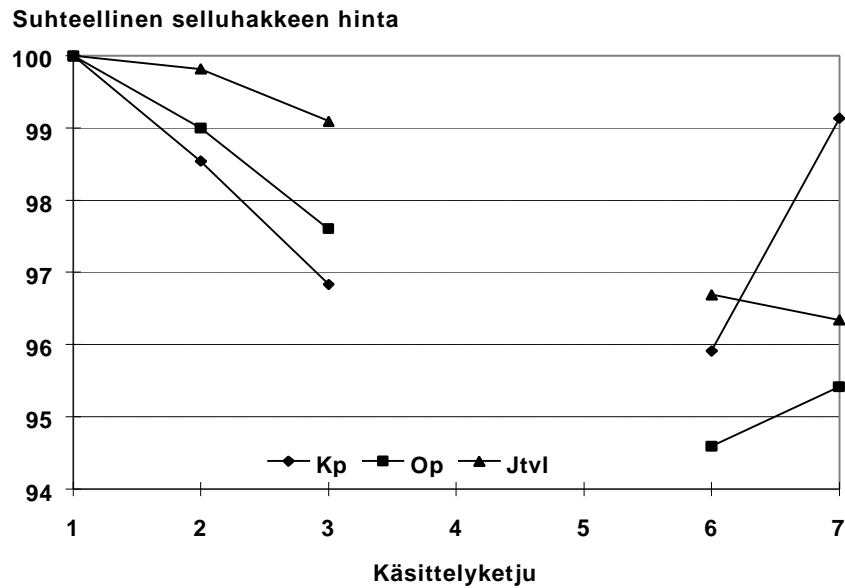
Kyseessä oli 150 m<sup>3</sup>:n tienvarsiavarastoista koottu Lieksan lämpövoimalalla sijaitseva varasto, jonka koko oli 750 m<sup>3</sup>. Tehdasvarastokoko oli 5 000 m<sup>3</sup>.

Etäisyydet olivat:

- tienvarresta Enocellin tehtaalle 70 km.
- tienvarresta Lieksan lämpövoimalalle 25 km
- lämpövoimalalta tehtaalle 50 km

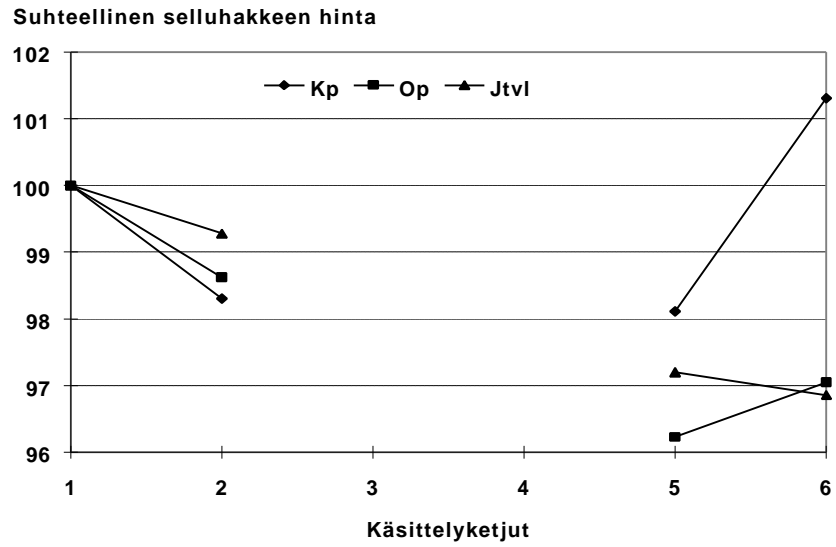
Kokopuulla ja osapuulla edullisin käsittelyketju tässä case-tapauksessa oli käsittelyketju 6 eli haketus lämpövoimalalla. Sen sijaan joukkokäsittelyllä tavaralajilla edellistä hieman edullisemmaksi olisi tullut tehdashaketus perustuva käsittelyketju 7. Tienvarresta käsittelyyn perustuva ketju 1, jossa polttoraaka-aine jätetään tienvarseen, on kaikilla puuraaka-aineilla kallein (kuva 28). Jos polttoraaka-aineesta

saataisiin oletettu 45 mk/MWh, niin se kannattaisi joka tapauksessa hyödyntää.



**Kuva 28.** Case 3: Suhteellinen selluhakkeen hinta eri puuraaka-aineilla käsittelyketjuittain yleisillä ketjuilla. Kullakin puuraaka-aineella käsittelyketjun 1 hinnaksi on asetettu 100. Kp = kokopuu, Op = osapuu, Jtvl = joukkokäsitelty tavaralaji. Käsittelyketjuselytykset kuvan 13 (s. 32) yhteydessä.

Morbark-ketjuistakin suhteellisesti edullisin oli kokopuulla ja osapuulla lämpövoimalalla tehtävä käsittely eli ketju 5 (kuva 29). Joukkokäsittelystä tavaralajilla hieman edullisemmaksi tuli tehtaalla käsittely eli ketju 6.



**Kuva 29.** Case 3: Suhteellinen selluhakkeen hinta eri puuraaka-aineilla käsittelyketjuittain Morbark-ketjuilla. Kullakin puuraaka-aineella käsittelyketjun 1 hinnaksi on asetettu 100. Kp = kokopuu, Op = osapuu, Jtvl = joukkokäsitelty tavaralaji. Käsittelyketjuseritykset kuvan 25 (s. 41) yhteydessä.

### 3.9 Työmaan organisointi

Työmaan organisoinnin vaikutusta ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön tuottavuuteen tarkasteltiin muun muassa aiemmin kerättyjen seuranta- ja kelloaikatutkimusten avulla.

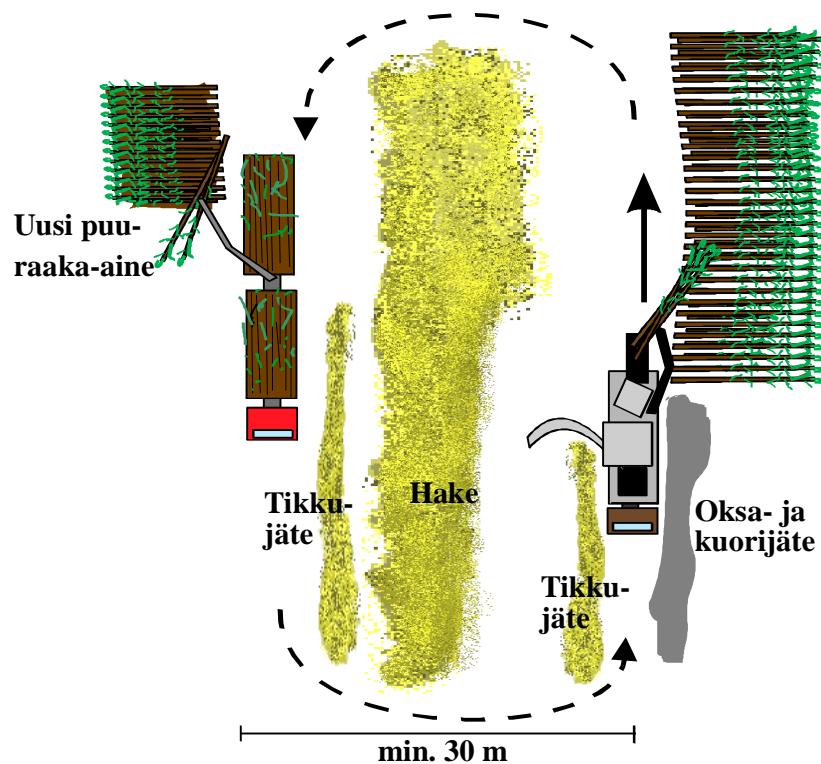
Metsävarastoilla työmaan organisointimahdollisuudet ovat hyvin rajalliset ja tapauskohtaisia, eikä niitä näin ollen voida yksilöidä. Sen sijaan tehdas- ja terminaali-varastolla on yleensä mahdollista järjestellä työmaa haketuksen sujuvuuden kannalta optimaaliseksi. Kaikki normaalin työrutiinin katkaisevat turhat keskeytykset ja häiriöt ovat tällöin minimissään.

Terminaali- ja tehdasvarastolla kuormat puretaan yleensä mahdollisimman korkeisiin kasamuodostelmiin. Korkeista kasoista aiheutuu sekä ongelmia että etuja. Eduksi voidaan lukea lähinnä se, että pinon pituusmetriä kohti on enemmän haketettavaa, mistä johtuen haketusyksikön työpistesiiirtymisten määrä haketetun puumäärän tilavuusyksikköä kohti vähenee. Ongelmat ilmenevät lähinnä siten, että taakkojen muodostaminen kasasta vaikeutuu heikon näkyväsyyden vuoksi ja työpisteittäinen jätemäärä lisääntyy. Taakkoja otettaessa korkea kasa usein sortuu, ja kuormaintyöskentely vaikeutuu näin entisestään. Työpisteittäisen jätemäärän kasvaminen lisää puolestaan työpistesiiirtojen ja jätteenpoiston tarvetta. Nämä haitat syövät helposti ne tuottavuusedut, joita korkealla kasalla muutoin voisi saavuttaa.

Työmaan organisoinnilla pitäisi saavuttaa työkierto, jossa työpistesiiirtymisten tarve on minimissä ja jätteet voidaan poistaa haketusyksikön työskentelyä keskeyttämättä. Tämä edellyttää kuvassa 30 esitetyn tyyppistä varastojärjestelyä. Siinä puukasojen väliin on varattu tilaa vähintään 30 m. Tällä varmistetaan se, että sekä hakkeelle että tikku-jätteelle jää riittävästi tilaa, eivätkä ne pääse sekoittumaan keskenään. Puukasan korkeus säädetään raaka-aineen mukaan siten, että haketusyksikkö voi hakettaa kaiken kuormaimen normaaliulottuvuudella olevan puun tarvitsematta välillä siirtyä sivuun jätteen poistamista varten.

Aikatutkimuksissa on varsinaisen haketuksen eli prosessoinnin osuus ollut noin puolet tuotantoajasta. Apuaikojen, alle 15 minuutin keskeytysten ja organisatoristen keskeytysten yhteenlaskettu osuus on noussut tehdasvarastollakin noin kolmannekseen tuotantoajasta. Tästä ajanmenekin osasta jopa puolet olisi mahdollista siirtää teholliseksi haketusajaksi, jos puukasojen korkeutta ja keskinäistä etäisyyttä säätämällä saavutettaisiin työkierto, jossa haketus keskeytyisi ainoastaan haketusyksikön työpistesiiirtojen ja muiden välttämättömien

keskeytysten ajaksi. Tämä merkitsisi haketusyksikön tuottavuudessa jo noin viidenneksen kasvua.



**Kuva 30.** Työmaan organisointi terminaali- ja tehdasvaras-  
tolla  
ketjukarsinta-kuorintahaketuksessa

### 3.10 Metsäalan kustannuslaskentamallien kehittäminen

Metsätehossa on laadittu 1990-luvun aikana laskentamalleja puutava-  
ran manuaalisen ja koneellisen hakkuun, metsäkuljetuksen sekä  
autokuljetuksen kustannusten laskentaan. Mallit on toteutettu tauluk-  
kolaskentaohjelmilla. Malleja on hyödynnetty maksuneuvotteluissa,  
opetuksessa ja tutkimuksessa.

Näitä kustannuslaskentamalleja on käytetty hyväksi tässä projektissa  
kehitettyssä ketjukarsinta-kuorinta-haketuksen kustannuslaskentamal-  
lissa ja niitä hyödynnetään edelleen jatkoprojektin kustannusana-  
lyyseissä. Tämän vuoksi on oleellista päivittää em. urakoinnin kustan-  
nuslaskentamallit ajan tasalle sekä kustannus- että tuottavuustietojen  
osalta. Tämän mahdollistaa mm. Metsätehon vuosina 1994 - 1996  
tekemät tuottavuustutkimukset sekä puutavaran autokuljetuksesta

että koneellisesta hakkuusta. Tätä mallien päivitystyötä on osittain rahoitettu tämän projektin varoista.



### 3.11 Latvusmassamallin kehittäminen

Erilaisten koko- ja osapuumenetelmien kustannus- ja tuottavuusvertailut edellyttävät mahdollisimman tarkkaa tietoa siitä, kuinka suuri osa latvusmassasta saadaan käyttöosan mukana jalostusprosessiin. Muun muassa minimilatvaläpimitan muutokset vaikuttavat runkopuun ohella latvusmassan kertymään. Tällaisten vaikutusten tuntemiseksi tarvitaan tietoa latvusmassan pystysuuntaisesta jakaumasta.

Projektin varoista rahoitettiin latvusmassamallien kehittämistä. Pääosa mallien kehittämisestä on tehty projektin ”Hake-, puu- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus massatehtaan kuitu- ja energiapuun hankinnassa” rahoituksella. Latvusmassan mallinnuksessa määritettiin männyn, kuusen ja koivun elävien oksien kuivamassan (puuaines + kuori + havupuun neulaset) pystysuuntaista yhteisjakaumaa. Metsäteho sai mallin laadintaa varten käyttöönsä Metsäntutkimuslaitoksen kokoaman aineiston, joka sisältää puulajeittain maantieteellisesti kattavan 6500 kaatokoepuun massatiedot.

Massajakauman kuvauksessa käytettiin apuna Weibull- ja betajakaumia, joiden muoto (vinous ja huipukkuus) ilmaistaan kahden parametrin avulla. Näiden parametrien estimoimiseksi laadittiin puulajeittaiset puutason muuttujiin perustuvat regressiomallit. Tässä raportoitavan tutkimuksen vaihtoehtolaskelmissa sovellettiin pystysuuntaista jakaumaa ja Metsäntutkimuslaitoksen elävän latvuksen kokonaismassaa kuvaavia malleja.

## 4 OSAPROJEKTIN 2 ”YHDISTETTY KETJUKARSINTA- JA RUMPUKUORINTA” TULOKSET

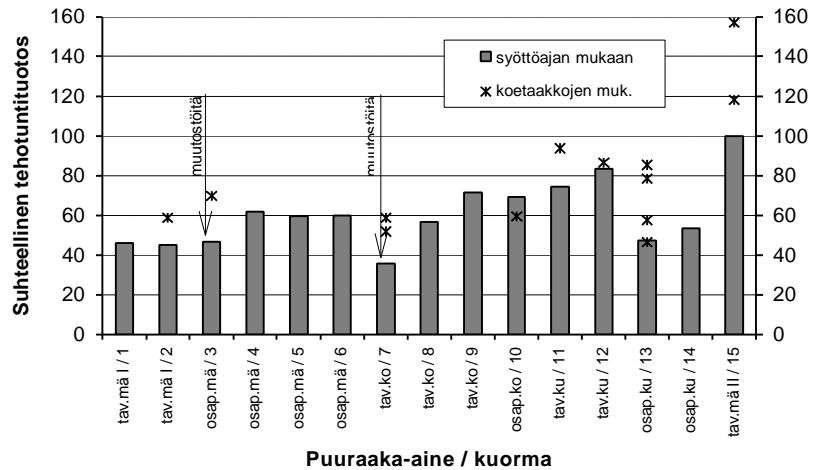
### 4.1 Koe ensimmäisellä prototyypillä

Perti Szepaniak Oy sai yhdistetyn ketjukarsinta- ja rumpukuorinta-laitteiston ensimmäisen prototyypin koekuntoon marraskuussa 1994. Laitteisto koostui syöttöpöydästä, Perti Szepaniak Oy:n kehittämästä 2-rullaisesta ketjukarsintayksiköstä ja pienrummusta. Taakkojen syötössä ja kuorittujen pölkkyjen haketuksessa käytettiin erillisiä mobiili-hakkureita.

Metsäteho teki yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa laitteistolla kokeet marraskuussa 1994. Metsäteho selvitti laitteiston tuottavuutta ja Metsäntutkimuslaitos raaka-ainetasetta ja kuorintalaatua. Koeaineisto oli mäntyä, kuusta ja koivua - tavaralajia ja osapuuta kustakin. Kokeissa tuotettiin haketta yhteensä 870 i-m<sup>3</sup> (330 tuoretonnia). Puuraaka-aineittain määrä vaihteli vajaasta perävaunukuormasta kahteen täysperävaunukuormaan.

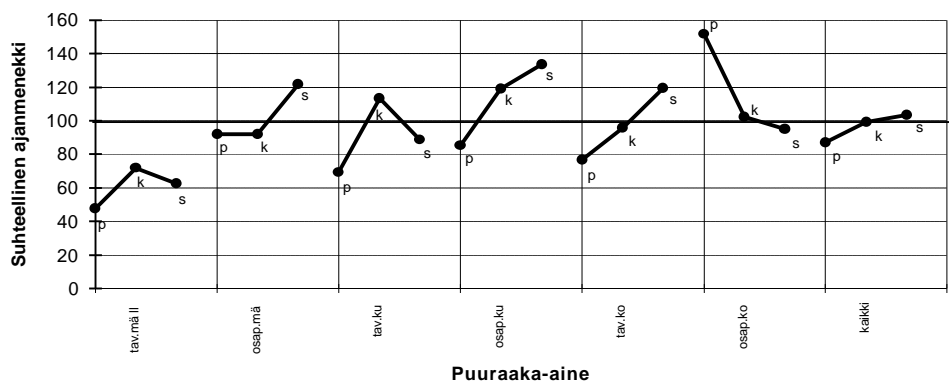
Laitteiston kehitysvaiheesta johtuen tuottavuutta tarkasteltiin kuormaimen ja ketjukarsijan yhteiseen tehoaikaan suhteutettuna. Tehoaikaan ei sisällytetty laitteiston keskeneräisyydestä johtuvia ylimääräisiä työvaiheita, esim. jätteenpoistoa ketjukarsijan alta kuormaimella. Näin määritelty tehotuntuotos vaihteli kokeissa välillä 27 - 76 i-m<sup>3</sup>.

Tuottavuus parani kokeiden aikana laitteistoon tehtyjen muutostöiden myötä, ja paras tulos saavutettiin viimeisessä kokeessa mäntytaavaralajilla (kuva 31). Eri raaka-aineiden välisiin tuottavuuseroihin ei kokeen luonteesta johtuen ole syytä kiinnittää suurta huomiota. Koejakson loppupuolella kuusella tehdyt kokeet tosin osoittivat osapuun ja tavaralajin välisen tuottavuuseron; osapuulla tuottavuus jäi tavaralajiin verrattuna lähes puoleen.



**Kuva 31.** Suhteellinen tehotuntuotos ketjukarsinta-rumpukuorinta-laitteistolla

Tuottavuuskokeiden aikana seurattiin myös yksittäisten pölkkyjen viipymäaikoja ketjukarsinnassa ja rummussa. Koetaakkoihin valittiin sekä pieniä, keskikokoisia että järeitä pölkkyjä. Viipymäaikoja verrattiin järeysluokittain ja raaka-aineittain. Yksittäisten pölkkyjen läpimenoajat ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan läpi vaihtelivat 4:stä 18:aan minuuttiin. Puuraaka-aine ja järeys vaikuttivat viipymäaikaan. Osapuupölkkyt viipyivät linjalla tavalarajipölkkyjä pitempään. Pienet pölkkyt läpäisivät linjan lähes poikkeuksetta järeämpiä pölkkyjä nopeammin (kuva 32). Pääosa järeysluokkien välisestä erosta johtui ketjukarsijan ja rumpun liittymäkohdassa havaitusta järeämpien pölkkyjen takertelusta. Se lisäsi merkittävästi pölkkyjen katkeamisia rumpun alkupäässä ja aiheutti epätasaisuutta kuorintaprosessiin.



**Kuva 32.** Pölkyn järeiden vaikutus ketjukarsinta-

rumpukuorinnan

ajanmenekkiin (p = pieni, k = keskijäreeä, s = suuri)

Metsäntutkimuslaitoksen analyysien mukaan runkopuun hukka oli yleensä reilu prosentti. Hakkeen kuoripitoisuus vaihteli 0,3 %:sta 3,5 %:iin. Lämpötilalla, joka oli kokeiden aikana +0,6 - -7,2 °C, oli vaikutusta kuorintatulokseen; matalammassa lämpötilassa kuorintatulos oli selvästi huonompi.

Männyllä karsimattomasta osapuusta syntyi energiapuuksi soveltuvaa prosessitähdettä yli kaksi kertaa niin paljon kuin karsitusta kuitupuusta. Oksat, pääosa kuoresta ja pääosa runkohukkapuusta poistui-  
vat jo piiskauksessa. Rummutusvaiheeseen jäävän kuoren määrä oli vain puolet tavanomaisesta:

Puutavaran kuorinta-aste	Piiskaus- tähde	Rumpu- tähde	Kaikki tähde	Kuitupuun kertymä	Kuitupuun + tähde yhteensä	
	Oksat	Kuori+puu	Kuori+puu			
			Osuus syöttestä, %			
Karsittu	0,0	7,6	3,0	10,6	89,4	100,0
Karsimaton	11,3	10,4	2,9	24,6	75,4	100,0

Erillisinä toteutettaviin ketjukarsinta-kuorintaan ja rumpukuorintaan verrattuna yhdistelmämenetelmässä kumpikaan käsittely ei ole yhtä rajua, ja siksi runkopuun hävikki pysyy kohtuullisena. Hävikkiä tapahtuu pääasiassa piiskauksessa.

Karsinta-aste	Piiskaus	Rummutus	Yhteensä	Kuitupuussa kuorta, %
			Runkopuun hävikki, %	
Karsittu mänty	1,3	0,2	1,5	1,5
Karsimaton mänty	3,2	0,2	3,4	0,4

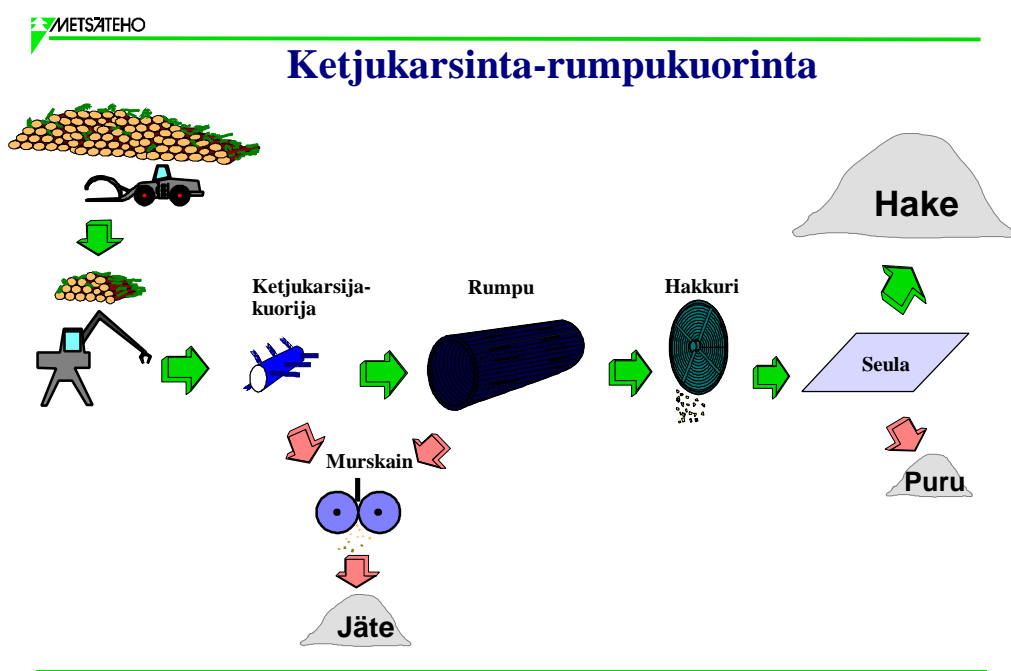
Tuottavuus ja laatu nivoutuvat tiiviisti yhteen. Kun rummun pyörin-  
tänopeutta lisätään vähintään kaksinkertaiseksi kokeen aikaisesta 5  
kierroksesta minuutissa, nousee rummun maksimikapasiteetti samalla  
selvästi. Tämä edellyttää, että syöttökapasiteetti ei ole rajoittavana  
tekijänä. Rummun pyörinnopeuden lisääminen parantaneekin myös  
kuorintajälkeä, koska tällöin pölkyt eivät vyöry rummussa enää  
jaksottaisesti. Edelleen, jos isommatkin puut saadaan ketjukarsijasta  
syötettyä rumpuun siten, että ne eivät jää toisesta päästä tukemaan  
ketjukarsintalaitteeseen, kuten tehdyissä kokeissa kävi, saadaan run-  
pukuorintaprosessi vakioitumaan mahdollisimman nopeasti. Tämä  
edesauttaa kuoriutumista. Kuoriutumistulosta parantaisi myös pidempi  
rumpu.

## 4.2 Koe parannetulla koelaitteistolla

### 4.2.1 Kiinteän ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteiston rakenne

Prototyypilaitteistolla tehtyjen kokeiden myötä ilmenneet parannusehdotukset otettiin huomioon laitteistoa edelleen kehitettäessä. Pertti Szepaniak Oy sai Enso Oy:n Kaukopään tehdasalueelle kiinteäksi rakennetun laitteiston koekuntoon alkuvuodesta 1996.

Kiinteän ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteiston muodostavat nosturi, ohjaamo, syöttöpöytä, ketjukarsinta-kuorintayksikkö, pienrumpu, laikkahakkuri, seula ja erilaiset pölkkyjen, kuorijätteen, hakkeen ja purun siirtokuljettimet (kuva 33). Laitteisto tuottaa seulottua selluhaketta sekä purua ja oksa-/kuorijätettä polttokäyttöön. Laitteistoon tullaan myöhemmin liittämään oksa-/kuorijätteen murskain. Laitteistoa käyttää yksi henkilö, joka syöttää raaka-aineen laitteeseen ja huolehtii prosessin toimivuudesta. Prosessin valvonnan helpottamiseksi laitteeseen on asennettu kokeiden jälkeen videokamera, jolla voidaan seurata rummun ja sen jälkeisen kuljettimen tilannetta. Toinen henkilö tarvitaan siirtämään raaka-aine laitteiston nosturin ulottuville pyöräkuormaajan avulla. Vaihtoehtoisesti raaka-aine voidaan purkaa myös suoraan odottavasta puutavara-autosta.



**Kuva 33.** Kiinteän ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteiston periaate

Nosturina on 2-jatkeinen Foresteri 1010. Ohjaamo on äänieristetty ja lämmitetty. Laitteiston yhteinen moottoriteho on noin 500 kW. Suurin moottori 180 kW tarvitaan hakkurin pyörittämiseen. Ketjukarsija-kuorijan hydraulipumppua pyörittää 132 kW:n suuruinen moottori. Nosturin hydraulipumppua käyttää 50 kW:n ja rumpua 44 kW:n suuruinen moottori.

Laitteiston mitat ovat:

- syöttöpöydän pituus 5,3 m, syöttömaton leveys 1,15 m
- syöttötelojen leveys 1,24 m
- ketjukarsija-kuorijan pituus 2,5 m
- ketjukarsija-kuorijan jatkokuljettimen pituus 3,1 m
- rummun pituus 10 m, sisähalkaisija 2,2 m
- rummun jälkeisen hakkurille vievän kuljettimen pituus 11,2 m, kuljetinketjun leveys 0,38 m
- laitteiston kokonaispituus on noin 32 metriä (ilman hakkuria ja seulaa)

Ketjukarsija-kuorijan telojen pyörimisnopeuden tulisi olla kuormittamattomana 620 r/min. Kokeiden aikana kierrokset putosivat jopa 100:aan kierrokseen minuutissa, alatelalta jopa 40 - 50:een. Ketjukarsijan paine oli kokeiden alussa 170 bar, sitten paine nostettiin 200 bariin, edelleen 230 bariin lopuksi 240 bariin.

Rummun pyörintänopeus oli reilut 9 r/min.

Hakkuri on Perusyhtymä Oy:n valmistama 6-teräinen laikkahakkuri tyybiltään T 1500 SR. Hakkuri pystyi hakettamaan kerrallaan 3 - 4 läpimitaltaan noin 15 cm:n pölkkyä.

Hakkurilta hake syötetään polynerotussuppilon kautta seulalle, jossa on 45 ja 9 mm:n reikäseulaverkot. Seulaverkon koko on 3,3 m (pituus) x 3 m (leveys). Seulontaliike saadaan aikaiseksi seulan ylä- ja alapuolella sijaitsevilla pyörivillä epäkeskoilla. Ylisuuret palat palautetaan hihnakuljettimella takaisin hakkuriin. Seulan kapasiteetti näytti riittävän hyvin kokeiden aikaiselle ja suuremmillekin haketusmäärille.

Seulalta hyväksytty hakejäte siirretään hihna- ja purujäte kolakuljettimella omiin kasoihin tai suoraan odottavan auton lavalle.

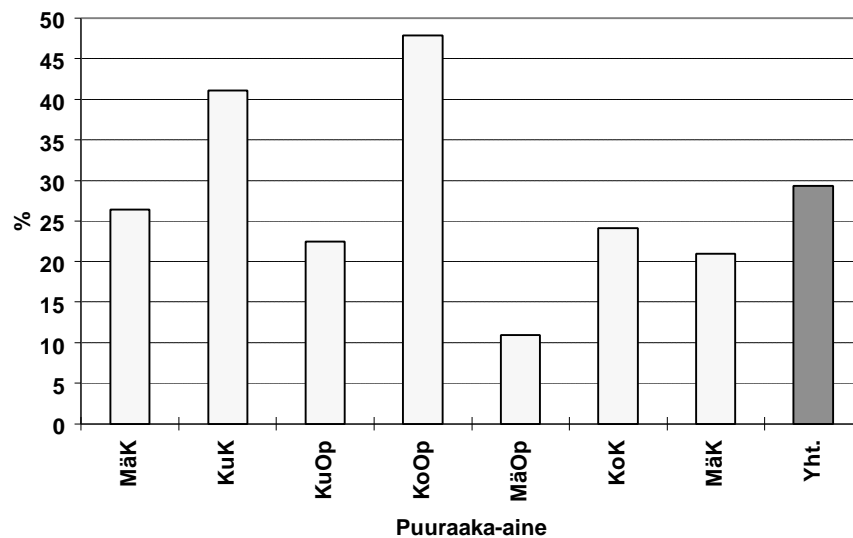
#### **4.2.2 Koetulokset**

Metsäteho ja Metsäntutkimuslaitos tekivät yhteiset kokeet laitteistolla helmikuussa 1996. Kokeiden aikana pakkasta oli 7 - 11 astetta. Kutakin koetta edeltäneen yön pakkaslukemat vaihtelivat 8:sta 17:ään asteeseen. Koeaineistona oli edellisen kokeen mukaisesti mäntyä, kuusta ja koivua - tavaralajia sekä osapuuta kustakin. Koko koeai-

neisto hakkeena ja puruna oli 1028 i-m<sup>3</sup> (349 tuoretonnia). Purun osuus oli noin 10 %.

Käsittelyasema oli kokeiden aikana edelleen kehittely- ja sisäänajovaiheessa, joten tulokset eivät suinkaan ole lopullisia, vaan kysymyksessä oli vain ensimmäinen alustava, luonteeltaan tunnusteleva kokeilu kiinteällä laitteistolla.

Laitteisto ei toiminut kaikilta osin vielä jouhevasti. Tästä aiheutui runsaasti keskeytyksiä (kuva 34). Suurin syy keskeytyksiin oli pölkkyjen ruuhkautuminen hakkurille menevälle kuljettimelle. Näiden keskeytysten osuus oli 56 % kaikista alle 15 minuutin keskeytyksistä (kuva 35). Tukoksen purkamisen vei keskimäärin 6 minuuttia. Ruuhkautumisen aiheutti kahden sopivankokoisen pölkyn jumiutuminen kuljettimen kapenevaan kohtaan. Näin kaikki rummusta tämän jälkeen tulevat pölkkyt jäivät tähän kohtaan muodostaen suman, joka ei yleensä lauennut ilman ihmisapua. Kuivahtaneella mäntykuitupuulla, jota laitteistolla oli ajettu ennen näitä kokeita, tällaista ruuhkautumista ei ollut tapahtunut läheskään yhtä paljon kuin kokeiden aikana tuoreella puulla. Selviä eroja oli myös puuraaka-aineiden välillä. Mäntykuitupuua oli herkin ruuhkautumaan. Kuusi meni paremmin läpi. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että mänty oli mutkaisempaa, lengompaa ja oksaisempaa kuuseen verrattuna.



**Kuva 34.** Keskeytysten osuus koeajasta puuraaka-aineittain

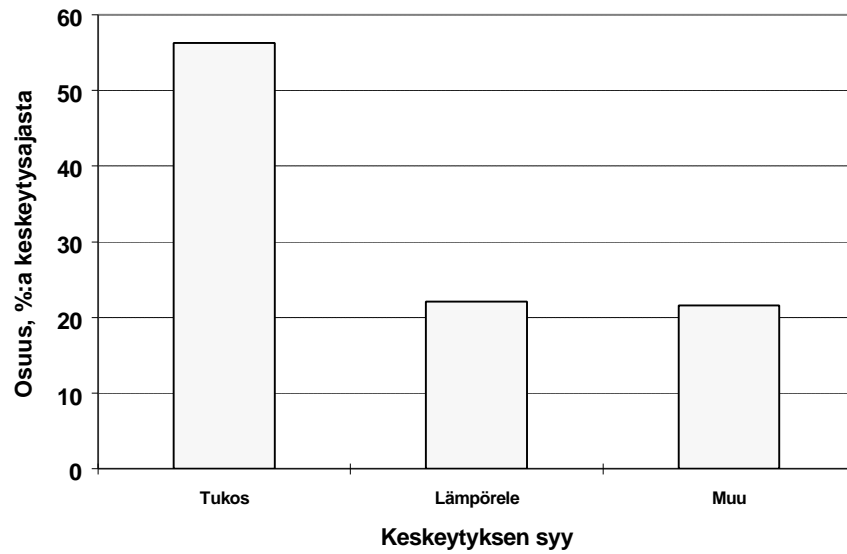
Ketjukarsijassakin oli ongelmia, josta johtuen se ei toiminut täydellä teholla. Varsinkin alatelan hydraulimoottorin paineet ja virtaukset katosivat lähes olemattomiin kokeiden aikana. Tämä vaikutti oleellisesti kuorintajälkeen. Ongelma on poistettavissa. Ketjukarsijan heikko toiminta aiheutti toisen merkittävän keskeytysten syyn eli ketjukarsijan lämpöreleen laukeamisen usein pois päältä. Tämä ongelma poistuu, kun ketjukarsija saadaan toimimaan normaalisti. Näiden keskeytysten osuus oli 22 % kaikista alle 15 minuutin keskeytyksistä ja kesto keskimäärin 2 minuuttia (kuva 35).

Kolmas yleisin keskeytyksen syy oli puun pätjän tai palasen juuttuminen ketjukarsija-kuorijan jälkeisen kuljettimen päässä olevien kahden rullan väliin. Ongelma johtuu siitä, että rullien ”kamat” ovat muodoltaan suorat. Kun puu puristuu syöttösuuntaan nähden poikittain näiden suorien kampojen väliin, ei kuljettimen teho riitä sitä murskaamaan, vaan se jää tähän jumiin. Näiden ”kampojen” tulisi olla v-muotoiset, jolloin puu murskautuisi pienemmällä voimalla jäädessään ”kampojen” väliin.

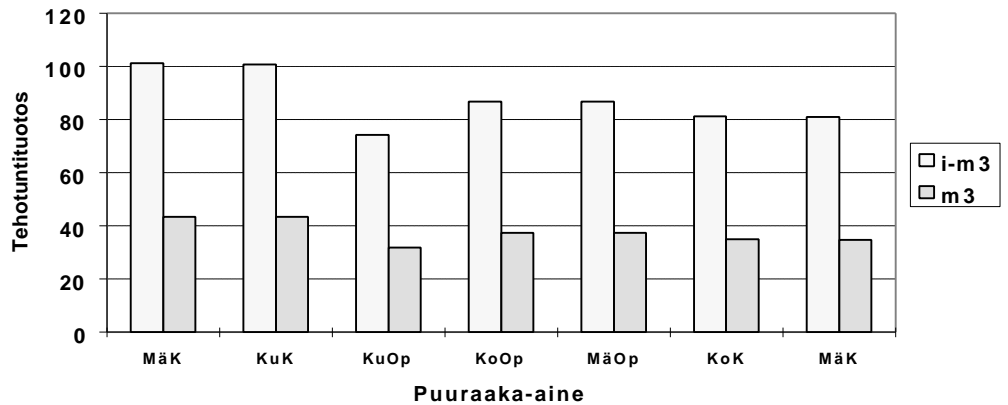
Muiden keskeytysten osuus oli reilu viidennes kaikista alle 15 minuutin keskeytyksistä. Keskimäärin nämä keskeytykset veivät 2 minuuttia. Lyhyiden keskeytysten lisäksi oli yhteensä kaksi pitempää keskeytystä (57 ja 38 min), jotka aiheutuivat hakkurin ja ketjukarsintalaitteiston rikkoutumisista.

Tehdyissä kokeissa tehotuntuotos oli 74 - 101 i-m<sup>3</sup> (kuva 36). Tuottavuus oli selvästi suurempi kuin ensimmäisen prototyypin kokeissa, mutta edelleen sitä voidaan pitää enintään kohtuullisena. Kuljettajan kokemuksen karttuessa sekä laitteiston ja työjärjestelyiden edelleen kehittyessä tuottavuudessa on mahdollista päästä selvästi parempiin arvoihin etenkin sulan puun aikaan. Näin tulee käydäkin, jotta hakkeen hinta laitteistolla saataisiin riittävän edulliseksi.





**Kuva 35.** Alle 15 minuutin keskeytysten syyt ketjukarsinta-rumpukuorintakokeissa



**Kuva 36.** Tehotuntituotos (selluhake ja puru) ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteistolla helmikuussa 1996

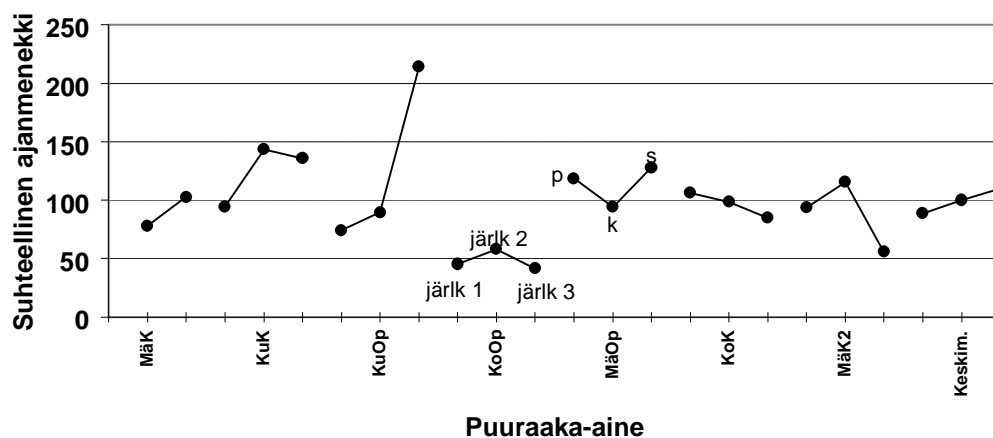
Tuottavuuserot eri raaka-aineiden välillä saattoivat johtua vain kuljettajan kulloisestakin taakan syöttötavasta, johon vaikutti kuljettajan ennakkokäsitys raaka-aineen ”häiriöherkkyydestä” ja kuoriutuvuudesta. Tavaralajin ja osapuun välinen tuottavuusero ei ollut kuusta lukuunottamatta kovin merkittävä.

Kuten edellä on todettu, ketjukarsija-kuorija ei ollut vielä suunnitelmassa toimintakunnossa, sillä riittämättömän tehon vuoksi sen kierroslukuarvot putosivat etenkin alarummulla hyvinkin alhaisiksi. Tästä johtuen lähinnä kuusella ja koivulla selluhakkeeseen jäi aivan liian paljon kuorta, jolloin kyllä vastaavasti karsinta-kuorintavaiheen puunhävikki jäi pieneksi. Männyllä kuorintatulokset olivat oleellisesti parempi kuin muilla puulajeilla, ketjurummun hitaaseen nopeuteen ja pakkassähän nähden itse asiassa melko tyydyttävä (taulukko 5).

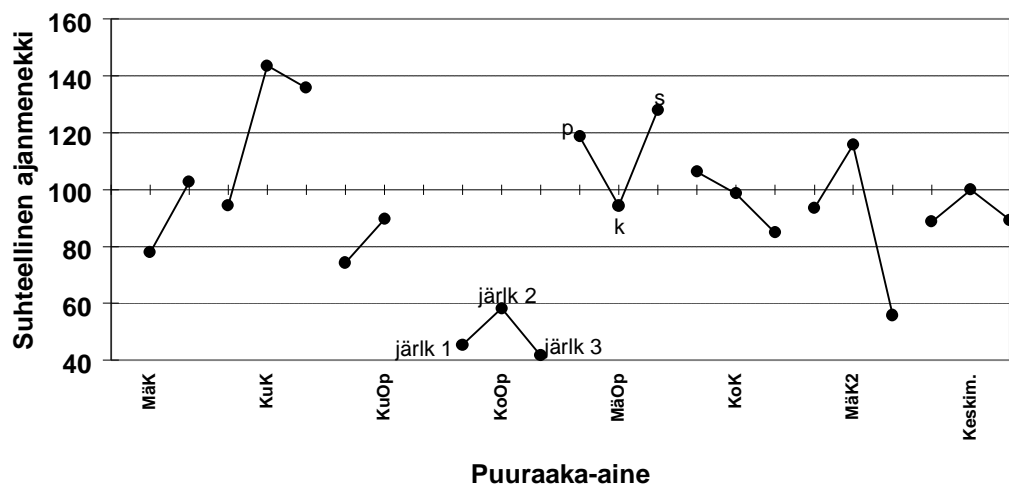
**TAULUKKO 5** Puun hävikki ja selluhakkeen kuoripitoisuus ketjukarsinta-rumpukuorintakokeissa helmikuussa 1996

Puuraaka-aine	Puun hävikki, % kuivamassasta			Selluhakkeessa kuorta, %
	Karsinta-kuorinnassa	Seulonnan-sa	Yhteensä	
MäK	1,2	9,9	11,1	1,6
MäK	1,4	7,1	8,5	1,5
MäOp	0,8	9,2	10,0	1,3
KuK	2,0	6,2	8,2	5,3
KuOp	3,6	5,7	9,3	3,6
KoK	0,6	2,9	3,5	5,9
KoOp	1,8	2,9	4,7	6,3

Yksittäisten pölkkyjen läpimenoajat ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan läpi olivat 3 - 24 minuuttia. Puuraaka-aineella ja järeydellä ei havaittu ensimmäisellä prototyypillä tehdyistä kokeista poiketen selvää vaikutusta läpimenoaikaan (kuvat 37 ja 38). Tämä johtui ilmeisesti siitä, että nyt ei esiintynyt vastaavanlaista takertelua kuorintaprosessissa kuin ensimmäisellä prototyypillä tehdyissä kokeissa.



**Kuva 37.** Pölkyn järeyden vaikutus ketjukarsinta-rumpukuorinnan ajan menekkiin (p = pieni, k = keskijäreä, s = suuri)



**Kuva 38.** Pölkyn järeyden vaikutus ketjukarsinta-rumpukuorinnan ajanmenekkiin, kun järeimmän kuusiosapuupölkyn havainto

on

poistettu aineistosta (p = pieni, k = keskijäreä, s = suuri)

### 4.2.3 Laitteen jatkokehitys

Kokeiden aikana runsaasti keskeytyksiä aiheuttaneet laitteistosta johtuneet syyt on pyritty poistamaan. Tämän ansiosta keskeytysten osuus pienenee merkittävästi. Kesän 1996 aikana ketjukarsijan rullien voimansiirto muutetaan sähkömoottoreilta suoraan mekaanisesti toimivaksi.

Kaikenkaikkiaan ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteiston kapasiteetti tulee sovitaa rummun maksimikapasiteetin mukaan, koska rumpu on oheislaitteineen linjan kallein komponentti. Mitoituksessa on kuitenkin huomioitava, että ketjukarsijan ja hakkurin häiriötön toiminta edellyttää tiettyä tyhjänäpyörimisaikaa, joten niiden kapasiteettia ei voida hyödyntää rummusta poiketen 100-prosenttisesti. Pienten häiriöiden varalle on oltava lisätehoa linjan tasaisen toiminnan turvaamiseksi. Ääritapauksessa esimerkiksi ketjukarsijalle voitaisiin syöttää taakkoja kahdella kuormaimella.

Pyörintänopeuden nostaminen vaikuttaa lähes lineaarisesti rummun kuorintatehoon. Pyörintänopeudella on kuitenkin käytännössä rajat, joiden ulkopuolelle ei voida mennä ilman, että kuorintaprosessi häiriintyy. Pyörintänopeuden alaraja määräytyy siitä, että puiden tulee liikkua rummussa jatkuvana massana. Mikäli nopeudessa mennään niin alas, että puumassa alkaa liikkua jaksottaisesti menetetään kuorintateho ja puuhäviö kasvaa. Yläraja pyörintänopeudelle määräytyy sen mukaan, koska puun liike tulee niin rajuksi, että se säilyy ja pätkien muodostus kasvaa. (Kahilahti, M. Kuitupuun vastaanotto, sulatus ja kuorinta. Kuitupuun käsittely -kurssi. 23.-24.9.92. INSKO 95-92 VII)

Edelleen Kahilahden mukaan kuorimarummun koko tulisi määritellä siten, että keskimääräisissä oloissa ja keskimääräisellä puulaadulla tarvittava mekaaninen vaikutus tai viipymäaika saavutetaan normaalityttöasteella ajaettaessa. Kuorintaolojen muuttuessa keskimääräistä helpompaan tai vaikeampaan säädetään rummun kierrosnopeutta. Rummun täyttöaste tulisi pitää aina mahdollisimman vakiona kullekin puutyypille optimaalisella tasolla.

Pienrumpujen pyörintänopeudet ovat normaalisti yli 10 kierrosta minuutissa. Tämän laitteiston rummun pyörintänopeus oli nostettu edellisen kokeen aikaisesta 5 kierroksesta 9 kierrokseen minuutissa. Tämä paransi kuorintarummun kapasiteettia. Puu liikkui rummussa jo jatkuvana massana, ei siis enää jaksottaisesti. Rummun kapasiteetin lisäämiseksi sen pyörintänopeutta voisi vieläkin nostaa, koska ainaakaan vielä tällä pyörimisnopeudella eivät pölkyt merkittävästi murskautuneet. Pyörimisnopeuden säätö olisi myös oleellista järjestää. Nyt

rummutusaikaan voitiin vaikuttaa ulostuloluukun korkeutta säätämällä.

Taakkojen syöttökapasiteettia voidaan jossain määrin nostaa tilajärjestelyillä ja tehokkaammalla kuormaimella. Ellei taakkaa pystytä hajotamaan pituussuunnassa syöttöpöydällä, ei tehokkaammalla kuormaimella saatavat isommat taakat paranna syötön kapasiteettia ketjukarsijan karsinta- ja kuorintatehon siitä kärsimättä. Sen sijaan tilajärjestelyillä voidaan nostaa taakkojen syöttötaajuutta, joka ei yhtä helposti huononna piiskauksen tehoa. Kun kuormain sijoitetaan siten, että sen ja syöttöpöydän läheisyyteen jää tilaa esimerkiksi kahdelle rinnakkaiselle kasalle tai puoliympyrän muotoiselle kasalle, sillä pystytään syöttämään melko tasaisesti ja nopeasti taakkoja ketjukarsijaan. Työmaalla on joka tapauksessa oltava käytössä pyöräkuormaaja tai muu vastaava kone, joka pystyy täydentämään kasaa joustavasti parhaaseen mahdolliseen muotoon. Kokeiden aikana kasojen täydentäminen pyöräkuormaajalla aiheutti keskeytyksen taakkojen syöttöön. Tätä ei saisi tapahtua.

Syötön ja karsinta-kuorinnan toimiessa hyvin saattaa nykyisen hakkurin kapasiteetti muodostua laitteiston pullonkaulaksi.

Kummassakin tehdyssä kokeessa on saatu viitteitä, että karsimatonta puu kuoriutuisi jonkin verran paremmin kuin karsittu. Tämä voi johtua siitä, että oksat irrotessaan ja katkeillessaan iskevät runkoja vasten ja näin tehostavat kuorintaa. Jos tämä havainto pitää paikkansa, olisi laitteistolla edullista käsitellä nimenomaan karsimatonta tai osittain karsittua raaka-ainetta. Osasyynä edelliseen on voinut olla myös olosuhteet.

Kustannusanalyysit toteutetaan laitteesta tehtävän 2-vuotisen jatko-projektin aikana.

## **5 OSAPROJEKTIN 3 ”KETJUKARSINTAMURSKKEEN KÄSITTELY JA JAKELU” TULOKSET**

Ketjukarsinta-kuorinta-hakekypsyksikön tuottamassa jätteessä on niin paljon pölkyistä murtuneita kappaleita, että lämpölaitosten syöttölaitteiden häiriötön toiminta edellyttää tähteen homogenisoimista murskaimella. Noin 12 % tähteen massasta on palakooltaan yli 15 cm.

Osaprojektissa 3 tutkittiin Morbark 1200 -vasaramurskaimen tuottavuutta ja saadun murskeen laatua erilaisilla puupitoisilla materiaaleilla, erityisesti ketjukarsinta-kuorinta-haketussyksikön prosessitähteellä. Tutkimus osoitti, että murskain soveltuu teknisesti hyvin kkh-yksikön jätteen ja sahojen kuorijätteen murskaukseen ja kohtalaisen hyvin tuoreen hakkuutähteen murskaukseen. Kantojen murskaus edellyttää, että kannot pilkotaan pienemmiksi ennen murskausta, sillä hankalan muotonsa takia ne eivät kokonaisena painu kunnolla murskaimen teriin saakka. Murskaimen tehotuntituotos oli ketjukarsintajätteellä 105-149 i-m<sup>3</sup> (20-22 kuivatonna), sahan kuorijätteellä 125 i-m<sup>3</sup> (20 kuivatonna) ja tuoreella hakkuutähteellä 60-70 i-m<sup>3</sup> (10 - 11 kuivatonna). Kantojen murskauksen tuottavuus oli vain 22 i-m<sup>3</sup>/käyttötunti.

Tuottavuuteen vaikuttavat murskattavan materiaalin lisäksi myös varastojärjestelyt ja käytettävissä oleva työskentelytila; erityisesti, jos murskaus tehdään suoraan hakeautoon. Koska murskeen purkuhina on koneen suuntainen, hakeauto joudutaan sijoittamaan murskaimeen nähden poikittain. Tienvarsivarastolla tähän on harvoin tilaa. Ahtailla kentillä myös murskaimen sijoittaminen ja siirtely on hankalaa.

Murskausalustalla on suuri vaikutus murskeen sisältämän hiekan määrään; erityisesti, jos murske tehdään kentälle ja kuormataan myöhemmin hakeautoon. Epäedullisissa olosuhteissa hiekan määrä nousi jopa neljännekseen murskeen kuivapainosta. Epäpuhtauksien kontrolloimiseksi murskauspaikan tulisi olla päällystetty tai ainakin hyvin roudassa. Tällaisilla työmailla murskeen tuhkapitoisuus oli vain 1,1 - 1,7 %.

Murskeen palakokoa voidaan säädellä pohjaseuloja vaihtamalla, mutta murskauksen tuottavuus laskee pohjaseulojen pienetessä. Tutkituilla materiaaleilla karkeimmillakin seuloilla tehty murske kelpasi kokonsa puolesta lämpölaitosten polttoaineeksi. Tuoreesta materiaalista tehty murske oli kosteutensa puolesta kelvollista leijukerrospoltoon, mutta arinapolttoratkaisuihin kosteus oli suuri. Kuivahtaneesta raaka-aineesta tehdyn murskeen kosteus oli riittävän pieni myös arinapolton kannalta.

Yleissääntönä on murskauksen kannalta pidettävä sitä, että ketjukarsinta ja siihen liittyvä prosessitähteen murskaus keskitetään terminaalille. Murskauksen tehotuntuottavuus ja erityisesti tuotantotuottavuus ovat silloin suurimmillaan, ja murskeen laatu (kosteus, palakoko, tuhkapitoisuus) vastaavasti parhaiten hallittavissa. Murskaimen työllistämisen kannalta on välttämätöntä, että ketjukarsinta-kuorintatähteen lisäksi on tarjolla myös muuta materiaalia, esimerkiksi hakkuutähdettä.

Tarkempi raportointi Morbarkilla tehdyistä kokeista on liitteenä 5.

## **6 OSAPROJEKTIN 4 ”PUUN KUORINNAN TEHOSTAMINEN KETJUKARSINNASSA” TULOKSET**

### **6.1 Osaprojektin toteutus**

Projektissa on vuoden 1994 aikana suunniteltu laboratoriosimulaattori, joka muodostuu erilaisista moduuleista, joita voidaan kytkeä toisiinsa. Laitteeseen kuuluu syöttö-, ketjukarsija-, ketjukuorija- ja harjakuorijayksikkö sekä vastaanottotasku. Alkuvaiheessa koelaitteesta toteutettiin syöttö- ja ketjukarsijayksikkö sekä vastaanottotasku. Ketjukarsijayksikköön voidaan vaihtaa ketjujen sijaan harjarumpu, jolloin voidaan selvittää sekä ketjujen että harjojen toimivuutta yksittäisten puiden kuorinnassa.

Yksikön sivut on ketjujen/harjojen kohdalta suojattu paksulla lasilla, jolloin päästään tarkemmin seuraamaan itse ketjujen ja harjojen käyttäytymistä niiden osuessa puuhun. Harjojen "työstökohdat" tullaan kuvaamaan high-speed -videokameralla, jolloin voidaan paremmin analysoida kuorenirrotustapahtuma.

Koeajot keskittyivät ensivaiheessa koelaitteen testaukseen ja sen sekä koeajo- että mittauskäytännön luomiseen ja parantamiseen. Varsinaiset kokeet alkoivat marraskuussa 1995, josta lähtien on suoritettu kuoren irrotukseen liittyviä koeajoja ensiharvennumännillä käyttäen eri pituisia, eri paksuisia ja eri järjestyksissä olevia ketjuja sekä erilaisia "harjakonstruktoita". Kuorintasimulaattorilla tutkitaan ketjujen ja harjojen pituuksien, asettelun, iskukulmien ja iskunopeuden vaikutusta oksien ja kuoren poistamiseen. Tutkimuksissa selvitetään erilaisten konstruktioiden yksittäisvaikutukset sekä koskemattomaan puuhun että erilailla "esikäsiteltyihin" runkoihin. Tutkimuksissa selvitetään eri vaiheessa olevan kuoren irtoaminen rungoista. Laboratoriokokeista



saadaan tietoa parhaisiin tuloksiin johtavista ketjujen ja harjojen muodoista ja pyörimisnopeuksista sekä puuraaka-aineen syöttönopeuksista.

## **6.2 Laitteiston toteuttaminen**

### **6.2.1 Laitteiston suunnittelu**

Ketjukarsintakuorintalaitteen suunnittelu aloitettiin vuonna 1994, jolloin aluksi toteutettiin insinööritoimisto Oy Finnsampo Ltd:n kanssa layout-kuvia kolmivaiheisesta karsintakuorinnasta. Näiden suunnitelmien perusteella laadittiin eri yksiköiden valmistuskuvat, joiden perusteella pyydettiin valmistustarjoukset neljästä eri yrityksestä. Tarjouksien perusteella koko laitteiston valmistaminen olisi tullut niin kalliiksi, ettei sen toteuttaminen ollut mahdollista käytettävissä olevan rahoituksen puitteissa. Tämän vuoksi laitteistoa rajattiin siten, että se kuitenkin palvelisi tutkimusta ja olisi mahdollista toteuttaa projektissa.

Uuden suunnitelman perusteella koelaitteesta toteutettiin syöttö- ja ketjukarsijayksikkö sekä vastaanottotasku (kuva 39). Ketjukarsijayksikköön voidaan vaihtaa ketjujen sijaan harjarumpu, jolloin voidaan selvittää sekä ketjujen että harjojen toimivuutta yksittäisten puiden kuorinnassa.

**Kuva 39.** Kaaviokuva toteutetusta tutkimuslaitteistosta

### **6.2.2 Laitteiston rakentaminen**

Laitteiston rungon rakensi BMH Wood Technology Oy ja lopputyöt teki VTT Energia. Laitteisto sijaitsee VTT Energian pihalla olevassa ulkohallissa siten, että laitteen syöttöosa nostureineen on hallin

ulkopuolella, mutta karsintakuorinta- ja vastaanottoyksikkö sekä laitteeseen olennaisesti liittyvä valvomo tiedonkeruu- ja käsittelylaitteineen on hallin sisällä. Laitteiston sijoittaminen mahdollistaa täysimittaisten kokopuiden syöttämisen karsintaan ja kuorintaan.

### 6.2.3 Laitteiston koeajot ja muutokset

Testiajojen aikana ilmeni erilaisia parannustarpeita liittyen sekä toimivuuteen, käytettävyyteen että turvallisuuteen, joita täytyi muuttaa tai lisätä, jotta kyettiin aloittamaan varsinaiset ensimmäiset koeajot.

Kuorintayksikköön tehtiin ensimmäisten 28. päivänä elokuuta 1995 alkaneiden testiajojen perusteella seuraavia muutoksia:

- lisättiin ohjausrumpuja puun kulkemisen parantamiseksi
- rakennettiin suojakoteloita sisällä olevien sylintereiden, hydraulikkaletkujen ja sähköputkien ympärille
- lisättiin suojalaseja

### 6.2.4 Laitteiston ominaisuudet

Karsija kuorijalaitteisto koostuu kolmesta toimintamodulista: syöttöpöydästä, karsijakuorijasta ja vastaanottotaskusta. Laitteistossa on kaksi kuorintarumpua, joita voidaan liikuttaa hydraulisynterillä ylös ja alas. Kuorintarumpujen pyörintänopeutta voidaan säätää invertterillä 0 - 1 400 r/min. Lisäksi piiskauskulma on muunnettavissa normaalista puuhun nähden 90 asteen kulmasta  $\pm 45$  astetta. Puun maksimisyöttönopeus on 40 m/min. Karsijakuorijan alapuolella on karsinta- ja kuorintajätteen keräyskaukalot. Lisäksi laitteistoon kuuluu valvomokeskus, josta käsin laitetta ohjataan ja jossa ovat mittaustietoja keräävät tietokoneet. Tiedonkeruujärjestelmällä voidaan mitata puun syöttönopeus (syöttörumpujen ja syöttöpöydän syöttöketjun pyörimisnopeus), ketjurumpujen pyörimisnopeus ja korkeusasema sekä rumpujen vaatimat sähkötehot. Mitattavista kohteista saadaan myös näyttöön erilaisilla aika-akseleilla ajettavan kokeen mittaustulosten käyrät. Laitteiston mitat ovat: pituus 23,4 m, korkeus 5,2 m ja leveys 3,3 m lisättynä 3 m leveällä valvomolla. Syöttökuljettimen leveys on 1,2 metriä ja syöttöaukon korkeus 0,7 metriä. Laitteiston kokonaispaino on noin 30 tonnia.

**Kuva 40.** Kuva toteutetusta tutkimuslaitteistosta. Valokuvat VTT Energia

**Kuva 41.** Kuva tutkimuslaitteiston sisäosasta

## **6.3 Mittauksien suorittaminen**

### **6.3.1 Karsijakuorijakokeet**

Karsijakuorijakokeissa, joita tehtiin yli kolmesataa, käytettiin useita eri ketjutyyppisiä. Alussa kokeet olivat laitteiston testausta ja laitteen käytön harjoittelua. Osassa kokeista puu ajettiin laitteiston läpi kerran, osassa useamman kerran. Tämä johtui laitteiston rajoitetusta koosta (yksi karsijakuorijapari).

Ketjun pituutta ja paksuutta muuttamalla sekä erilaisten ketjujen asentoja ketjurummussa vaihtamalla pyritään selvittämään paras oksien karsinta- ja kuoren irrotusteho sekä pienin puuhävikki, joka syntyy puun pinnan rikkoutuessa tikkuseksi ja irtopaloiksi.

Koeparametreina ovat eri puulajit, yksittäiset puut tai puuniput, syöttönopeus, karsijan kierrosnopeus, ketjujen asetukset ja tyypit sekä karsijan asetukset puuhun nähden (ketjun lyöntikorkeus ja karsijan kulma puun runkoon nähden).

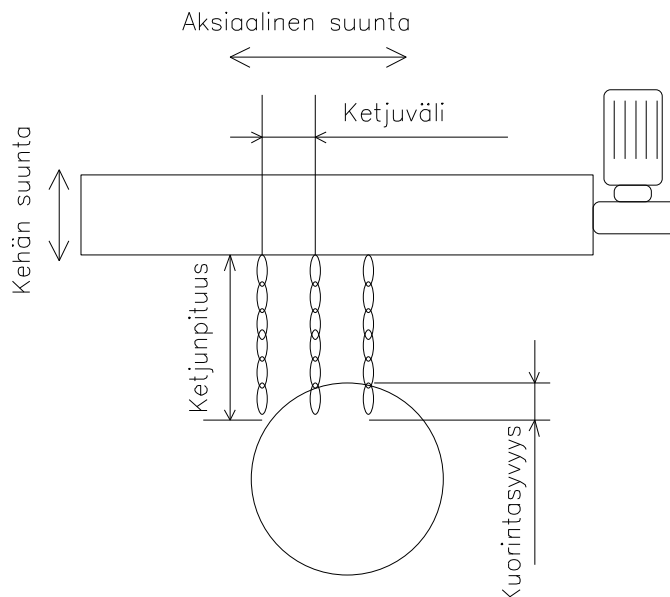
Koesarjoissa käytetty puu oli mänty, mutta koneen testiajoissa käytettiin myös kuusta ja koivua - sekä ensiharvennuskokoisia että järeämpiä puita.

Laitteessa voi ajaa ensiharvennuskokoisia yksittäisiä puita tai puunipuja jopa 8 puun nipuissa. Nipuissa ajettaessa puut usein ”karkaavat” nipuista ketjujen vauhdittamina kuorintaosan läpi. Tällöin puu kuoriutuu huonosti. Ilmiö johtuu siitä, että laitteen syöttörullat eivät nipussa pidä kaikkia puita kiinni. Ilmiön välttämiseksi laitetta on kehitettävä.

Kokeissa käytetyt puun syöttönopeudet olivat 10, 20, 30 ja 40 m/min. Ketju/harjarullien pyörimisnopeudet olivat 250 - 600 rpm ja harjan 600 - 1200 rpm.

Ensimmäiset koeajot tehtiin Ofa Oy:n 16 mm:n standardikarsijaketjuilla, jolloin ketjut olivat 6-, 7- tai 8-lenkkisiä ja vastaavat ketjunpituudet olivat 28, 33 ja 38 cm. Myöhemmin käytettiin 11 mm:n ketjuja sekä alaketjukarsijassa pintakarkaistuja 5:n ja 3 mm:n jousiteräksestä valmistettuja harjoja.

Kokeissa käytettiin erilaisia ketjuasetelmia hyvän kuorintatuloksen saavuttamiseksi. Kokeissa vaihdettiin kuorinta/karsintasyyvyyttä, ketjun pituuksia ja paksuuksia, ketjujen asemaa toisiinsa nähden aksiaalisessa pituussuunnassa ja kehäsuunnassa. Tällöin haettiin esimerkiksi ketjujen spiraalimaisen asetuksen vaikutusta kuorintaan.



**Kuva 42.** Ketjun mitta-asetelmat



### 6.3.2 Näytteenottomenetelmä

Kuoripitoisuus runkopuussa vaihtelee kasvupaikasta, puun koosta ja puulajista riippuen 9:stä 15:een prosenttiin (Paperi ja Puu Vol 77, No 8, s. 14). Kuoripitoisuuden sallittu raja sellupuuna on yksi prosentti. Tämän rajan ylittävistä hakkeista maksetaan sellutehtaalla huomattavasti vähemmän.

Kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen perusteella havaittiin, ettei kuoripitoisuuden mittaukseen katkaistun kuitupuun tai sahapuun rungosta ole standardisoitua menetelmää. Siksi kehitettiin seuraavallinen menetelmä kuoripitoisuuden mittaukseen:

Puusta sahataan metrin välein noin 30 mm:n paksuinen kiekko, josta puukon avulla irrotetaan kuori, jota kuivataan kuivauskaapissa 24 tuntia 106 °C:ssa. Sama tehdään pilkotulle puuainekselle standardin DIN 51718 mukaisesti. Kokonais- ja kuorenpainosta lasketaan kuoripitoisuus.

Menetelmän tarkkuutta arvioitiin kuorimalla kokonainen näytteenotossa jäänyt metrin mittainen puu ja vertaamalla sitä kiekon antamaan kuoripitoisuuteen. Kolmessa mittauksessa 3 - 4 prosentin kuoripitoisuudella ero oli suurimmillaan 0,5 prosenttiyksikköä eli virhe oli noin 15 %. Virhe saattaa johtua siitä, että metrin pituisen halon puun kosteutta ei mitattu, vaan käytettiin kuivumaan ehtineen pölkyn painoa ja se ” laskettiin takaisin” kiekon kosteuden avulla.

Puuhävikkiä ja kuoripitoisuutta pyrittiin mittaamaan puun tilavuuden avulla (Messer), mutta mittarin tarkkuus ja puun erilaiset soikeudet tekevät mittauksen mahdottomaksi.

Tulevaisuudessa joudutaan kehittämään luokitusjärjestelmä, jolla voidaan kuvata kuorintaelementtien vaikutusta puuhävikkiin - ei ainoastaan siihen, kuinka paljon puuainesta irtoaa kuorinnan yhteydessä, vaan myös siihen, kuinka paljon puuta murskautuu iskun vaikutuksesta ja miten tämä murskautuminen vaikuttaa haketuksen kautta lopputulokseen.

### 6.3.3 Koemateriaalit

Koepuina käytetyt kokopuumännyt (karsimattomia, katkaisemattomia) oli hakattu Jyväskylän lähellä olevilta ensiharvennuskohteilta. Mäntykuvioiden maapohja oli MT-metsätyyppejä, jonka vuoksi puut olivat kasvaneet keskimääräistä oksaisemmiksi. Hakatun puuston keskiläpimitta rinnankorkeudelta oli 13 cm ja keskipituus 11,1 m. Hakkuupoistuma oli 32 m<sup>3</sup>/ha. Puut hakattiin 26.9. - 5.10.1995.

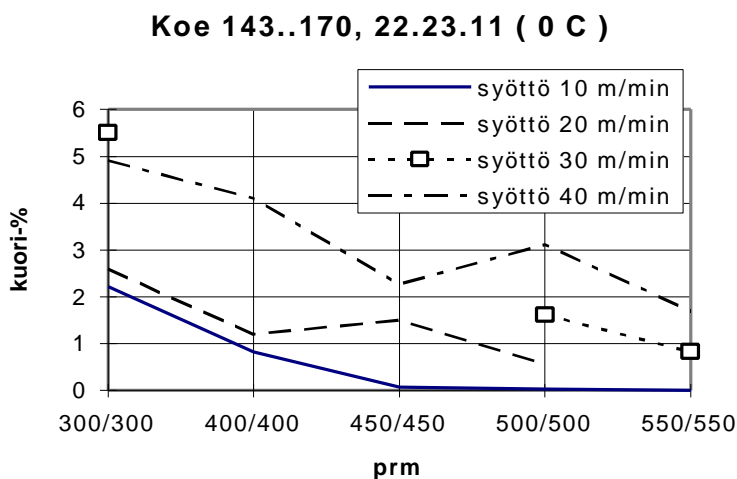




## 6.4 Koetulokset

### 6.4.1 Sulan puun kokeet

Sulan puun karsinta/kuorintakokeet tehtiin 16 mm:n standardiketjuilla ketjuasetelmalla 2. Koeajot sulalla puulla jäivät suhteellisen pieniksi, koska talvi jäädytti puut lähes kokeiden alkuvaiheessa. Hitaalla puun syöttönopeudella (10 m/min) päästiin jo pienilläkin pyörimisnopeuksilla (400 r/min) alle 1 % kuoripitoisuuteen, ja tällöin ketjut eivät rikkoneet puuta. Syöttönopeutta nostettaessa 30 m/min päästiin suuremmilla ketjurumpujen pyörimisnopeuksilla vaaditun alle 1 % kuoripitoisuuteen, mutta tällöin puu rikkoutui enemmän. Syöttönopeudella 40 m/min ei saavutettu tavoitekuoripitoisuutta (kuva 43). Sulalla puulla ei tehty alkuvaiheessa kuorintakokeita ohuimmilla ketjuilla. Nämä kokeet tehdään vuoden 1996 aikana.



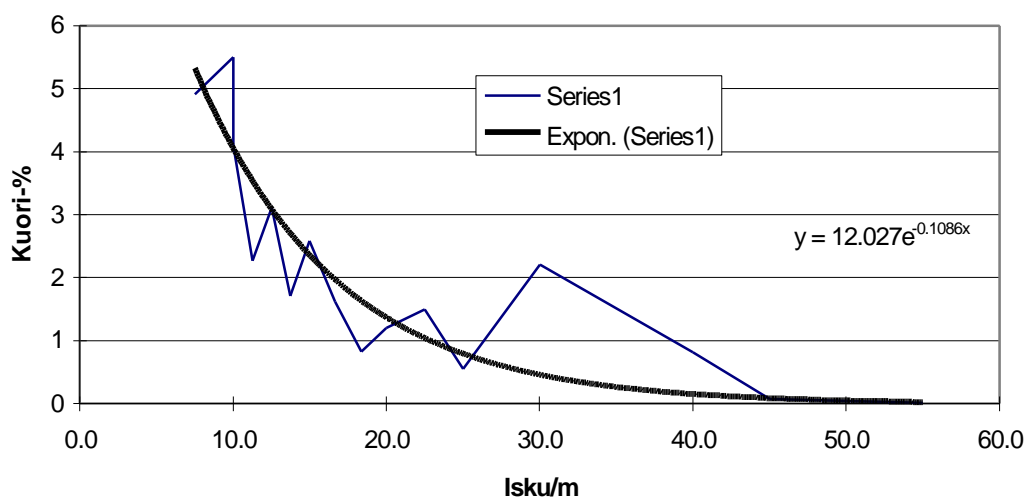
**Kuva 43.** Sulan ensiharvennuskoneiden kokeet

Näiden kokeilujen jälkeen arvioitiin kuoren irrotusilmiötä kuvaamaan parhaiten käyrät, joissa on laskettu kuoripitoisuus ketjunlyöntitiheyden funktiona. Saatuun käyrään sovitettiin Excel-tilukkolaskentaohjelman valmiita käyräsovitteita: lineaarinen, polynominen ja eksponentiaalinen. Viimeksi mainittu teoreettisesti arvioiden on lähinnä oikeaa, koska se lähenee asymptoottisesti nollaa, kuten kuorinnassa käytännössäkin käy.

Koeajoista tehdyn Excel-tilukkolaskennan eksponentiaalisen käyräsovitteen mukaan yhden prosentin raja saavutetaan iskumäärällä 22 iskua/metri (kuva 44). Iskumäärä sadaan jakamalla kierrosluku minuutissa syöttönopeudella (metriä minuutissa). Karsinta-kuorintatapahtuman videonauhan hidastus osoittaa ketjun lyövän

kierroksen aikana vain kerran karsittavaa runkoa, eikä ketjulla näytä olevan mitään kalvavaa vaikutusta, joka syntyi ketjun liukuessa puun pintaa pitkin.

## Koe 143...170, 22..23.11.95



**Kuva 44.** Sulan ensiharvennumännyn kokeet, iskua/metri

### 6.4.2 Jäätäneen puun kokeet

Jäätynyt puu kuoriutuu huomattavasti sulaa huonommin. Kuorimoissa jäätäneen puun viipymää kuorimarummussa on pidennettävä tai puun pinta on sulatettava höyryllä tai lämpimällä vedellä. Myös roottori-kuorinnassa jäätynyt puu kuoriutuu huonommin.

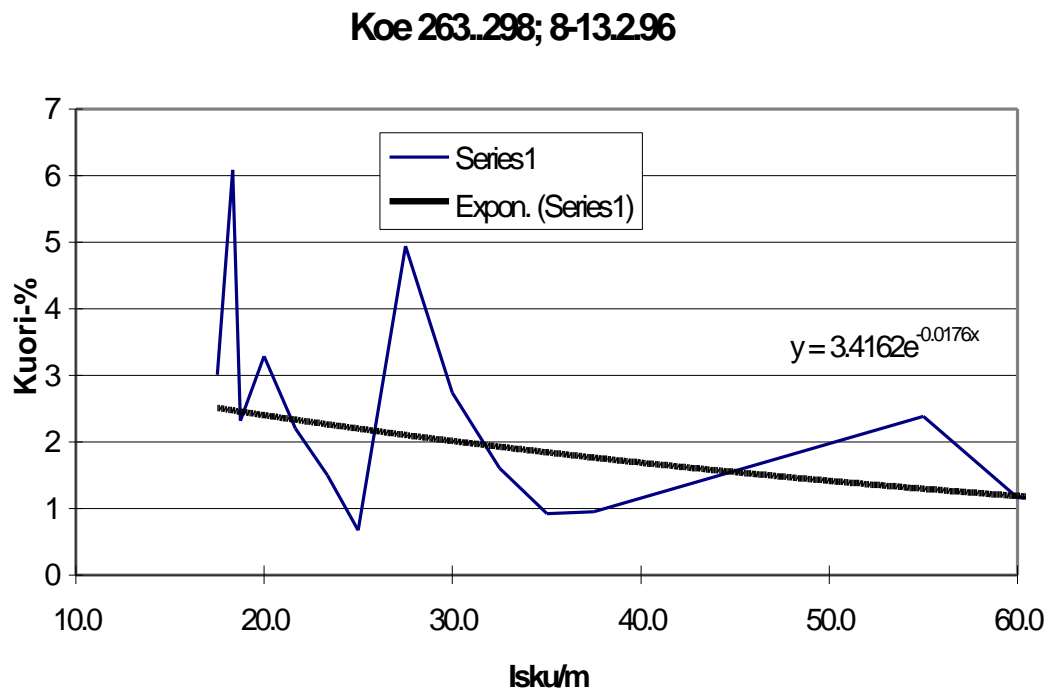
Pitkäaikainen puun varastointi yli 20 asteen pakkasessa jäädytti puut kokonaan. Tällaista puuta kuorittaessa ei puulla ja kuorella ole selvää rajapintaa, vaan ketjut hakkaavat puun pinnasta yhtenäisiä paloja kuorta tai kuorellista puuta. Oksallisen puun säilyttäminen kasoissa piti kuitenkin kasan sisälläolevia puita sulina.

Koeajoissa havaittiin kuorintaan vaikuttavan lämpötilan olevan  $-5^{\circ}\text{C}$ :n ja  $-15^{\circ}\text{C}$ :n vaiheilla. Tällaisenkin jäätäneen puun pinnan kevätaurinko sulatti nopeasti kesäkuorintaan verrattavissa olevaan tilaan.

Kokeet 263 - 298 tehtiin jäätäneellä männällä ketjuasetelmalla 8: ylhäällä 16 mm:n ketjut ja alhaalla reunoilla 7-lenkkiset 16 mm:n ketjut ja keskellä 11 mm:n kaksoisketjut. Kokeiden aikana lämpötila vaihteli  $-28^{\circ}\text{C}$ :n ja  $-16^{\circ}\text{C}$ :een välillä.

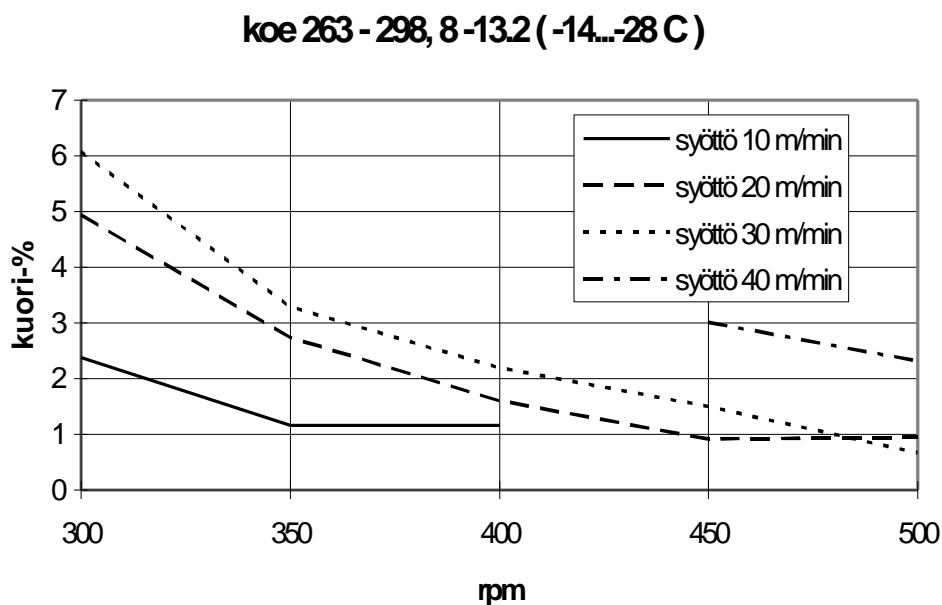
Koska koeajoissa haluttiin selvittää lähinnä ohuempien ketjujen toimintaa, koeajot tehtiin seuraavasti: Ensimmäisessä ajossa ylärulla pyöri 250 rpm ja alarulla koeajonopeudella. Tämän jälkeen puu ajettiin takaisin syöttöpisteeseen ja käännettiin 180 astetta eli yläpuoli alaspäin ja ajettiin uudelleen samoin kierrosnopeuksin. Kyseinen ajojärjestely jouduttiin tekemään ketjujen pienen kappalemäärän takia sekä yläketjun pyöritys puun tukemiseksi.

Tulosten perusteella saadut käyrät lähenevät vaadittua yhden prosentin kuoripitoisuutta, mutta eivät saavuta sitä kuvan mukaisilla ketjukierrosluvuilla (kuva 45). Yksittäisissä kokeissa voidaan raja-arvo saavuttaa. Koeajotulosten käyrästä ovat kuoripitoisuushuiput ovat ketjurumpujen pienillä kierrosluvuilla ajetuista kokeista. Tuloksesta voidaan arvioida, että kuoripitoisuusrajan saavuttamiseksi jäätyneellä puulla määrätyn iskumäärän lisäksi vaaditaan ketjulta määrätty teho (= kierrosluku ja massa). Tulokset näyttävät vaaditun kierrosluvun näillä ketjuilla olevan enemmän kuin 450 rpm. Asian varmistamiseksi täytyy tehdä lisää koeajoja 450, 500, 550 ja 600 rpm:llä ja eri syöttönopeuksilla.



**Kuva 45.** Mittaustulokset 263 - 298 ja niiden exponentiaalinen käyräsovitte

Näissä pakkaskokeissa alle prosentin kuoripitoisuus saavutettiin vain 450:n tai 500 rpm:n nopeuksilla (kuva 46).

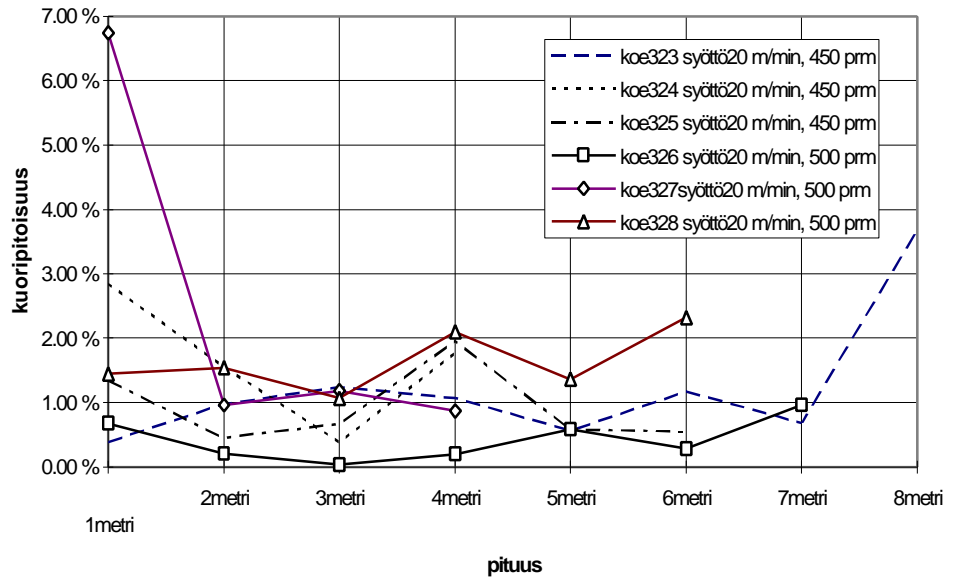


**Kuva 46.** Ensiharvennumännyn pakkaskokeita

#### 6.4.3 Puun eri osien kuoriutuminen

Useita peräkkäisiä kokeita samoilla ajoparametreilla tekemällä selvitettiin koeajotulosten luotettavuutta ja laitteiston tehoa puun eri kohdissa. Kokeet ajettiin samalla ketjuasetelmalla ja samalla koejärjestekyllä kuin kohdassa 6.2 mainittiin. Puun keskellä hajonta on suurimmillaan lähes kaksi prosenttiyksikköä, mikä johtune osittain koeajojen aikana olleesta -23 asteen pakkasesta. Tuloksista, vertailuajot 323 - 328 (kuva 47), kuitenkin näkyy puun alku- ja loppupään suurempi kuoripitoisuuden hajonta. Tämä johtune laitteiston tutkimuskäytön edellyttämästä rakenteesta (näkyvyys), jossa syöttö- ja vastaanottorullastojen väli on pitkä. Tämä aiheuttaa sen, että puuta karsitaan/kuoritaan puun alku- ja loppupäässä vain yhden rullaston kiinnipitäjänä ja kuorinta on vähemmän hallittua.

Vertailuajot 323..328, 4.3.96 (- 5)



**Kuva 47.** Vertailuajojen hajonta ja puun päiden karsinnan kuorinnan huono hallinta

Tulosten luotettavuuden selvittämiseksi tarvitaan lisää rinnakkaisajoja pakkasettomana aikana suurella syöttönopeudella ja eri rullaston nopeuksilla. Karsinnan/kuorinnan hallinta puun alku- ja loppupäässä vaatii puun kiinnityksen osalta kehitystyötä.

#### 6.4.4 Jäävän puun rikkoutuminen

Kuorinnan tavoitteena on päästä riittävän pieneen kuoripitoisuuteen (alle

1 %) mahdollisimman pienellä puuhäviöllä. Kun pyritään saavuttamaan pieni kuoripitoisuus yhdellä ketjuparilla käyttäen paksuja ketjuja, joudutaan useasti pitämään myöskin ketjujen pyörimisnopeus suhteellisen korkealla, jotta ketjut iskisivät riittävän tiheästi puuhun. Tällöin ketjun iskemä kuitenkin rikkoo voimakkaasti puuta aiheuttaen suoranaisten puuhäviöiden lisäksi tikkuisuutta ja murskautumista jäävässä puussa.

**Kuva 48.** Eri ketjujen pyörimisnopeuksilla suoritettuja koeajoja. Kokeessa 148 ketjurummun pyörimisnopeus on 300 r/min ja kokeessa 155 pyörimisnopeus 500 r/min

Kuvassa 48 on esitetty eri koeajoja, joissa syöttönopeus oli vakio, mutta ketjurummun pyörimisnopeus vaihteli 300 rpm:stä 500 rpm:ään. Pienemmällä kierrosnopeudella ketju ei rikkonut puuta, mutta kuoripitoisuus jäi suureksi. Suuremmalla pyörintänopeudella kuoripitoisuus pieneni, mutta puu rikkoutui ja sen pintaan muodostui tikkuja.

#### **6.4.5 Ketju- ja harjakokeiden eroista**

Harjojen käyttö säästää puuta eikä riko itse puuta suurilla kierroksilla samalla tavalla kuin ketjut. Tosin pelkät harjat eivät saa varsinkaan jäätyneestä puusta riittävän hyvin kuorta irti, vaan puut täytyy esikäsitellä esimerkiksi ketjuilla ja suorittaa vasta loppupuhdistus harjoilla. Kuvassa 49 on esimerkki koeajosta, jossa jäätynyt ensiharvennusmäntä on ensin karsittu ja esikuorittu hitaalla pyörintänopeudella (300 r/min). Tämän jälkeen toinen puoli on harjattu harjarummulla (1 000 r/min), jolloin on säästyty suurilta puuhäviöiltä. Toinen puoli on kuorittu ketjurummulla

(550 r/min), jolloin kuori on myöskin lähtenyt, mutta ketjut ovat kalvanneet puuta melko paljon.

**Kuva 49.** Ketju- ja harjakuorinnan vaikutus puun rikkoutumiseen

#### 6.4.6 Yhteenveto koeajoista

Talven 1995/1996 koeajojen perusteella on yhden prosentin kuoripitoisuus saavutettavissa jäätyneen ensiharvennumäntyjen kuorinnassa. Erilaisten ketjukokojen ja asetusten vaikutuksen tarkempi arviointi kuoripitoisuuteen ja puuhävikkiin vaatii kuitenkin lisäkokeita. Samoin muille puulajeille sekä järeämmälle puulle että puunipuille on tehtävä omat koeajosarjat.

Kokeet osoittivat puun kuoriutuvan keskiosaltaan tavoitteiden mukaisesti ja karsinta-kuorinta on tällä puun osalla hallittua. Koelaitetta kehittämällä on puun kuorinta koelaitteella saatava hallituksi myös kuorinnan alussa ja lopussa. Laitteistoa on kehitettävä myös hallittuun nippukuorintaan sopivaksi; nykyisissä teollisuusovitteissa (Hooli, Szepaniak) nippukuorinnassa puita karkaa välillä hallitsemattomaan kuorintaan.



Kuorinnassa ketju lyö kuoren lisäksi puunrungosta irti puuainesta, aiheuttaen puuhävikkiä. Silmämääräisesti arvioiden paksun ketjun kokeissa puuhävikki on suurempi kuin pienillä ketjuilla. Lisää kokeita tarvitaan, jotta pystytään arvioimaan ketjujen sopivuutta puulajien ja puun koon muuttuessa. Puuhävikin mittaamiseksi mittausmenetelmiä täytyy kehittää, koska nykyiset menetelmät ovat osoittautuneet puutteellisiksi. Menetelmiä kehitettäessä ne testataan tulevaisuudessa koeajosarjoissa ja arvioidaan niiden luotettavuus ja käyttökelpoisuus puuhävikin määrittämiseksi karsinta-kuorintayksikössä.

Ketjukuorinnassa on myös erityisen tärkeää löytää kuoripitoisuuden ja puuhäviöiden oikea suhde. Tämän vuoksi vuoden 1996 projektin yhteydessä toteutetaan puun rikkoutumattomuuden luokitus. Tällöin selvitetään myös iskujen vaikutus haketuksen kautta hakkeen laatuun ja erityisesti hienoaineeseen. Luokitusmenetelmät testataan ja niiden luotettavuus sekä käyttökelpoisuus arvioidaan tulevaisuudessa koesarjoissa.

Sulalla puulla suoritettujen kokeiden mukaisesti hitaalla puun syöttönopeudella (10 m/min) jo pienilläkin pyörimisnopeuksilla (400 r/min) päästiin alle 1 %:n kuoripitoisuuteen, ja tällöin ketjut eivät rikkoneet puuta. Nostettaessa syöttönopeus 30 m:iin minuutissa päästiin myöskin suuremmilla ketjurumpujen pyörimisnopeuksilla alle vaaditun 1 %:n kuoripitoisuuden, mutta tällöin kasvoi puun rikkoutuminen.

Jäätäneellä puulla alle yhden prosentin kuoripitoisuus saavutettiin vain pyörintänopeuksilla 450 ja 500 rpm. Oikean pyörintänopeuden varmentamiseksi tehdään lisää koeajoja suuremmilla pyörimisnopeuksilla ja eri syöttönopeuksilla.

Puuhävikin ja kuoripitoisuuden mittaamiseksi on kehitettävä nopea, helppo ja yksiselitteinen mittausmenetelmä, jolla arvot voidaan mitata suoraan kuoritusta puunrungosta. Mittausmenetelmät, jotka perustuvat optiikkaan mitaten tummuutta ja puun muotoa on kehitettävissä sopivaksi on-line-sovellukseksi. Esimerkkeinä voidaan mainita: Suuronen J., Puun pintapuhtauden mittausmenetelmän kehittäminen P-S ammattikorkeakoulu. 1996, Vision System Ltd. ja Enson Kaukopään puuauton kuormanmittausmenetelmät ja Finn Scan puun sahausoptimoinnit ja lajittelut.

## 7 JATKOTOIMENPITEET

Peterson Pacificin osalta varsinainen tutkimustyö päättyi tähän projektiin. Tutkittuun Pertti Szepaniak Oy:n koneeseen on asennettu alkuvuodesta 1996 kolmas ketjukarsinta-kuorintatela, joka parantaa laitteistolla saavutettavaa kuorintatulosta vaikeimmissa olosuhteissa eli puun ollessa jäässä. Toistaiseksi laitteisto on ainoa maassamme.

Peterson Pacificin ketjukarsinta-kuorintalaite on kehittynyt huomattavasti vuoden 1991 mallista, joka oli tämän tutkimuksen kohteena. Koneen pidennetty, jotta siihen on rakenteellisesti edullista lisätä kolmas karsija-kuorijatela. Kolmas tela on yläpuolinen, ja se pyörii vastakkaiseen suuntaan kuin kaksi ensimmäistä telaa. Tämä ja laitteen suurempi pituus vähentävät myös karsittavien puiden päällä hakkuriin kulkeutuvien oksan- ja kuorenpalasten määrää. Laitteeseen on lisätty myös syöttönopeuden ja telojen pyörimisnopeuden säätöjä. Tämä mahdollistaa yksilöllisemmän, olosuhteiden mukaisen puiden karsinta-kuorintakäsittelyn.

Peterson Pacific -ketjukarsinta-kuorinta-haketuslaitteeseen liittyvä tutkimus- ja kehitystyö avasi ketjukarsinta-kuorintaan liittyvän tutkimuksen maassamme. Jatkoprojekteja on jo syntynyt. Nämä aikanaan näyttävät, löytyykö menetelmästä ”viisasten kivi” pienpuun käsittelyyn laajemmassa mitassa. Pohjois-Amerikassa, jossa ketjukarsinta-kuorintamenetelmä on kehitetty, menetelmä on kaupallisessa käytössä.

Yhdistetyn ketjukarsinta- ja rumpukuorintalaitteiston osalta tutkimuksia jatketaan Bioenergian tutkimusohjelman jatkoprojektissa vuosina 1996 - 97. Jatkoprojektin tavoitteena on kehittää ja hienosäätää yhdistelmää siten, että menetelmä soveltuu sekä männyn, koivun että kuusen karsitulle ja karsimattomalle ensiharvennuspuulle tuottaen kuoripitoisuudeltaan ja palakokojakaumaltaan laadun täyttävää selluhaketta kilpailukykyiseen hintaan. Menetelmäkehityksessä tähdätään lisäksi mahdollisimman suureen energiapuukertymään.

Myös ketjukarsinta-kuorintasimulaattoriin liittyvää tutkimusta jatketaan omassa Bioenergian tutkimusohjelman projektissa vuosina 1996 - 97. Tutkimuksen jatkotavoitteena on päästä mahdollisimman pienellä puuhäviöllä (saanto ensiharvennusmännillä yli 65 % ja koivulla yli 75 %) alle 1 %:n kuoripitoisuuteen. Asetettuun tavoitteeseen pyritään männyllä, kuusella ja koivulla sekä kesä- että talviolosuhteissa.

Projektin kokonaistavoitteena on tuotteistaa tutkimuksissa saadut tulokset siten, että olemassaoleviin karsijoihin voitaisiin siirtää vuosina 1996 ja 1997 tutkimuksissa saatu tieto ja vuonna 1998 olisi valmiina

uuden sukupolven karsijakuorijaprototyyppi suomalaisten koneyrittäjien ja metsäteollisuuden käytössä.

Vuoden 1996 tavoitteena on kehittää ketjujen ja erityisesti harjojen parempia muotoja ja materiaalien laatuja sekä puiden hallittua syöttöä. Kokeissa keskitytään erityisesti koivun ja kuusen kuorintaan. Tavoitteena on päästä myös jäätyneellä puulla selluteollisuuden hyväksymään kuoripitoisuuden mahdollisimman vähällä puuhäviöllä.

Vuoden 1996 aikana keskitytään tekemään karsinta- ja kuorintakokeita erimuotoisilla ketju- ja harjapakoilla sekä koivulla että kuusella. Kuorintatutkimus keskittyy pääsääntöisesti harjakonstruktion kehittämiseen ja tutkimiseen.

Vuoden 1996 aikana puuntutkimuslaitteistoon rakennetaan *Jyväskylän Seudun osaamiskeskusohjelman* puitteissa lisämoduuli, jolla kyetään tutkimaan ketju- ja harjapakkojen kuorintavaikutusta myös pysty- ja pituussuunnassa. Vuoden 1997 aikana jatketaan ketju- ja harjapakkojen tutkimista pakkojen ollessa pystyssä ja/tai pituussuunnassa (Jyväskylän Seudun osaamiskeskusohjelman yhteydessä vuoden 1996 loppuun mennessä valmistuva lisälaitte). Tällöin sovelletaan myös tutkimuksissa saatuja tietoja edelleen toisen sukupolven prototyyppiin, jolla suoritetaan koeajoja. Perustavoitteena on selvittää systemaattisen tutkimussarjan perusteella karsinnan ja kuorinnan tekniset kehittämistarpeet, kehittämismahdollisuudet ja laitteistoratkaisut.

## 8 JULKAISUT JA RAPORTIT

- HAKKILA, P., KALAJA, H. & SARANPÄÄ, P. Etelä-Suomen ensiharvennumänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s. + 6 liitesivua. 1995
- PULKKINEN, P. & ASIKAINEN, A. Puupolttoaineen murskaaminen Morbark 1200 -murskaimella. Folia Forestalia 1996(1).
- RIEPPO, K. Pienpuu hyötykäyttöön piiskausmenetelmällä. Koneyrittäjä 1995:1. 14-15.
- RIEPPO, K. Ketjukarsinta-kuorintatekniikalla joustavuutta puunkäsittelyyn. Tekniikan Näköalat 1995:2. s. 19.
- RIEPPO, K., POIKELA, A., HAKKILA, P. & AHO, V-J. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 6. Vuosikirja 1994. Osa I: Puupolttoaineiden tuotanto. VTT Energia. 189-205.
- RIEPPO, K., POIKELA, A., HAKKILA, P. & AHO, V-J. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Väkiraportti 1994. Moniste. Helsinki 3.3.1995. 29 s.
- RIEPPO, K. Aines- ja energiapuun tuotanto ketjukarsinta-kuorintahaketusyksiköllä. Moniste. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia, Jyväskylä 1995. 4 s.
- RIEPPO, K. Production of merchantable wood with a chain delimeter-debarker-chipper. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia, Jyväskylä 1995. 4 s.
- RIEPPO, K. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Julkaisussa: Nurmi, J. & Heino, E. (toim.): Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570. Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, Kannus 1995. 17-24.
- RIEPPO, K., HAKKILA, P. & AHO, V-J. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 11. Vuosikirja 1995. Osa I: Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. VTT Energia. Jyväskylä 1996. 145-161.

ALAKANGAS, E. & RIEPPO, K. Tree-processing Using a Chain System in Finland. CADDET Renewable Energy Newsletter 2/1996. 14 - 15.