

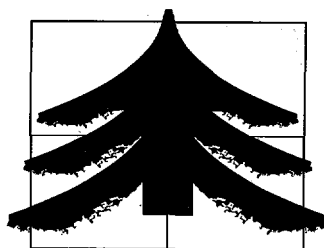
BIOENERGIA  
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 14

# Vuosikirja 1996

Osa I

Puupolttoaineiden tuotantotekniikka



## BIOENERGIA

### MASTER

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED  
FOREIGN SALES PROHIBITED

Jyväskylän Teknologiakeskus Oy  
Jyväskylä 1997

BIOENERGIA  
Bioenergian tutkimusohjelma

---

JULKAISUJA 14

# Vuosikirja 1996

## Osa I Puupolttoaineiden tuotantotekniikka

Pirjo Nikku (toim.)

Jyväskylän Teknologiakeskus Oy

---

Jyväskylä 1997

TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISKESKUS  
ENERGIATEKNOLOGIAN TUTKIMUSOHJELMA 1993 - 1998

---

BIOENERGIA  
Bioenergian tutkimusohjelma  
Koordinointi:  
Jyväskylän Teknologiakeskus Oy

Ylistönmäentie 31, 40500 JYVÄSKYLÄ  
Puh. (014)4451 100, fax (014)4451 120  
Sähköposti: [bioenergia@jsp.fi](mailto:bioenergia@jsp.fi)

Tutkimusohjelman johtaja Dan Asplund

ISSN 1236-4738  
ISBN 952-5165-02-7

## **DISCLAIMER**

**Portions of this document may be illegible  
electronic image products. Images are  
produced from the best available original  
document.**

## ESIPUHE

Tekesin rahoitusvaltuudet vuodelle 1997 ovat 1530 milj. markkaa. Tämä on enemmän kuin koskaan aiemmin. Lisäksi talouspoliittinen ministerivaliokunta teki syyskuussa 1996 päätöksen nostaa julkisen sektorin investointeja tutkimukseen ja teknologian kehittämiseen seuraavan kolmen vuoden aikana siten, että tutkimusrahoituksen osuus nousee 2,5 %:ista 2,9:iin bruttokansantuotteesta. Tämä merkitsee valtion kannalta 1,5 miljardin markan tasokorotusta vuoden 1997 talousarvioon, kun oletetaan julkisen ja yksityisen sektorin panostusosuuksisen pysyvän entisellään, 40 % / 60 %.

Tekesille, Suomen merkittävimmälle teknologiapoliitiikan toteuttajalle tämä tuo kasvavia haasteita. Vuoden vaihteessa tapahtuneella organisaatiomuutoksella Tekes pyrki vastaamaan haasteisiin. Omaan asiantuntemusta vahvistetaan tiivistämällä teknologia-alojen välistä vuorovaikutusta. Tekesissä on nyt kolme teknologialinjaa kuuden sijasta: informaatioteknologian linja, kemian- ja bioteknologian linja ja tuotanto- ja energiateknologian linja. Lisäksi energiaan sekä ympäristöteknologiaan ja tietotekniikkaan liittyvät kokonaisuudet suunnitellaan, organisoidaan ja seurataan keskitetysti yli linjarajojen.

Meneillään oleviin energiateknologian tutkimusohjelmiin ei nykyinen Tekesin kasvava rahoitustilanne vaikuta juuri lainkaan, vaan tutkimuspäätökset ovat viime vuoden tasoa. Tosin yrityshankepuolella rahoitusmahdollisuudet ovat viime vuotista oleellisesti paremmat. Bioenergian tutkimusohjelmanpaketti kasvanee kuitenkin tehdystä 5 miljoonan markan Tekes-päätöksestä vähintäänkin vuoden 1995 8 miljoonan markan tasoon, kun erillispäätökset EU:n ohjelmiin kuuluvista ja EU:n rakennerahaston liittämisprojekteista on tehty.

Uudet energiaveroratkaisut ja meneillään oleva energiastrategian valmistelutyö koskettavat monella tavalla bioenergiaa ja sen tulevaisuutta jatkossa. Vaikka näkymät Suomessa eivät vaikuta aina rohkaisevilta, voimme kuitenkin jatkaa luotavaisesti tutkimus- ja kehitystyötä bioenergian tutkimusohjelman tavoitteiden mukaisesti. Teknologian kehittämisellä uskon edelleenkin löytyvän parhaat ratkaisut bioenergian menestymiseen niin kotimaassa kuin viennissäkin.

Tavoitteita ei siis ole syytä muuttaa, vaan niitä kohti on työskenneltävä entistä kiivaammin, jotta tuloksia syntyisi nopeasti. Tämä vaatii meiltä kaikilta keskitymistä oleelliseen ja yhteistyötä. Näihin löydämme toivottavasti työkaluja näiden seminaaripäivien aikana.

Tarja-Liisa Perttala  
Tekes



# VUOSIKIRJAN 1996 SISÄLLYSLUETTELO

## PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka - Osa 1

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Esipuhe<br><i>Tarja-Liisa Perttala, TEKES</i>                                                                                                                         | 3  |
| Bioenergian tutkimusohjelman sisältö, keskeiset tulokset<br>vuonna 1996 ja näkymät vuodelle 1997<br><i>Dan Asplund ja Pirjo Nikku, Jyväskylän Teknologiakeskus Oy</i> | 9  |
| Puupolttoaineiden tuotantotekniikka - tutkimusalueen katsaus<br><i>Antti Korpilahti, Metsäteho Oy</i>                                                                 | 33 |
| Puupolttoaineen pientuotanto ja -käyttö - katsaus tutkimusprojekteihin<br><i>Seppo Tuomi, Työtehoseura ry</i>                                                         | 39 |

## PUUN PIENTUOTANTO JA JAKELU

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Metsänomistajien energiapuun korjuutekniikat - 130<br><i>Seppo Ryytänen, Markku Ihonen, Työtehoseura ry</i>                                                                   | 51 |
| Pilkkeen mitta- ja laatuvaatimukset - 126<br><i>Seppo Tuomi, Työtehoseura ry</i>                                                                                              | 63 |
| Development of Newly Designed Wood Burning Systems with Low<br>Emissions and High Efficiency - 314<br><i>Heikki Hyytiäinen, Suomalaiset Tulisijat - Finnish Fireplaces ry</i> | 75 |
| Stokeripolton kehittäminen - Y306<br><i>Heikki Oravainen, VTT Energia</i><br><i>Osmo Nojonen, Finntech Oy</i>                                                                 | 81 |
| Metsänomistajien lämpöyrittämisen talous ja kehittäminen - 129<br><i>Seppo Tuomi, Työtehoseura ry</i>                                                                         | 85 |
| Karsimakoneen ja mittausautomaatiikan kehitysprojekti - Y119<br><i>Esko Pöytäsaari, Eskon Paja</i>                                                                            | 95 |

## ENERGIAPUUVARAT

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Energiapuuvarat ja niiden hyödyntäminen - D105<br><i>Ari Keskimölo, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio</i>                                        | 101 |
| Potentiaaliset hakkuumahdollisuudet ja energiapuuvarat<br>Etelä-Suomessa - D110<br><i>Mauno Pesonen &amp; Juha Malinen, Metsäntutkimuslaitos</i>    | 107 |
| Lahopuun määrä, sisältö ja hankintakustannukset - 131<br><i>Markku Mäkelä &amp; Katriina Lipponen, Metsäteho Oy</i>                                 | 115 |
| Fuelwood in Europe for Environment and Development Strategies - 134<br><i>Antero Jahkola, Jerri Laine &amp; Peter Lund, Teknillinen Korkeakoulu</i> | 117 |

## PUUN KORJUU HARVENNUSHAKKUISSA

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Energiapuun korjuu taimikon harvennuksen yhteydessä - 128<br><i>Jarmo Hämäläinen, Risto Lilleberg, Asko Pokela &amp; Kaarlo Rieppo<br/>Metsäteho Oy</i> | 125 |
| Harvennuspuun automaattisen nippukorjausharvesterin<br>kehittäminen - Y113<br><i>Kari Koponen, Eko-Log Oy</i>                                           | 135 |
| Yhdistelmäkoneen kehittäminen pienpuun korjuuseen sekä<br>ensiharvennukseen - Y115<br><i>Pekka Nevalainen, Outokummun Metalli Oy</i>                    | 139 |
| Pystypuuston katkaisuhakettimen proto - Y118<br><i>Pentti Polus, Tmi P. Polus</i>                                                                       | 143 |

## INTEGROIDUT MENETELMÄT HARVENNUSHAKKUISSA

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ensiharvennuspuun hyödyntäminen - 133<br><i>Raimo Alén, Marian Marttina &amp; Jaakko Toivanen, Jyväskylän yliopisto</i> | 149 |
| Kauko-ohjattavan harvennushakkuukoneen kehittäminen - 122<br><i>Juha Kerva, VTT Automaatio</i>                          | 159 |

|                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ketjuharja-menetelmä puun karsinnassa ja kuorinnassa - 120<br><i>Veli-Juhani Aho, Lauri Nikkala &amp; Heikki Laitinen, VTT Energia</i>                                                                             | 163 |
| Ketjukarsinta- ja pienrumpukuorintaan perustuvan laitteiston<br>kehittäminen tuotantovalmiiksi - 119, D102<br><i>Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy</i><br><i>Pentti Hakkila &amp; Hannu Kalaja, Metsäntutkimuslaitos</i> | 177 |
| Teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto - Y106<br><i>Kari Kuvaja, Enso Oy</i>                                                                                                                | 191 |
| Integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa - Y114<br><i>Ari Hooli, Hooli Oy</i><br><i>Tapio Ranta, VTT Energia</i>                                                                                  | 195 |
| Kokopuuhakkeen puhdistusprosessin kilpailukyvyn parantaminen - Y117<br><i>Dan Asplund, Jyväskylän Teknologiakeskus Oy</i><br><i>Veli Seppänen, VTT Energia</i>                                                     | 201 |
| Integroitujen tuotantomenetelmien vertailu - 124<br><i>Antti Korpilahti, Metsäteho Oy</i>                                                                                                                          | 213 |

## INTEGROIDUT MENETELMÄT PÄÄTEHAKKUISSA

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Puupolttoaineen laadunvalvonta - 125<br><i>Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos</i>                                                     | 225 |
| Tiivistämisparametrit ja -tekniikat puupolttoaineiden metsä- ja<br>kaukokuljetuksessa - 127<br><i>Heikki Kaipainen, VTT Energia</i> | 233 |
| Oksien ohjaimella varustettu harvesteri - Y116<br><i>Pekka Laurila, Biowatti Oy</i><br><i>Samuli Rinne, YTY-Konsultointi</i>        | 239 |
| Hakkurin syötön kehittäminen energiapuulle - 123<br><i>Tatu Leinonen &amp; Jukka-Pekka Kemppainen Oulun Yliopisto</i>               | 245 |

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chipset-hakeharvesterin demonstrointi - D109<br><i>Pekka Laurila, Biowatti Oy</i><br><i>Tero Vesisenaho, VTT Energia</i>                                                | 251 |
| Kokopuujuontomenetelmän soveltaminen aines- ja energiapuun<br>hankintaan - 121<br><i>Tero Vesisenaho, VTT Energia</i><br><i>Sauli Liukkonen, VTT Valmistustekniikka</i> | 259 |
| Evolution - energiapuuhakkurin käyttöselvitys - D111<br><i>Pekka Lahti, Kotimaiset Energiat Pekka Lahti Ky</i><br><i>Tero Vesisenaho, VTT Energia</i>                   | 271 |
| Koneellisen puunkorjuun hakkuutähteiden hyödyntäminen<br>biopolttoaineena - Y108<br><i>Jaakko Ebeling, Jaakko Pöyry Consulting Oy</i>                                   | 283 |

## LAATU, TALOUDELLISUUS JA LOGISTIIKKA

|                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Hake-, puu- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus massatehtaan<br>kuitu- ja energiapuun hankinnassa - 110<br><i>Vesa Imponen, Metsäteho Oy</i>                                                                    | 297 |
| Energianpuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto - 117<br><i>Tapio Ranta, VTT Energia</i>                                                                                                               | 311 |
| Esiselvitys energia- ja teollisuuspuun uudentyyppisestä käsittelylaitteistosta<br>ja logistiikasta; raaka-aineena tyvilahokuusi ja sijoituspaikkana Forssan<br>voimalaitos - D112<br><i>Pekka Laurila, Biowatti Oy</i> | 321 |
| Keski-Suomen Metsäenergiaprojekti - D106<br><i>Martti Ahokas, Keski-Suomen Liitto</i><br><i>Pekka-Juhani Kuitto, VTT Energia</i>                                                                                       | 325 |
| Kokopuun käsittely polttoaineeksi ja raaka-aineeksi - 132<br><i>Veli-Juhani Aho, VTT Energia</i>                                                                                                                       | 339 |

# BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMAN SISÄLTÖ, KESKEISET TULOKSET VUONNA 1996 JA NÄKYMÄT VUODELLE 1997

Dan Asplund, Pirjo Nikku  
Bioenergian tutkimusohjelma  
Ylistönmäentie 31  
40500 Jyväskylä

Puh. (014) 4451 112, 4451 102  
Fax (014) 4451 120  
dan.asplund@jisp.fi tai pirjo.nikku@jisp.fi  
www.jisp.fi/bioenergy

## 1 JOHDANTO

Tutkimusohjelman lähtökohtana ovat yleiset perusteet biopolttoaineiden käytön lisäämiseen, raaka-ainevarojen runsaus sekä energian, erityisesti sähkön lisätarve. Ongelmana on kuitenkin lisäkäyttöä mahdollistavien uusien bioenergiälähteiden kilpailukyky.

Yleiset perusteet biopolttoaineiden käytön lisäämiseen ovat:

- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan vähentää energiantuotannon CO<sub>2</sub>-päästöjä.
- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan luoda ensiharvennuspuulle taloudellisesti kannattavaa lisäkäyttöä integroiduilla tuotantomenetelmillä, jotka lisäävät sekä aines- että energiapuun tuotantomahdollisuuksia.
- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan lisätä energiatuotannon omavaraisuutta ja luoda edellytyksiä uudelle yritystoiminnalle etenkin pk-sektorilla sekä paremmalle työllisyydelle.
- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan vahvistaa alan teknologia- ja laitevientiä.

Suomi on asettanut tavoitteet sekä typenoksidi-, rikki- että hiilidioksidipäästöjen vähentämiselle 1990-luvulla. Parhaat tulokset on saavutettu rikkipäästöjen vähentämisessä: 80 % vähentämistavoite vuoteen 1980 verrattuna on lähes

saavutettu. Typenoksidipäästöjen osalta 30 % vähentämistavoite vuoteen 1998 mennessä jäänee saavuttamatta. Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen päästöjen vakauttaminen vuoden 1990 tasolle Rion pöytäkirjan mukaisesti on vaikein tavoite. EU maaliskuun alussa 1997 tehnyt lisäksi päätöksen, jonka mukaan tavoitteena on hiilidioksidipäästöjen alentaminen 10 % vuoteen 2010 mennessä. Maakohtaisten tavoitteiden mukaan Suomen tulisi vuonna 2010 saavuttaa 0-taso vuoteen 1990 verrattuna. Käytännössä se tarkoittaa 8 %:n vähennystä vuoden 1997 tasosta. Keskeinen mahdollisuus Suomessa on biopolttoaineiden käytön lisääminen ja metsien kehittäminen yhä paremmaksi hiilidioksidinieluksi. Biopolttoaineet vaikuttavat hiilidioksidin lisäksi myös rikkipäästöjä vähentävästi.

Suomen bioenergiavarat ovat runsaat. Turpeen vuotuinen käyttö vie ainoastaan pienen osan varoista ja puuston vuosikasvu on suurempi kuin käyttö. Hakkuutähdemäärä teollisuuden ainespuuntuotannon yhteydessä oli 4,3 milj. toe vuonna 1995. Lisäksi arvion mukaan taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuksesta olisi saatavissa vuosittain lähes 0,5 milj. toe vastaava määrä puupolttoainetta. Ensiharvennushakkuista lisätuotantopotentiaali on myös noin 0,5 milj. toe vuodessa. Tärkein tuotantopotentiaali muodostuu kuitenkin päätehakkuiden hakkuutähteistä, joista voitaisiin helposti tuottaa noin 1,0 milj. toe vastaava määrä polttohaketta. Yhteensä puupolttoaineen tuotantopotentiaali on noin 2,0 milj. toe vastaten yli 10 milj. m<sup>3</sup> puubiomassaa vuodessa teknis-taloudelliset ja ympäristönäkökohdat huomioiden.

Valtioneuvosto hyväksyi 7.4.1994 bioenergian edistämishjelman. Tavoitteeksi on asetettu bioenergian käytön lisääminen nykyisestä vähintään neljänneksellä seuraavan 10 vuoden aikana. Tämä merkitsisi 1,5 miljoonaa öljytonnia vastaavan energiamäärän lisäystä vuoteen 2005 mennessä.

Nykyinen valtioneuvosto teki 21.12.1995 periaatepäätöksen energiapolitiikasta. Bioenergian osalta siinä todetaan, että valtioneuvosto jatkaa bioenergian edistämishjelman toteuttamista. Ohjelman pääpaino on puun energiakäytön lisäämisessä. Bioenergian ja muun uusiutuvan energian merkittävää asemaa energiateknologian julkisrahoitteisessa tutkimus- ja kaupallistamistyössä painotetaan. Kotimaisten energialähteiden kilpailukyvyyn edistämiseksi tuetaan uutta teollisuutta luovaa ja vientiä lisäävää tutkimus- ja kehitystoimintaa ja demonstraatiolaitoksia. Energiamarkkinoita vinouttavia investointi- ja verotukia vähennetään ottaen kuitenkin huomioon bioenergian käytölle asetetut erillistavoitteet.

Parhaillaan valmistellaan uutta energiastategiaa eduskunnan käsiteltäväksi. KTM:n jo julkistettujen skenaarioiden mukaan puupolttoaineiden osuus on kasvava tulevana vuosina. Samoin hiilidioksisirajoitukset vaikuttanevat siten, että varsinkin metsäpolttoaineiden merkitys lisääntyy.

Bioenergian käyttö on lisääntymässä myös muissa EU-maissa. EU-12 maissa on voimassa tavoite nostaa uudistuvien energiälähteiden osuus 8 %:iin vuoteen 2005 mennessä. Ajankohtaisen Vihreän kirjan mukaan komissio ehdottaa uusiutuvien energiälähteiden tavoitteeksi 12 % vuonna 2010. Tavoite on kaksinkertainen nykykäyttöön verrattuna. Bioenergia on suurin lähde. Arviot biomassojen tulevista käyttömääristä ovat suuria Suomeen verrattuna, joten kehitettävän tekniikan vientipotentiaali on merkittävä.

## 2 TUTKIMUSOHJELMAN TOIMINTA-AJATUS JA TAVOITTEET

Bioenergian tutkimusohjelman toiminta-ajatuksena on teknisen tutkimus- ja kehitystyön keinoin lisätä taloudellisesti kannattavaa ja ympäristöystävällistä bioenergian käyttöä parantamalla nykyisten puu- ja turvepolttoaineiden kilpailukykyä, kehittämällä uusia kilpailukykyisiä biopolttoaineita sekä bioenergian käyttöön ja jalostukseen liittyvää teknologiaa.

Ohjelman päätavoite on kehittää uusia puupolttoaineiden tuotantomenetelmiä, joilla tuotettu polttoaine on kilpailukykyistä tuontipolttoaineisiin nähden (tuotantokustannukset käyttöpaikalla suurkäyttäjälle noin 45 mk/MWh 100 km:n kuljetusmatkalla) ja yhteenlaskettu lisäkäyttöpotentiaali vähintään 1 milj. toe/a (11 TWh) eli n. 5,5 milj. m<sup>3</sup>. Kuljetusetäisyydeksi on täsmennetty 100 km.

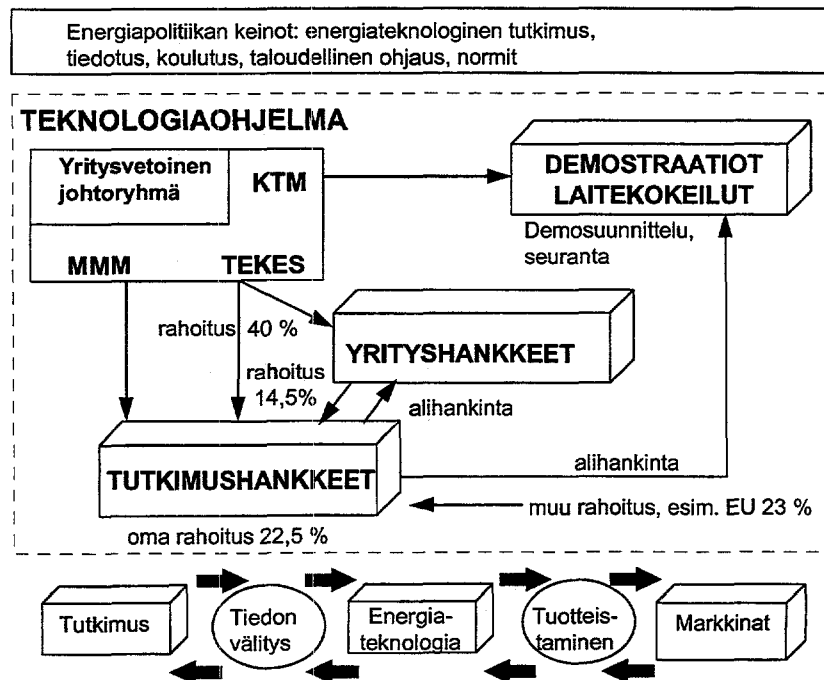
Puun pientuotannon osalta tavoitteena on 20 %:n kustannusten pienentäminen vuoden 1992 teknologiatasoon verrattuna. Kehitystyö kohdistuu lähinnä klapien ja polttohakkeen tuotantoon ns. kevyen polttoöljyn kokoluokkaan alle 1 MW:n lämmityskohteisiin.

Turpeen osalta tavoite on parantaa kilpailukykyä alentamalla tuotantokustannuksia 20 % vuoden 1992 tasosta (5 - 6 mk/MWh) sekä vähentää turvetuotannon vesistökuormitus luonnonmukaisen suon tasolle ja vähentää muuta ympäristökuormitusta oleellisesti. Bioenergian ohjelmassa keskitytään vähäpäästöiseen tuotantotekniikkaan.

Käyttötekniikan tavoitteena on kehittää demonstraatioasteelle 3 - 4 biopoltto-  
 aineen käsittelyyn tai kuivatukseen liittyvää uutta laitetta tai mene-  
 telmää, jotka mahdollistavat ympäristöystävällisen ja kilpailukykyisen energi-  
 antuotannon ja kehittää pienkäytön (< 20 MWth) laitetekniikkaa ja vähentää  
 päästöjä. Tavoitteena on uuden pienvoimalaitostekniikan kehittäminen, esi-  
 merkiksi flashpyrolyysiöljydieselien, kaasutusmoottorin ja pölypolttokaasutus-  
 turbiinin. Ohjelmassa demonstroidaan vähintään 2 - 3 uutta suuren kokoluo-  
 kan käyttökohdetta, joissa kussakin käyttöpotentiaali koko maassa on vähin-  
 tään 0,2 - 0,3 milj. toe/a vuoteen 2000 mennessä.

Jalostustutkimuksen tavoitteena on tuottaa perustietoa eri biomassojen jalos-  
 tustekniikoista, arvioida tuotteiden laatua, käytettävyyttä, käytön ympäristö-  
 vaikutuksia sekä koko tuotantoketjujen taloudellisuutta. Tavoitteena on lisäksi  
 luoda ja saattaa demonstraatioasteelle 2 - 3 uutta menetelmää bioöljyjen, kaasu-  
 tuskaasun tai muiden jalosteiden valmistamiseksi ja käyttämiseksi ja luoda  
 edellytykset vuoteen 2005 mennessä 0,2 - 0,3 milj. toe/a jalostustuotteiden  
 käyttömäärälle.

Tutkimusohjelmassa on tavoitteena edetä kullakin alueella tutkimuksesta yri-  
 tysten kehitystoiminnan kautta kaupalliseen toimintaan (kuva 1).



Kuva 1. Tutkimuksesta kaupalliseksi toiminnaksi.

### 3 OHJELMAN ORGANISOINTI JA RAHOITUS

#### 3.1 ORGANISOINTI VUONNA 1996

Tutkimusohjelmaa on vuoden 1996 alusta koordinoanut Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. Vastuullisena johtajana on toiminut professori Dan Asplund ja koordinaattorina ja tiedotuksesta vastavana dipl.ins. Pirjo Nikku.

Vuoden 1996 johtoryhmän puheenjohtaja on teknologiajohtaja Martti Äijälä, Imatran Voima Oy:sta ja jäsenenä seuraavat:

- Ylitarkastaja Matti Heikurainen, Maa- ja metsätalousministeriö
- Kehityspäällikkö Heikki Karppimaa, Turveruukki Oy
- Metsänhoitaja Kari Kuvaja, Enso Oy
- Toimitusjohtaja Pekka Laurila, Biowatti Oy
- Jaostopäällikkö Ilpo Mattila, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK
- Varatoimitusjohtaja Keijo Mutanen, Sermet Oy
- Toimitusjohtaja Pekka Nevalainen, Outokummun Metalli Oy
- Diplomi-insinööri Jukka-Pekka Nieminen, Neste Oy
- Tutkimusjohtaja Timo Nyrönen, Vapo Oy
- Suunnittelupäällikkö Seppo Paananen, UPM-Kymmene Metsä
- Erikoistutkija Tarja-Liisa Perttala, TEKES
- Teknologiapäällikkö Tuomo Ruohola, Kvaerner Pulping Oy.

TEKESin vastuuhenkilönä toimii erikoistutkija Tarja-Liisa Perttala, MMM:n vastuuhenkilönä ylitarkastaja Matti Heikurainen ja KTM:n vastuuhenkilönä ylitarkastaja Aimo Aalto.

Tutkimusohjelmassa on neljä seurantaryhmää tutkimusalueittain:

- Puupolttoaineiden tuotanto, puheenjohtajana Antti Korpilahti, Metsäteho Oy:sta,
- Turvetuotanto, puheenjohtajana Arvo Leinonen, VTT Energiasta,
- Bioenergian käyttö, puheenjohtajana Satu Helynen, VTT Energiasta ja
- Biomassan jalostus, puheenjohtajana Kai Sipilä, VTT Energiasta.

### 3.2 OHJELMAN RAHOITUS

Bioenergian tutkimusohjelman alkuperäinen suunniteltu rahoitus on kokonaisuudessaan 210 milj. mk ja vuosittain 35 milj. mk. Rahoitukseen ovat osallistuneet TEKES, kauppa- ja teollisuusministeriö sekä maa- ja metsätalousministeriö. Vuosina 1993-96 myönnetty kokonaisrahoitus on yhteensä yli 180 milj. mk. Se ylittää edelleenkin suunnitelman, vaikka kokonaisrahoitus notkahtikin alaspäin viime vuonna. Suurimpana syynä rahoituksen putoamiseen oli TEKESin rahoituksen leikkaus. Yritysten ja muiden rahoittajien osuus kokonaisrahoituksesta pysyi lähes edellisvuoden tasolla (taulukko 1).

*Taulukko 1. BIOENERGIA-tutkimusohjelman rahoitus.*

| RAHOITTAJA                    | Suun.<br>rahoitus<br>vuositt. | Päätökset, milj.mk |      |      |      |      |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|------|------|------|------|
|                               |                               | 93-98              | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 |
| TEKES/KTM, yhteensä           | 16                            | 96                 | 27   | 20   | 19,4 | 9,76 |
| - tutkimuslaitoshankkeet      |                               |                    | 8    | 8    | 8    | 5    |
| - yrityshankkeet              |                               |                    | 8    | 7    | 5,2  | 2    |
| - demonstraatiohankkeet       |                               |                    | 11   | 5    | 6,4  | 1,8  |
| - EU-rakennerahasto           |                               |                    |      |      |      | 2,4  |
| MMM                           | 7                             | 42                 | 1,5  | 2,8  | 2,7  | 2,5  |
| Yritykset ja muut rahoittajat | 12                            | 72                 | 22   | 23   | 29,4 | 19   |
| YHTEENSÄ                      | 35                            | 210                | 50,5 | 45,8 | 51,7 | 33,1 |

### 3.3 PROJEKTIT VUONNA 1996

Ohjelmassa oli vuonna 1996 käynnissä kaikkiaan 63 projektia (taulukko 2). Niistä 28 toteutetaan yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa, 19 oli yritysprojekteja ja demonstraatioprojekteja oli 16. Tutkimusprojektien määrä on pienentynyt, mutta yritys- ja demonstraatioprojektien lukumäärä on pysynyt edellisen vuoden tasolla. Puupolttoainetuotannon alueella projekteja on käynnissä 36, bioenergian käytössä 10, turvetuotannossa 7 ja jalostuksessa 6. Lisäksi pelto-biomassaan liittyviä projekteja oli 4.

*Taulukko 2. BIOENERGIA-tutkimusohjelman projektit 1996 (suluissa 1995, 1994, 1993).*

|                            | Tutkimus-<br>projektit | Yritysprojektit | Demonstraatio-<br>projektit | Yhteensä      |
|----------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|
| Puupolttoainetuotanto      | 16 (14,11,11)          | 10 (8,8,7)      | 10 (9,8,3)                  | 36 (31,27,21) |
| Turvetuotanto              | 2 (6, 5,5)             | 5 (4,5,6)       | - (-, 1,1)                  | 7 (10,11,12)  |
| Bioenergian käyttö         | 5 (6,4,5)              | 3 (6,4,2)       | 2 (2, 4,3)                  | 10 (14,12,10) |
| Bioenergian jalostus       | 2 (4,3,2)              | 1 (1,3,4)       | 3 (3,4,1)                   | 6 (8,10,7)    |
| Peltobiomassan<br>tuotanto | 3 (2)                  | -               | 1 (1)                       | 4 (3)         |
| Yhteensä                   | 28(32,23,23)           | 19 (19,20,19)   | 16 (15,17,8)                | 63 (66,59,50) |

Noin 47 % vuonna 1996 päätetystä rahoituksesta käytetään puupolttoaineen tuotantoa koskevaan tutkimustoimintaan (taulukko 3). Turvetuotantoon ja jalostukseen suuntautui kumpaankin noin 11 % ja käytön osuus oli 19 %.

*Taulukko 3. Vuonna 1996 päätetyn kokonaisrahoituksen jakautuminen.*

| Milj.mk                       | Tutkimus-<br>projektit | Yritys-<br>projektit | Demonstraatio-<br>projektit | Yhteensä    |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|
| Puupolttoaineiden<br>tuotanto | 10,8                   | 1,3                  | 5,8                         | 17,9 (55 %) |
| Turvetuotanto                 | 1,0                    | 1,9                  | -                           | 2,9 (9 %)   |
| Bioenergian käyttö            | 4,0                    | 1,3                  | -                           | 5,3 (17 %)  |
| Bioenergian jalostus          | 3,0                    | -                    | -                           | 3,0 (9 %)   |
| Peltobiomassan tuo-<br>tanto  | 3,3                    | -                    | -                           | 3,3 (10 %)  |
| Yhteensä                      | 22,1                   | 4,5                  | 5,8                         | 33,1 (100%) |
| Osuus                         | 81 %                   | 16,5 %               | 2,5 %                       |             |
| Vuonna -95                    | 33%                    | 28%                  | 39%                         |             |

Ohjelmaan osallistui vuonna 1996 kaikkiaan yli 30 yritystä. Yritys- ja demonstraatiohankkeissa puupolttoaineiden tuotantoalueella vuonna 1996 tehtiin 13 hanketta pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Lisäksi useita pk-yrityksiä oli osarahoittajina tutkimuslaitosprojekteissa. Pk-yritysten kanssa tehtiin muuta yhteistyötä lähinnä Työtehoseuran projekteissa. Bioenergian käyttöalueella oli mukana 2 pk-yritystä omilla hankkeillaan.

Taulukossa 4 on esitetty TEKESin vuoden 1997 ja suluissa vuoden 1996 tutkimushankkeiden rahoitusrakenne.

*Taulukko 4. TEKESin rahoittamien tutkimuslaitosprojektien rahoitusrakenne vuonna 1997 (vuonna 1996).*

| Tutkimusalue<br>milj.mk         | TEKES              | Oma rah.           | EU rah.     | Muu rah.           | Kok.kust.           |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|---------------------|
| Puupolttoai-<br>neiden tuotanto | 3,12 (2,22)        | 1,80 (0,88)        | 0           | 0,82 (0,81)        | 5,74 (3,92)         |
| Turvetuotanto                   | 0,52 (0,52)        | 0,38 (0,23)        |             | 0,35(0,25)         | 1,25 (1,00)         |
| Bioenergian<br>käyttö           | 1,36 (0,96)        | 0,77 (1,00)        |             | 1,21(2,25)         | 3,34 (4,24)         |
| Biomassan<br>jalostus           | (1,00)             | (0,68)             |             | (1,35)             | (2,99)              |
| Peltoenergia                    | (0,30)             | (0,04)             |             | (0,09)             | (0,43)              |
| <b>Yhteensä</b>                 | <b>5,00 (5,00)</b> | <b>2,95 (2,84)</b> |             | <b>2,39 (4,74)</b> | <b>10,34 (12,6)</b> |
| Erillisprojektit                |                    |                    |             |                    |                     |
| Puupolttoai-<br>neiden tuotanto | 0,54               |                    |             | 0,15               | 0,69                |
| Bioenergian<br>käyttö           | 0,36               | 0,49               | 0,83        | 0,07               | 1,74                |
| Biomassan<br>jalostus           | 0,80               | 0,60               | 0,86        | 0,40               | 2,66                |
| <b>Yhteensä</b>                 | <b>1,70</b>        | <b>1,09</b>        | <b>1,69</b> | <b>0,62</b>        | <b>5,09</b>         |
| <b>Kaikki yht.</b>              | <b>6,70</b>        | <b>4,04</b>        | <b>1,69</b> | <b>3,01</b>        | <b>15,44</b>        |

TEKESin tutkimuslaitoshankkeiden kokonaisrahoitus pienentyi rahoitusleikkauksen vuoksi 8 milj. markasta 5 milj. markkaan vuonna 1996. Vuoden 1996 koordinaatorahoitus voitiin kuitenkin hakea muulla tavoin, joten varsinainen tutkimusrahoitus pieneni 2,04 milj. mk. Kokonaisrahoitus on kuitenkin pysynyt lähes samalla tasolla. Tämä johtuu muun rahoituksen kasvusta eli lähinnä käyttö- ja jalostuspuolelle saadusta EU-rahoituksesta. Vuonna 1996 TEKESin rahoitusosuuden pienenemistä korvasi lisäksi EU:n rakennerahaston kautta saatu rahoitus kahteen projektiin Keski-Suomessa.

Vuoden 1997 varsinaisten tutkimuslaitosprojektien TEKES-rahoitus pysyy viime vuotisella 5 milj. markan tasolla. Lisäksi ohjelmaan on tulossa erillis-hankkeita, joiden rahoitus on yhteensä 1,7 milj. mk. EU:n rakennerahaston kautta saatava rahoitus on vielä avoinna. Kokonaisuudessaan TEKESin suora tutkimuslaitosrahoitus on siis nousemassa takaisin aiemmalle 8 milj. markan tasolle, kun mukaan otetaan vielä koordinaatioon tuleva rahoitus.

## 4 VUODEN 1996 TULOKSIA

### 4.1 PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka

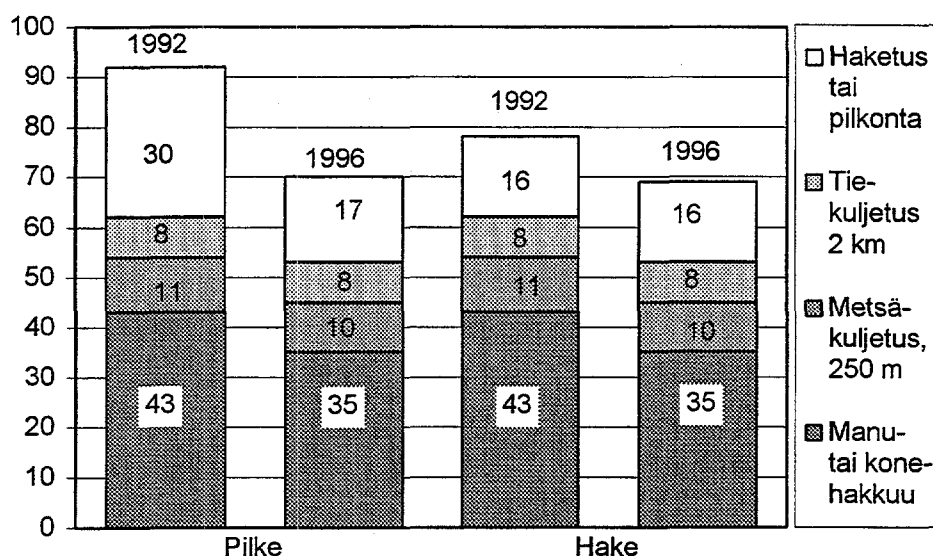
Puupolttoaineiden tuotannon tutkimusalueella on tuotettu uutta tietoa kehitystyön pohjaksi mm. päätehakkuun työtavoista, ensiharvennusmännyn ja -kuusen biomassataseista ja ominaisuuksista, ketjukarsinta-kuorinnan perusteista, tiivistyksen perusteista, hakkeen erotusominaisuuksista ja pneumaattisesta siirrosta. Pientuotannon osalta on laadittu kustannuslaskentamalli ja selvitetty pilkkeiden mittauksen ja laadun perusteet. Lisäksi on täsmennetty tavoitteeseen liittyvä lähtötilanne vuonna 1992 ja tulokset vuonna 1996.

#### 4.1.1 Puun pientuotanto

Polttopuun ja hakkeen tuotantoon ns. isännänlinjan kokoluokassa on kokeiltu kuutta kaupallista prototyyppiä itse metsätyövaiheeseen. Tämä merkitsee merkittävää teknologista muutosta moottorisahateknologiasta uusiin hakkuu- ja metsäkuljetusteknologioihin. Haketuotannossa on kehitetty ns. lämpöyrittäjyyttä, jolloin hakkeen toimittajalla on myös vastuu lämmöntuotannosta. Tällöin vältetään vaikea ongelma toimitetun hakkeen energiasisällön määrittämisestä.

Perinteisen polttopuun eli klapin (pilke) kohdalla on kaupallisessa kokeilussa uusia laitteita klapin koneelliseen tuotantoon ja lisäksi uusi menetelmä jakeluun, joka soveltaa kierrätettävää käsittely- ja jakelutekniikkaa ”metsästä asiakkaalle”.

Seuraavassa on esitetty lähtötilanne 1992 ja ohjelman aikana kehitettyjen menetelmien arvioidut tuotantokustannukset (kuva 2).



Kuva 2. Ohjelmassa kehitettyjen uusien puun pientuotannon menetelmien kustannukset vuonna 1996 verrattuna vuoden 1992 tasoon (mk/MWh).

Tavallisimman poltopuulajin - lämmityspilkkeen - korjuukustannukset ovat alentuneet teknologisen kehittämisen ansiosta tyypileimikon oloissa vuodesta 1992 vuoteen 1996 yli 20 %. Tämä on mahdollista koneellistamalla rankojen hakkuu maataloustraktoriin kehitetyin pienharvesterein ja pilkonta syöttölaitteellisin konein.

Pienkäytössä hake tehdään yleensä rangoista. Rankahakkeen korjuukustannukset ovat alentuneet tyypileimikon oloissa noin 10 %. Säästö on saavutettavissa valmistamalla rangat koneellisesti pienharvestereilla, jolloin myös kuljetus tehostuu.

Tuottavuudet ovat erityisesti uusimpien korjuumenetelmien ja -laitteiden osalta alustavia. Näyttäisi kuitenkin siltä, että käytännön työssä saavutetaan huomattavasti parempi tuottavuus kuin koe-koneiden lyhyissä kokeissa, joissa kuljettajat olivat kokemattomia uuteen tekniikkaan.

#### 4.1.2 Puupolttoaineiden tuotanto taimikon harvennuksista

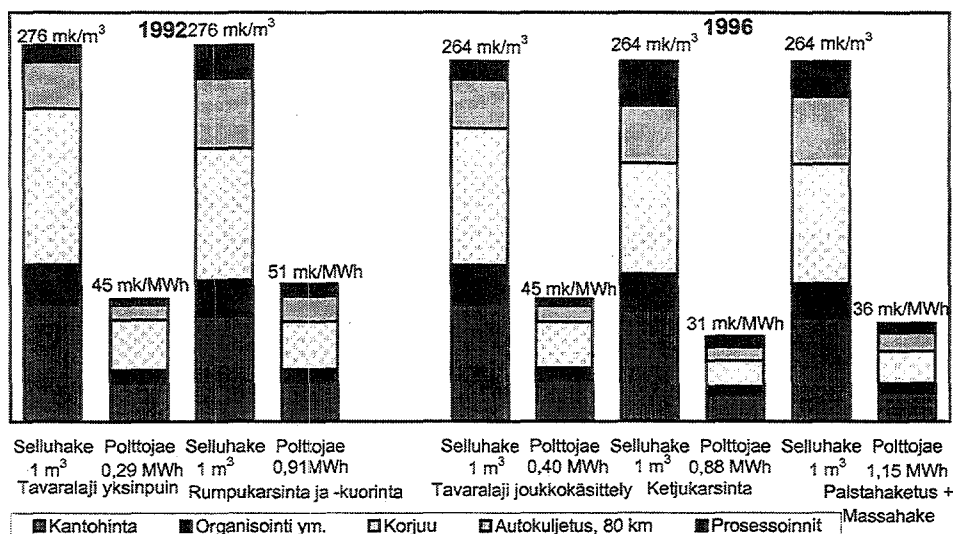
Taimikonhoidon ohjeita on hiljattain tarkistettu siten, että harvennus tulisi tehdä aiempaa myöhemmin, puun 4 - 7 metrin pituusvaiheessa. Kaadettavat puut ovat silloin jo niin kookkaita, että hehtaariohtainen biomassakertymä on vähintään 40 - 50 kuutiometriä (vähintään 100 hakekuutiota). Vuotuinen

taimikonhoitoala on noin 200 000 ha. Varovainen arvio on, että taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuksesta voitaisiin helposti ottaa talteen 2,5 milj. m<sup>3</sup> (lähes 0,5 milj. toe) vuodessa.

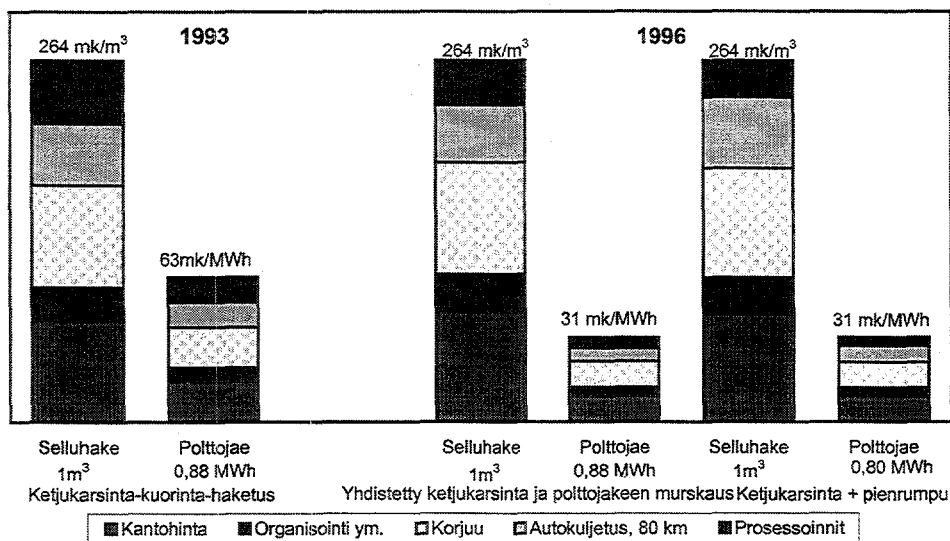
#### **4.1.3 Puupolttoaineiden tuotanto harvennushakkuista**

Puupolttoaineen tuottamisessa ensiharvennusvaiheen metsiköistä keskeisenä kehittämiskohteena on ollut teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto. Yhteenveto tutkimusohjelmassa mukana olleiden integroitujen tuotantomenetelmien kustannusten nykytasosta ensiharvennusmännylle on esitetty kuvassa 3. Se osoittaa integroitujen menetelmien tarjoavan kilpailukykyisen vaihtoehdon ensiharvennuspuun hankintaan. Ehtona on raaka-aineen kelpoisuus metsäteollisuudelle. Puupolttoaineen tuotantokustannusten tavoitteeksi asetettu 45 mk/MWh, näyttää olevan mahdollista saavuttaa esityillä menetelmillä. Laskelmassa on vertailukohdaksi otettu tarvaralajimenetelmä ja joukkokäsittely, jossa joukkokäsittely ja kehitystyö on alentanut kustannuksia 276 mk/m<sup>3</sup>:sta 264 mk/m<sup>3</sup> vuodesta 1992 vuoteen 1996 verrattuna. Polttojakeen hinta on tällöin 45 mk/MWh. Verrattavissa uusissa menetelmissä selluhakkeen hinta on pidetty samana. Tuotantopotentiaaliksi koko Suomessa on arvioitu noin 0,5 milj.toe/a. Kuvassa esiteltujen tuotantomenetelmien kehitystaso vaihtelee: osa menetelmistä olisi otettavissa käyttöön nykykalustolla välittömästi, mutta osassa tarvitaan vielä keskeisten laitteiden tuotekehitystyötä tai koko ketjun demonstrointia. Kuvassa 4 on tarkemmin esitetty ohjelmassa kehitettyjen menetelmien kehitys ja teknistaloudellinen vertailu.

Harvennuspuun korjuuta ja puupolttoaineen tuotantoa on tutkittu erityisesti männyllä. Se on perusteltua, sillä mäntyvaltaisten metsiköiden osuus ensiharvennuksista on noin 80 %. Ensiharvennusmetsien hakkuutarve yksityismetsistä on vähintään 6 milj. kuutiometriä runkopuuta vuodessa. Merkittäviä uusia tietoja ensiharvennuspuun ominaisuuksista on saatu Metlan ja Jyväskylän Yliopiston projekteissa. Tämä mahdollistaa ensiharvennusmännyn teollisen hyväksyttävyyden parantumisen.



Kuva 3. Puupolttoaineen tuotanto harvennushakkuista (ensiharvennus-mänty), tutkittujen ja kehitettyjen tuotantomenetelmien kustannusvertailu.



Kuva 4. Ohjelmassa tapahtunut ketjukarsintamenetelmiin liittyvä kehitys.

Oy Logset Ab:n kehittämä hakeharvesteri on edennyt jo kaupalliselle asteelle. Yhteensä 8 konetta on jo käytössä Suomessa ja Ruotsissa.

Joukkokäsittelyharvesterilla, joka on kehitetty pienpuun käsittelyyn kuor-mainharvesterista, saavutettiin tutkituilla kohteilla 20 % korkeampi tehotunti-

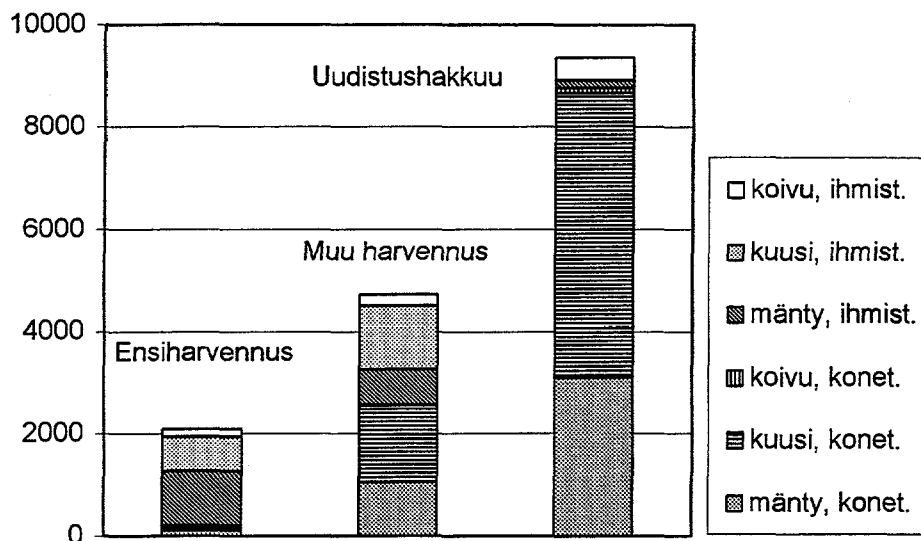
tuotos kuin yksinpuinkäsittelyllä. Tämä merkitsee noin 5 - 15 mk/m<sup>3</sup> vähennystä puun hankintakustannuksiin. Kehitystyötä tekivät Outokummun Metalli Oy ja Metsäteho yhteistyössä Enso Oy:n kanssa. Laite on valmis kaupallisesti.

Integroitujen menetelmien kehittämistyö MASSAHAKE-menetelmän osalta on jatkunut osa-alueiden tarkemmassa tutkimuksessa kun menetelmän yleinen tekninen toimivuus on todettu Kankaanpäässä kesäkuussa 1995 aloittaneessa demonstraatiolaitoksessa. Kehitystyö jatkui vuonna 1996.

Ketjukarsintakuorinnan ongelmana on hakkeen korkea kuoripitoisuus talviolosuhteissa, minkä alentamiseksi on käynnistetty ketjukarsinta-kuorinnan tutkimus tutkimuslaitteen avulla. Pilot-laitosta, joka soveltaa ketjukarsinta-kuorintateknologiaa yhdistettynä pienrumpukuorintaan kokeiltiin vuonna 1996 metsäteollisuuden yhteydessä. Hooli Oy:n demonstraatiohankkeessa on jatkettu kokeiluvaiheessa olleen karsintakuorintatekniikkaan ja vasaramurskaukseen perustuvan laiteyhdistelmän kehitystyötä.

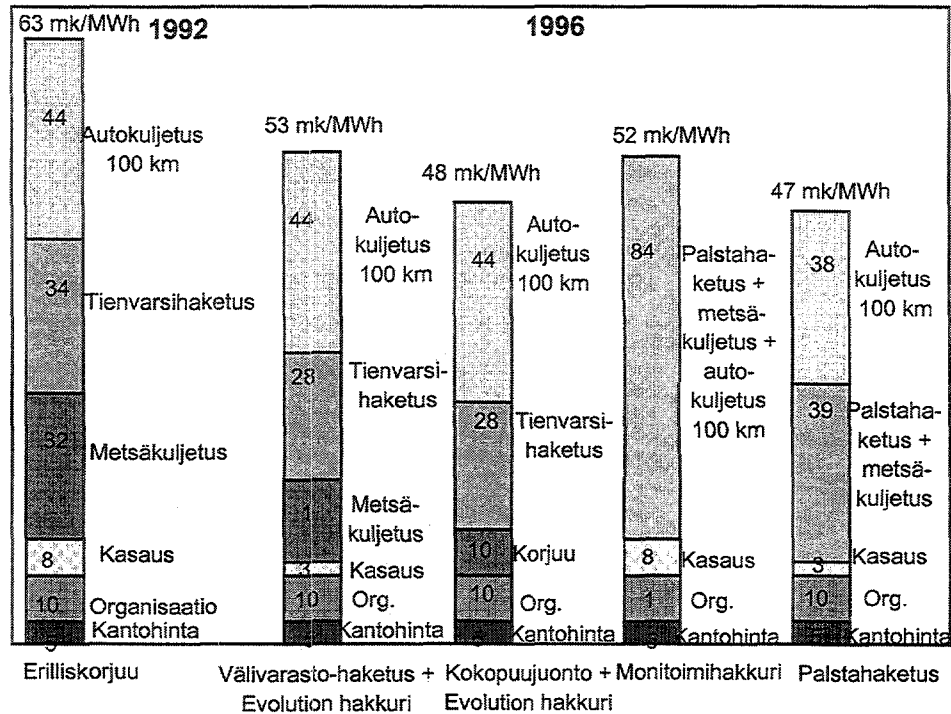
#### 4.1.4 Puupolttoaineiden tuotanto päätehakkuista

Tuotantopotentiaali Suomessa päätehakkuissa on 1,0 milj.toe/a. Kuvassa 5 on esitetty teoreettinen kokonaishakkuutähdemäärä ainespuun tuotannon yhteydessä. Kokonaismäärä on noin 4,3 milj.toe/a. Tästä noin 60 % on uudistushakkuista.



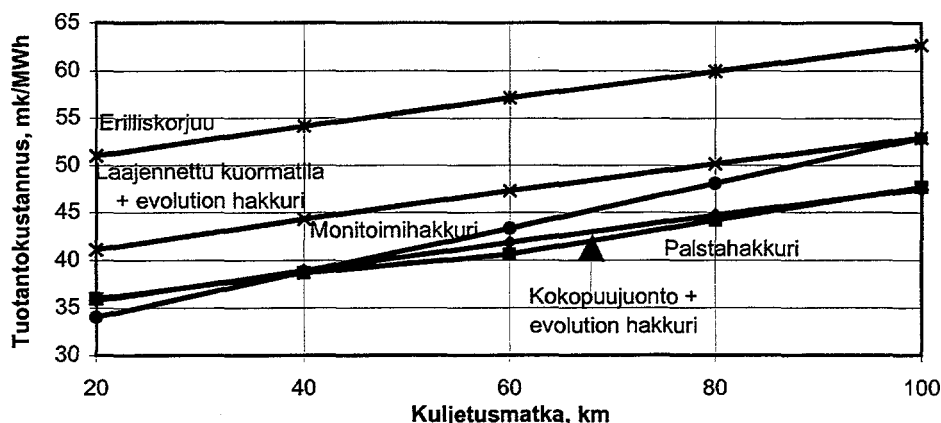
Kuva 5. Hakkuutähteen kokonaismäärä 1995 (1000 m<sup>3</sup>).

Yhteenveto kuusivaltaisten päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuuseen soveltuvien tuotantomenetelmien kustannusten nykytasosta on esitetty kuvassa 6. Tulokset osoittavat, että tavoitteeksi asetettu 45 mk/MWh, on mahdollista saavuttaa. Kuvassa esiteltujen tuotantomenetelmien kehitystaso vaihtelee. Kaikki paitsi kokopuujuonto ovat vähintään kaupallisessa demonstraatiovaiheessa.



Kuva 6. Tutkimusohjelmassa tutkittujen ja kehitettyjen hakkuutähdihakkeen tuotantoketjujen kustannusvertailu. Metsäkuljetusmatka 250 m, autokuljetusmatka 100 km.

Kuvassa 7 on esitetty tuotantomenetelmien kustannukset kuljetusetäisyyden funktiona.



Kuva 7. Puupolttoaineiden tuotanto hakkuutähteistä kuusivaltaisessa uudistushakkuussa.

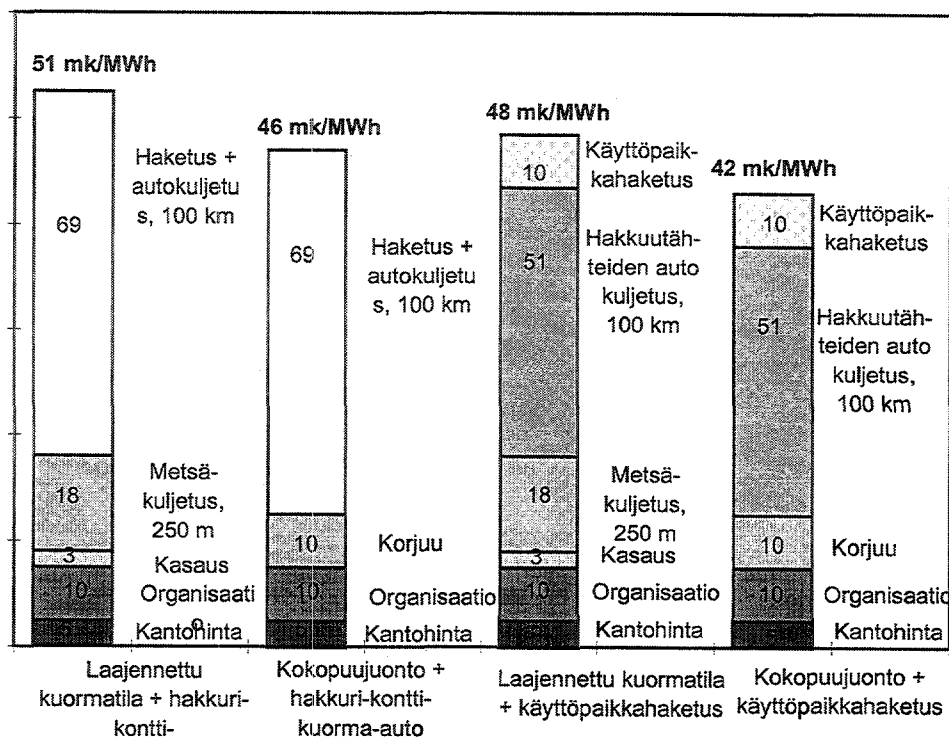
Päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuussa on ns. perusmenetelmällä päästy edullisimmillaan Mikkelin seudun demonstraatioprojektissa alle 43 mk/MWh hintaan kaupallisella tekniikalla. Vuonna 1992 menetelmän kustannukseksi arvioitiin 60 mk/MWh. Menetelmän kehityskohteena on ollut metsäkuljetus ja erityisesti Kotimaiset Energiat Pekka Lahti Ky:n kehittämä Evolution-hakkuri.

Chipset-palstahakkuriin perustuva uusi päätehakkumenetelmä on jo saavuttanut kaupallisen vaiheen.

Hakkurilla varustetun MOHA-SISU kuorma-auton, joka voi kulkea palstalla, ja siirtokonttien käyttöön perustuvalla tuotantoketjulla päästään kilpailukykyiseen hintaan. MOHA-SISU mahdollistaa uudenlaisen polttohakkeen tuotantologistiikan, joka tarjoaa etuja perinteiseen toimintatapaan ja muihin tuotantoketjuihin nähden. Menetelmän kaupallinen koeikäyttö aloitettiin vuonna 1995. Se on edullinen alle 50 km:n kuljetusetäisyydellä.

Kuusivaltaisissa päätehakkuissa on kokeiltu myös kokopuujuontoon perustuvaa ainesrunkopuun ja energiapuun integroitua korjuumenetelmää, jolla hakkuutähteisiin kohdistuvat korjuukustannukset olivat jopa alle 10 mk/m<sup>3</sup>. Tämä merkitsisi polttoaineelle alle 45 mk/MWh tuotantokustannuksia käyttöpaikalla 80 km:n etäisyydellä, jos menetelmään liittyvät kehitystarpeet esi-

merkiksi välivarastojärjestelyjen osalta pystytään ratkaisemaan. Menetelmä on valmis demonstroitavaksi. Kuvassa 8 on esitetty kehitysvaiheessa olevien menetelmien arvioitu kustannus 100 km:n kuljetusetäisyydellä.



Kuva 8. Kehityspotentiaali puupolttoaineiden tuotannolle hakkuutähteistä kuusi-valtaisessa uudistushakkuussa.

## 4.2 TURVETUOTANTO

Tärkeimmät tutkimuskohteet turvetuotannossa, joilla tavoite saavutetaan, ovat ojitus- ja kunnostustekniikka, kuivatustekniikka, konetekniikka, menetelmätekniikka, puun korjuun ja turvetuotannon integrointi ja Optimiturve-tutkimusohjelman tulosten hyödyntäminen käytännössä. Myös tiedollinen puoli turvetuotannon tutkimuksessa on lisääntynyt. Erityisesti kuivumisen perusteiden tunteminen antaa pohjan muulle kehitystyölle ja on tärkeä osa koko kehityksen ketjua. Lisäksi uutta tutkimustietoa on uusista materiaaleista, salaojituksesta ja hakkeen käytöstä auman peittona.

Tärkeimmät vuoden 1996 tulokset ovat:

- Uudessa imuvaunussa pölypäästöt on voitu eliminoida. Imuvaunu on myös 10 % tehokkaampi kuin perinteinen vaunu. Uuden tehokkaamman imuvau-  
nun kehittämistä jatketaan.
- Suon tarkkaan hyödyntämiseen tarkoitettu Tarkkaturve-menetelmä on kau-  
pallisessa käytössä. Lisäksi on kehitetty Tarkkaturve-menetelmään kevyt ja  
paloturvallinen Haku-koneketju, joka koostuu muovijyrsimestä, kevyestä  
kuormaajasta ja peräkärrystä. Muovijyrsin ja kevyt kuormaaja ovat proto-  
tyyppiasteella. Peräkärry on sarjavalmistuksessa. Lisäksi on vielä kehitetty  
uusi yli kaksi kertaa perinteistä kokojavaunua tehokkaampi mekaaninen  
kokojavunu, joka on myös sarjavalmistuksessa.
- Testattu käytännössä uutta tiivistetyn turpeen tutkimusprotoa. Kenttätutki-  
muksissa tuli esille, että tiivisturve kuivuu 1,1 - 2 kertaa nopeammin kuin  
jyrsinturve. Suurin ongelma on nostokoneen suuri tehontarve. Jatkossa kes-  
kitytään nostokoneen tehontarpeen pienentämiseen.
- Selvitetty pienturvetuotannon nykytila ja kehitystarpeet. Pientuottajat on  
merkittävä turvetuottajaryhmä. Pientuottajia Suomessa on noin 200 kappa-  
letta. Pientuottajien tuotantomäärä oli vuonna 1996 yhteensä 3,3 TWh ja  
ei-energiaturpeen määrä 0,265 miljoonaa m<sup>3</sup>. Vuonna 1997 tutkimuksen  
tehtäviä ovat ympäristösuojelun parantaminen, turvetoimitusten tehostami-  
nen ja turvekoneiden yhteiskäytön kehittäminen.
- Palaturpeen karhekuivausmenetelmässä on parannettu PK-1S- ja RYT-  
nostokoneiden kapasiteettia ja kehitetty karheajan ja kuormaajan proto-  
tyypit.
- Testattu käytännössä routapalamenetelmää.

Turvetuotannon tutkimusalueen tavoite on tutkimustulosten valossa mahdol-  
lista saavuttaa mikäli osatavoitteet saavutetaan. Sarkaleveyden kasvattaminen  
20 m:stä 60 m:iin alentaa tuotantokustannuksia 5 %, aurinkoenergian hyväk-  
sikäyttöasteen kasvattaminen 30 %:sta 40 %:iin alentaa tuotantokustannuksia  
8 %, suon pohjalle jäävän turpeen määrän pieneneminen 3000 MWh:sta 1500  
MWh:iin alentaa 6,5 %, keveiden ja paloturvallisten koneiden kehittäminen 3  
%, yhdistetty puun korjuu alentaa tuotantokustannuksia 3 %. Eri osatavoittei-  
den saavuttaminen myös käytännön turvetuotannossa pienentää yhdessä tuo-  
tantokustannuksia 24 %.

### 4.3 BIOENERGIAN KÄYTTÖ

Kuivumisen perusteet, kuivumismalli, tulisijapolton perusteet ja katalyyttinen puhdistus ovat aihealueita, joilla on tuotettu uutta tietoa bioenergian käytön tutkimusalueella.

Bioenergian käyttöalueen projektien painopiste on ollut polttoaineiden käsittely- ja kuivatustekniikassa sekä lämmityslaitteiden kehittämisessä kiinteistökokoluokkaan. Polttoaineiden käsittelytekniikassa hankkeet ovat keskittyneet polttoaineiden syöttöön paineistetuissa voimalaitosprosesseissa.

Yritysprojekteina on kehitetty kaksi erityyppistä kuivuria. Laitosmitassa toista kuivuria kokeillaan Kuusamon pienvoimalaitoksen yhteydessä. Tämä sekoituskuivuri saa kuivausenergiansa leijukerroksen kuumasta hiekasta. Tällä laitoksella kaukolämpöteho lisääntyy kuivurin ansiosta noin 20 %-yksikköä. Menetelmä on valmis demonstroitavaksi suuremman voimalaitoksen yhteydessä. Toisessa kuivurityypissä polttoainetta kuivataan petinä savukaasuilla. Tavoitetaso loppukosteudelle on 15 - 20 %. Menetelmä on valmis demonstroitavaksi.

Paineistetuissa voimalaitostekniikoissa polttoaineen käsittelytekniikoille asetetaan uusia vaatimuksia. Polttoaineen syöttöön kehitetään yritysprojekteina kahta erilaista sekvenssiohjattua mäntäsyötintä. Molempien suunnittelussa lähtökohtana on investointi- ja käyttökustannusten alentaminen sulkusiilojärjestelmään nähden. Syöttimiä on koekäytetty todellisia olosuhteita vastaten hyvin tuloksin. Laitteet ovat valmiita demonstraatiovaiheeseen.

Tutkimusohjelmassa aloitettu automaattisen lämmitysjärjestelmän kehitystyö johti menetelmän demonstroiintiin Högfors Lämpö Oy:n toimesta. Prototyypikattilasta (200 kW) saatujen kokemusten perusteella rakennettiin 500 kW:n kattila, joka laboratoriotestausten jälkeen sijoitettiin kauppapuutarhan lämmityslaitteeksi vuonna 1995. Kattilan käyttökokemukset puutarhalta ovat erittäin hyviä. Ainoita ongelmia on aiheuttanut polttoaineen laadun epätasaisuus.

Tulisijojen savukaasujen katalyyttinen puhdistus on onnistunut, mutta luonnonvetoisissa tulisijoissa ohituskanavan rakentaminen sytytysvaihetta varten näyttää olevan tarpeellista. Tulokset osoittavat, että katalysaattorin käyttöönotto olisi mahdollista jo nykytekniikan tasolla muissa tulisijoissa paitsi varaavissa tulisijoissa, joissa on vielä kehitystarvetta. Sovellutus on valmiina tuotekehitysvaiheeseen.

#### 4.4 BIOMASSAN JALOSTUS

Biomassan jalostustutkimus on keskittynyt vuonna 1996 edelleen selluteollisuuden sivutuotteiden jalostaminen ja kiinteän biomassan jalostus polttonesteeksi Flash-pyrolyysillä. Pyrolyysiöljyn ominaisuudet, palamisominaisuudet ja dieselikäytön perusteet ovat esimerkkejä alueen tiedollisista tutkimustuloksista.

Suovan jalostustutkimuksessa on todettu että on mahdollista tuottaa edullista polttoöljyä.

Flash-pyrolyysitekniikan tutkimusta on jatkettu polttoaineen ominaisuuksien kartoittamisella etenkin dieselmootorikäytön ja kevyen polttoöljyn kokoluokan käytön osalta. kannalta. Flash-pyrolyysiöljyn käyttö kevyen polttoöljyn korvikkeena näyttää olevan edullisinta Neste Oy:n tutkimuksen mukaan lisäaineellisen pyrolyysiöljyn ja kevyen polttoöljyn seoksena, mutta silloinkin tarvitaan muutoksia polttolaitteisiin. Flash-pyrolyysiöljyn tuotannon ja käytön tutkimusta on jatkettu hankkimalla kolme laboratoriomittaista koelaitteistoa. Tavoitteena on VTT:n ns. ITP-konseptin kehittäminen tuotannon demonstrointiin lähivuosina. Kokeet 1.5 MW:n voimalaitosmootorilla käynnistettiin alkuvuonna 1996 tuomalla 50 tonnia puupyrolyysiöljyä ulkomailta. Kokeet ovat olleet lupaavia ja voimamootorin kehitystyötä pyrolyysiöljylle jatketaan.

#### 4.5 PELTOBIOMASSAN TUOTANTO

Bioenergian tutkimusohjelmaan ei ole kuulunut erillistä peltobioenergian tutkimusalueita, vaikka sitä määrätietoisesti suunniteltiin. Hankkeita oli kuitenkin käynnissä pääosin maa- ja metsätalousministeriön rahoittamana. Uutta tietoa on saatu mm. ruokohelpin ominaisuuksista, rypsin dieselominaisuuksista ja fraktioinnista.

Tärkeimmät hankkeet v. 1996 olivat seuraavat:

1. Rypsin ja ruokohelpin viljelyn demonstrointi nykypuristamoilla polttoöljyksi, paperikuiduksi ja flashpyrolyysiöljyksi laajamittaisena non food-tuotantosuuntana
2. Energiakasvien viljelykokeilu turvesuoalueilla ja saatavan bioenergian soveltuvuus eri käyttökohteisiin
3. Biomassan tuotanto pelloilla ja soilla sekä käyttö energian tuotantoon

4. Peltokasvien eri osien erottelu- ja lajittelutekniikoiden kehittäminen
5. Upgraded fuel from reed canary grass (EU-AIR- ohjelmaan kuuluva kansainvälinen hanke.)

Näitä hankkeita tuki monin tavoin myös MMM:n rahoittama agrokuituprojekti, jossa on selvitetty agrokuitujen, erityisesti ruokohelpin, soveltuvuutta sellun ja paperin valmistukseen. Hankkeen loppuraportit julkaistiin toukuussa 1996.

Useimmat hankkeet päättyivät vuonna 1996 tai ovat loppuraportointivaiheessa. Demonstraatiohankkeet jatkuvat. Vuonna 1997 ei ole käynnissä tutkimushankkeita, koska anomuksia ei tullut.

## 5 JULKAISU- JA TIEDOTUSTOIMINTA

Tutkimusohjelman vuosiseminaari pidettiin 16.-17.4.1996 Jyväskylässä. Osallistujia oli kaikkiaan 215. Vuosiseminaarissa jaettiin Bioenergian tutkimusohjelman ensimmäiset tutkijapalkinnot. Ns. Bioenergian Oskarin vastaanottivat seuraavat bioenergia-alan tutkijat ja kehittäjät:

- Antti Asikainen, Joensuun yliopisto (puupolttoaineiden tuotanto)
- Veli Seppänen, VTT Energia (puupolttoaineiden tuotanto)
- Veli-Juhani Aho, VTT Energia (turvetuotanto)
- Kai Sipilä, VTT Energia (biomassan jalostus)
- Osmo Kaulamo Engineering Oy (käyttöteknologia)
- Hooli Oy (pk-yritys, urakoitsija)
- Metsäenergia MetEr Ky (pk-yritys, urakoitsija)
- Työtehoseura (organisaatiopalkinto).

Tutkimusohjelman kolmiosainen vuosikirja julkaistiin ohjelman sarjassa. Lisäksi tutkimusprojektien tuloksia on julkaistu METLAn, Työtehoseuran, VTT:n ja Metsätehon julkaisusarjoissa.

Tutkimusohjelman tiedotuslehdessä ilmestyi vuonna 1996 kolme numeroa, joista yksi oli ohjelman ensimmäinen englanninkielinen lehti. Lehti välittää käytännönläheisesti ohjelman tuloksia ja tietoa valmistuneista raporteista. Lehden levikki on kaksinkertaistunut laajan kysynnän vuoksi. Tutkimusohjelman tuloksia esiteltiin useissa näyttelyissä ja konferensseissa, joista tär-

keimmät olivat: Elmia Energy Ruotsissa, Karjalan Metsämessut ja 1. Energy from Biomass Kööpenhaminassa. Euroopan 9. Bioenergiakonferenssissa ohjelmasta oli 3 esitystä.

Tutkimusohjelma on tuottanut kattavat www-sivut ohjelman esittelyyn Internetissä sekä suomeksi että englanniksi. Sivujen erikoisuutena on Intranet-osuus, jonka kautta tutkimusprojektien edistymis- ja talousraportointi tapahtuu. Ohjelman kotisivu kertoo Bioenergian tutkimusohjelman pääkohdat tiivistetysti sekä yhteyshenkilöt, päätutkimusalueet ja organisaation. Esittelyosiossa on tarkempaa tietoa päätutkimusalueista, budjetista ja itse ohjelman sisällöstä. Projektilistat ja julkaisuluettelo saatavilla olevista julkaisuista ja raporteista, ilmoitustaulu ja linkkejä yhteistyötahoihin on myös sivuilla. Ohjelman tiedotuslehdet ovat saatavilla myös sähköisessä muodossa.

## 6 TULOSTEN VAIKUTTAVUUS

### 6.1 TEOLLINEN RELEVANSSI

Teollisuuden mielenkiinto ja rahoitus ohjelman hankkeisiin yllätti positiivisesti johtoryhmän ohjelman käynnistyessä. Ilmeisesti ohjelmalla oli selkeä tilaus ja rahoitusta odottavia ideoita ja jopa lähes valmiita demonstraatioajatuksia oli olemassa. Mielenkiinto on jatkunut edelleen siitäkin huolimatta, että erityisesti metsäkoneita valmistavien yritysten markkinatilanne on parantunut ohjelman käynnistymisen jälkeen oleellisesti.

Ohjelman käynnistyessä epäuskoa ohjelman tavoitteiden realistisuuteen esiintyi kuitenkin metsäteollisuudessa ja osin energiayhtiöissäkin. Tämä ilmeni näiden tahojen mielenkiinnon hitaana heräämisenä ohjelmaa kohtaan. Tilanne on selkeästi parantunut ja usko puun mahdollisuuksiin suuren mitan, riittävän edullisena polttoaineena on lisääntynyt.

Ohjelmatoiminnan hyöty yrityksille korostuu erityisesti pk-yritysten yrityshankkeissa. Nämä yritykset ovat tuoneet ohjelman piiriin yritystensä kannalta tärkeimmät kehityshankkeensa. Kun tällaisten yritysten oma tuotekehitystoiminta ei välttämättä ylitä ns. kriittistä massaa, tarjoaa ohjelmakäytäntö tutkimuslaitosten tarjoaman asiantuntemuksen ja verkottumisen kautta yrityksille selvää lisäarvoa. Nämä yritykset korostavat ohjelmakäytännön hyötyjä ja pitävät siinä olevia hankkeita kannaltaan erittäin tärkeitä.

Suuryritysten mahdollisuus käyttää omaa kehitysorganisaatiotaan ja linkittyä muutakin kautta tutkimuslaitoksiin on usein johtanut siihen, että ohjelmassa olevia hankkeita ja ohjelmakäytäntöä ei nähdä niin tärkeänä kuin pk-yrityksissä.

Erityisenä piirteenä Bioenergian tutkimusohjelmassa on aivan uuden ryhmän, urakoitsijoiden mukaantulo hankkeisiin. Urakoitsijoiden kehitystyö erityisesti puupolttoaineen tuotannon puolella on merkittävä.

Bioenergian tutkimusohjelmassa oli vuonna 1996 kaikkiaan 19 yrityshanketta ja lisäksi 16 demonstraatiohanketta eli tutkimustulosten kaupallistaminen etenee suunnitellulla tavalla.

Turvetuotannon tutkimusalueen tavoitteena on 20 % tuotantokustannusten aleneminen. Tavoite on tämän hetken tutkimustulosten valossa mahdollista saavuttaa mikäli osatavoitteet saavutetaan. Nykyisellä turvetuotantomäärällä 20 %:n aleneminen tarkoittaisi 57 milj. markan vuotuista säästöä tuotantokustannuksissa. Ohjelmassa kehitettyjä koneita ja laitteita on rakennettu useita ja ne ovat olleet tuotantokäytössä. Energiaturpeen tuotannon työllistävä vaikutus vuonna 1994 oli noin 3000 htv.

Mikäli tutkimusohjelman tavoitteet saavutetaan kuten näyttää olevan mahdollista, täyttyy myös biopolttoaineiden kilpailukykytavoite. Kilpailukykyisillä biopolttoaineilla on puolestaan mahdollisuus päästä valtioneuvoston asettamaan käytön lisäämistavoitteeseen. Kotimaisilla biopolttoaineilla voidaan osittain korvata tuontia. Puupolttoaineiden tuotannon 1 milj. toe:n käyttömäärä vastaa Suomessa vuoden 1992 tilanteeseen verrattuna 165 milj. markkaa. Polttoaineen tuotannon liiketoimintana 1 milj. toe vastaa 500 milj. mk vuosittain. Mikäli kaikki tuotettaisiin esim. palstahaketusmenetelmällä, merkitsisi määrä 440 milj. markan hakkurimarkkinoita.

Kehitystyön tuloksensa on aikaansaatu uusia koneita ja laitteita kotimaan markkinoille, mutta joilla on myös merkittäviä vientimahdollisuuksia.

## 6.2 TEKNOLOGISEN TASON PARANEMINEN

Taulukossa 5 on esitetty teknologisen tason parantamiseen liittyvät asiat kunkin tutkimusalueen osalta. Lisäksi tulokset on ryhmitelty tasoihin tieto, teknologia, pienlaitteet ja menetelmät. Myös hankkeiden vaihe (kehitystyö, demonstraatio, kaupallinen) on esitetty.

*Taulukko 5. Teknologisen tason paraneminen.*

| PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tieto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Teknologia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Pienlaitteet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Menetelmät                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• päätehakkuun työtavat</li> <li>• ensiharvennusmänty ja -kuusi: biomassataseet, ominaisuudet</li> <li>• ketjukarsinta-kuorinnan perusteet</li> <li>• tiivistyksen perusteet</li> <li>• hakkeen erotusominaisuudet</li> <li>• pneumaattinen siirto</li> <li>• pientuotannon kustannuslaskentamalli, perusteet/kehitystyö</li> <li>• pilkkeiden mittaus ja laatu, perusteet</li> <li>• lämpöyrittäjyyden toimintatavat, perusteet, demo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• palstahakkuri (Chipset), kaupallinen</li> <li>• monitoimihakkuriauto (Moha), demo</li> <li>• integroitu energiapuun tuotanto (Hooli), demo</li> <li>• mobiilihakkuri (Lahti), demo</li> <li>• hienohakehakkuri, kehitystyö</li> <li>• niputustekniikka, kehitystyö</li> <li>• joukkokäsittely, demo</li> <li>• yhdistelmäkon, demo</li> <li>• harvesterin oksaohjain, kehitystyö</li> <li>• puupolttoaineen ohjausjärj., kaupallinen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• häkkikuljetusjärjestelmä, kehitystyö</li> <li>• maataloustraktoriin perustuva hake- ja pilkontatekniikka, kaupallinen</li> <li>• pilkeprosessorointiin ja -harvesteriin perustuvat tuotantojärjestelmät, kehitystyö</li> <li>• pilkkeiden jakelu- ja markkinointijärjestelmät, kaupallinen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• monitoimihakkuri (Moha), demo</li> <li>• hakeharvesteri (Chipset), kaupallinen</li> <li>• kokopuujuonto, kehitystyö</li> <li>• konttikuljetushakkuri (JPöyry), kehitystyö</li> <li>• palahake, kehitystyö</li> <li>• integroitu energiapuun tuotantomenet. (Hooli), demo</li> <li>• ketjukarsintapienrumpu, demo</li> <li>• Massahake, demo</li> <li>• hienohake-pneuma, kehitystyö</li> </ul> |

| TURVETUOTANTO                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tieto                                                                                                                                                      | Teknologia                                                                                                                                                                                                      | Menetelmät                                                                                                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• kuivuminen</li> <li>• uudet materiaalit</li> <li>• salaojitus</li> <li>• hakkeen käyttö auman peittona</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• kevyt koneketju: <ul style="list-style-type: none"> <li>- muovijyrsin</li> <li>- kuormaaaja</li> <li>- kokoojavaunu</li> </ul> </li> <li>• viivotinkarheeja</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarkkaturve, demo</li> <li>• Tehomenetelmä, kaupallinen</li> <li>• Siirtopalamenetelmä, demo</li> <li>• Compeat-menetelmä, kehitystyö</li> <li>• Hakeauman peitto</li> </ul> |

| BIONERGIAN KÄYTTÖ                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tieto                                                                                                                                                                    | Teknologia                                                                                                                                                                                                              | Menetelmät                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• kuivumisen perusteet</li> <li>• kuivumismalli</li> <li>• tulisijapolton perusteet</li> <li>• katalyyttinen puhdistus</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• syöttölaite (IVO), demovalmius</li> <li>• syöttölaite (FW), demovalmius</li> <li>• kuivuri (IVO), demo</li> <li>• kuivuri (FW), demovalmius</li> <li>• poltin, demo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hakeyrittäjyys, kaupallinen</li> <li>• supersellu, demovalmius</li> </ul> |

| BIOMASSAN JALOSTUS                                                                                                                                                             |            |                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Tieto                                                                                                                                                                          | Teknologia | Menetelmät                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• pyrolyysiöljyn ominaisuudet</li> <li>• pyrolyysiöljyn palamisominaisuudet</li> <li>• pyrolyysiöljyn dieselkäytön perusteet</li> </ul> |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ITP-menetelmän kehitystyö</li> </ul> |

| PELTOENERGIA                                                                                                                             |            |                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tieto                                                                                                                                    | Teknologia | Menetelmät                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• ruokohelpin ominaisuudet</li> <li>• rypsin dieselominaisuudet</li> <li>• fraktiointi</li> </ul> |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ruokohelpin kasvatus ja korjuu, demo</li> </ul> |

## 7 NÄKYMÄT VUODELLE 1997

Ohjelman tavoite, sisältö ja sen painotukset vastaavat hyvin suomalaisen elinkeinoelämän ja yhteiskunnan tarpeita. Ne palvelevat myös niitä päämääriä, jotka ovat voimassa Suomessa energiapoliittisina tavoitteina kuten energiantuotannon ympäristöystävällisyys, turvallisuus ja monipuolisuus. Ohjelman perusteet ovat edelleen voimassa ja vahvistumassakin.

Turpeen ja puun energiankäyttö on ollut nousussa koko ohjelman käynnissäolon ajan. Turpeen osalta syynä tähän ovat olleet ainakin osin tutkimustoiminnalla saavutettu turpeen hyvä kilpailukyky. Puun osalta taas pitkälti metsäteollisuuden korkea käyntiaste ja yleisemmin puun hyvä imago kotimaisena ja ympäristöä säästävänä polttoaineena on lisännyt käyttöä. Ohjelman painopisteinä olevat uudet metsäpolttoainetuotteet olivat vuonna 1996 jo kasvaneet 0,5 TWh.

Metsäteollisuuden markkinatilanne on muuttunut ohjelman aikana. Tämä, samoin kuin metsien ympärillä käyty suojelukeskustelu, ovat jättäneet takalalle puheet hakkuusäästöistä. Ohjelman alussa kehittämisen painopisteeksi valitut aines- ja energiapuun integroidut tuotantomenetelmät ovat osoittautuneet tässä uudessakin tilanteessa oikeaksi valinnaksi. Integroidut menetelmät tarjoavat energiaksi sitä osaa puusta, joka ei kelpaa raaka-aineeksi ja pääsääntöisesti menetelmät vielä lisäävät ainespuuksi saatavan raaka-aineen määrää.

Ohjelma on luonteeltaan varsin soveltava ja tuotekehityspainotteinen. Sellaisena se on tarkoitus pitää unohtamatta kuitenkin tutkimuksellisuutta.

Biomassan peltoviljelyn tutkimusprojektit ovat päättymässä. Ohjelmaan ei tullut uusia esityksiä vuodelle 1997. Peltobiomassan tuotantoa kehitetään ohjelman loppuvuosina yritys- ja demonstraatioprojekteissa.

Kun TEKESin rahoitusleikkaus nyt näyttää menneen ohi, niin mahdollisuudet ohjelman tavoitteiden saavuttamiseksi ovat olemassa.

# PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka - TUTKIMUSALUEEN KATSAUS

Antti Korpilahti  
Metsäteho Oy  
PL 194  
00131 Helsinki

Puh. (09) 132 521  
Fax (09) 659 202  
antti.korpilahti@metsateho.fi

## **Abstract: Production of wood derived fuels**

The research and development work was very active on the area of wood derived fuels during the past year 1996. Totally some 40 projects were going on, and till the end of the year about 15 projects were completed. The projects broadly covered the research area focusing from material flows, productivity studies, basic wood properties to several case studies. When new production methods and machinery was introduced earlier by demonstration projects, now they were investigated by follow up projects. The economical and quality results of logging residue harvesting and comminution seem quite satisfactory, but integrated methods and production chains still need research and development.

## **1 PROJEKTIT VUONNA 1996**

Puupolttoaineiden tuotannon tutkimusalueella oli vuonna 1996 ennätysmäärä, yli 40 projektia käynnissä. Aiemmiltä vuosilta jatkuneista projekteista kymmenkunta päättyi vuoden alkupuolella, joten koko vuoden aktiivisia tai vuoden kuluessa käynnistyneitä hankkeita oli noin 30. Projektien aiheet kattoivat hyvin koko puupolttoaineiden tuotannon alueen.

Runsain ja välittömimmin käyttöön otettava energiapuuvara on uudistushakkuiden hakkuutähde. Noin kymmenessä projektissa tutkimus- ja kehitystyötä tehtiinkin hakkuutähdehakkeen tuotantoketjun tai sen jonkin osan tuottavuus-

den parantamiseksi. Uudet hakkuutähdehakkeen tuotantoyksiköt olivat täys-tehoisessa tuotantokäytössä.

Energiapuun ja teollisuuden ainespuun hankinnassa harvennuksista painoa ollaan siirtämässä nimen omaan energiapuunäkökohtiin, kun TEKES käynnisti erillisen teollisuuden ainespuun hankintaan ja käsittelyyn painottuvan harvennuspuun jalostusketjun kehittämisohjelman. Energiapuun talteenoton kehittäminen ensiharvennuksista ja muista nuorten metsien hoitohakkuista on metsänhoidollisia tavoitteita tukevana tärkeää. Painoalueita ovat hakkuun koneellistaminen ja yleensäkin korjuuvaihe, sekä toisaalta ainespuun ja energiajakeen erottelu tehdaskäsittelyssä.

Metsänomistajien kaluston ja oman työn hyödyntämistä tukeva tutkimus- ja kehittämistoiminta on ollut Työtehoseura ry:n bioenergiaprojekteissa huomattavalla sijalla. Isännänlinjan menetelmät kattavat sekä pienikokoisen puun korjuuta että hakkuutähteiden talteenottoa. Niitä molempia on tutkittu käytännön kokein. Lämpöyrittämisen perusteita, toimintatapaa ja kannattavuutta on selvitetty edelleen.

Kun tutkimusohjelman alkuvuosina voitiin seurata puupolttoaineen käyttöönnottoa Mikkelin alueella PUUHA-projektin ansiosta, nyt myös huomattavan laaja Keski-Suomen Metsäenergia -projekti alkaa tuottaa tulosta. Projektin toteutusalueella olevat kymmenen lämpö- ja lämpövoimalaitosta käyttivät vuoden 1995 aikana noin 26 000 MWh:n verran metsähaketta. Määrä vastaa noin 34 000 hakekuutiota. Tänä vuonna metsäenergian käyttö nousee 73 000 MWh:iin, eli lähestyy 100 000 hakekuutiota. Laitosten kapasiteettiin nähden metsäenergian käyttömäärä on vielä vähäinen vastaten yhden autohakkurin vuosisuoritetta.

## 2 HAKKUUTÄHDEHAKKEEN TUOTTAMINEN

Hakkuutähdehakkeen tuottamiseen on nyt vakiintunut kolme tuotantoketjua. Tavanomaisin on hakkuutähteen keruu ja varastointi tien varteen, jossa tähteet haketetaan erillisellä hakkurilla kuljetusajoneuvoon. Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahti kehitti tähän tuotantotapaan ja nimen omaan hakkuutähteelle hyvin soveltuvan suuritehoisen autohakkurin. Seurantatutkimuksessa hakkuutähteen haketuksen keskimääräinen tuottavuus oli käytännössä 40 - 45 hake-m<sup>3</sup> käyttötunnissa.

Hakkuutähteiden keräystä ja varastoinnin vaatimuksia voidaan huomattavasti helpottaa, kun haketus ja kuljetus tehdään Metsäenergia MetEr Ky:n maastokelpoisella MOHA-SISU -hakkuriautolla. MOHA on ollut tuotantokäytössä puolitoista vuotta, ja se on täyttänyt ne odotukset, joita yksikön rakentaja ja käyttäjä tältä logistiikalta odotti. Tuotettu hake on osoittautunut laadultaan hyväksi myös pienen kokoluokan käyttäjille. MOHA:sta ei ole tehty seuranta-tutkimusta, mutta voidaan arvioida, että nykyisessä toimintaympäristössään ja olosuhteissa se on erittäin kilpailukykyinen.

Oy Logset Ab:n valmistama CHIPSET-palstahakkuri puolestaan yhdistää haketuksen ja metsäkuljetuksen. Seurantatutkimuksessa palstahaketuksen tuottavuus oli 15 - 16 hake-m<sup>3</sup> käyttötunnissa. Koska kaukokuljetus perustuu siirtolavojen käyttöön, palstahaketuksessa ei juurikaan esiinny ylimääräisiä odotusaikoja, vaan tuottavuus riippuu kaluston ominaisuuksista ja metsäkuljetuksesta. CHIPSET -palstahakkureita on nyt Suomessa käytössä neljä, samoin Ruotsissa.

Tutkimuksia hakkuutähteiden talteenotosta kokopuujuontomenetelmällä on jatkettu. Kokopuujuontoon hyvin soveltuvia kohteita arvioidaan olevan Keski-Suomessa potentiaalisella alueella 10 - 15 % koneellisesti korjattavasta puumäärästä, ellei korjuuajankohta aiheuta lisärajoituksia. Kuormatraktorin rakenteiden väsymiskestoisän muutos arvioidaan kokopuujuonnon vähäisen osuuden vuoksi merkityksettömäksi.

Biowatti Oy on teettänyt kokeiluja hakkuukoneen lisälaitteilla oksien ohjaimiseksi taakanomaisiin kasoihin latvan yhteyteen. Hakkuutähteen parempi kasautuminen lisäisi kuormausvaiheen ja hakkuriin syötönkin tuottavuutta. Oulun yliopiston konetekniikan osasto puolestaan tutkii ja kehittää hakkuutähdehakkurin syöttölaitteita. Hakkuutähteiden kuljetustehokkuuteen saadaan jatkossa lisää tietoa, kun VTT Energia saa käyntiin kuorman tiivistymistutkimukset erityisellä tutkimusvaunulla. Hakkuutähteiden ja polttihakkeen varastointia on tutkittu metsäntutkimuslaitoksen projektissa. Tähänastisten tulosten mukaan hakkuutähdeauomojen peittäminen ruotsalaiseen tapaan suojapaperilla ei näytä kannattavalta. Työteho-seura aloitti tarkasteluvuonna uutena aiheena kokeilut hakkuutähteen korjuusta metsävarusteisella maataloustraktorilla.

### 3 PIENIKOKOISEN PUUN KORJUU JA KÄYTTÖ

Ensiharvennuspuun hyödyntämisessä noin puolet tuotantokustannuksista aiheutuu korjuuvaiheesta. Teollisuuden ainespuun hankinnassa on tavoiteltu kustannussäästöä joukkohakkuun ja yhdistetyn hakkuun ja metsäkuljetuksen kautta. Karsimattoman osapuun ja kokopuuhakkeen tuotantoketjuja on tutkittu ja kokeiltu lähinnä bioenergian tutkimusohjelman päämääristä lähtien.

Ensiharvennuspuun integroitu korjuu voi tulla kyseeseen myös metsäteollisuuden toimintaympäristössä, sillä hankinta-alueittaisessa tarkastelussa ainespuun hankintakustannus säilyi lähes vakiona kun osapuun hankintamääriä muutettiin. Kun ensiharvennuspuun hankintaa eriytettiin osapuumenetelmille, karsittuina puutavaralajeina hankittavaksi jäävien kohteiden keskimääräiset korjuuolot muodostuivat aiempaa paremmiksi. Ensiharvennuspuun integroitu tuotanto olisi välittömästi toteutettavissa rumpukuorimoilla osavirtana karsitun kuitupuun kanssa. Muita mahdollisia vaihtoehtoja ovat ketjukarsinta-rumpukuorintalaitokseen ja massahakelaitokseen perustuvat tuotantoketjut.

Karsimattoman puun laajamittainen hyödyntäminen edellyttää korjuuvaiheen koneellistamista. Korjuuvaiheen menetelmä- ja laitekehittämistä sisältäviä projekteja on käynnissä muutamia. Myös kokopuun hyödyntämisen perusteiden tutkiminen on sisällytetty suurella painolla bioenergian tutkimusohjelmaan.

### 4 KETJUKARSINTAMENETELMÄ

Ketjukarsintaan perustuva puupolttoaineen ja teollisuuden ainespuun integroitu tuotanto alkoi Pertti Szepaniak Oy:n siirrettävällä Peterson Pasific -ketjukarsintakuorinta-hakkurilla. Yksikkö on ollut käyttöönotosta 1991/1992 lähtien koko ajan tuotantokäytössä ja sillä on tuotettu noin 500 000 kiintokuutiota selluhaketta. Energiajaetta on hyödynnetty erillisen murskauksen jälkeen tehtailla energiantuotannossa ja Vapo on sitä kokeillut turveaumojen katteena.

Imatralle Enso Oy:n Kaukopään tehtaiden yhteyteen rakennettua Pertti Szepaniak Oy:n ketjukarsinta-rumpukuorintalaitosta on ajettu vajaa vuosi. Ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan yhdistämisellä parannetaan käsittelyn tuottavuutta ja pystytään säätämään kuorintatulos. Hyvään tulokseen pääsemiseksi käyttölaitteistot on varustettava säädöillä ja etsittävä kullekin raaka-aineelle ja olosuhteelle sopivat ajoarvot. Kapasiteettikokeiden perusteella nykyisellä laitoksella voitaisiin tuottaa noin 60 m<sup>3</sup> mäntyselluhaketta tunnissa.

Hooli Oy:n kuorma-autoalustaista ketjukarsijaa on kokeiltu ja tutkittu. Laitteella on kokeissa päästy tyydyttäviin tuloksiin, mutta teknistä kehittämistä aiotaan jatkaa käytettävyyden ja tuottavuuden parantamiseksi. Nykyisessä puunhankintatilanteessa ketjukarsijaa ei ole voitu ottaa tuotantokäyttöön.

VTT Energia tutkii ketjukarsinnan ja harjaustekniikan perusilmiöitä koelaitteistollaan. Koeajojen ohella tarkasteluvuonna on kehitetty tutkimusmetodiikka ja aineiston analysointia. Valmius suunniteltujen koesarjojen toteuttamiseksi alkaa olla saavutettuna.

## 5 MASSAHAKEMENETELMÄ

Pohjois-Satakunnan Massahakelaitos Oy on prosessoinut pääosin osapuukoi-vua. Seurantaprojektissa on analysoitu tuotantoprosessia ja selluhakkeen ominaisuuksia. Hakkeen palakokojakaumaa pystytään melko hyvin muuntamaan halutun tavoitteen mukaiseksi. Jonkinlaisia ongelmia on ollut kuoripitoisuuden ja jauhinkäsittelystä johtuvan puuainehävikin kanssa. Niihin on etsitty ratkaisua laitteistomuutoksin.

Massahakemenetelmän teknistä kehittämistä on selvitetty myös Jyväskylän Teknologiakeskus Oy:n projektissa. Kun prosessiin lisätään ketjukarsinta, niin jauhinkäsittely voitaneen jättää pois. Silloin hakkeen kuoripitoisuus vähenee ja saanto paranee. Lisäksi hakkeen paksuusseulonnalla ja prosessin muulla säädöllä selluhakkeen laatua voidaan hallita aiempaa paremmin.

Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen soveltavan kemian osastolla tutkitaan ensiharvennuspuun massateknisiä ja kemiallisia ominaisuuksia sekä optisen lajittelun perusteita. Näillä perustiedoilla on soveltamispotentiaalia ensiharvennuspuun ohjauksessa teolliseen ja energiakäyttöön.

## 6 PUUVARA- JA KUSTANNUSLASKELMAT

Metsätalouden Kehittämiskeskus Tapion kehittämä alueellisten energiapuuvarojen laskentamenetelmä ja -ohjelmisto on käyttövalmis. Ohjelmisto on merkittävin energiapuuvarojen laskentaohjelmisto, koska se hyödyntää kuvioit-taisia metsäsuunnitelmätietoja ja tuotantokustannusten laskennassa paikkatietoja kuljetusetäisyyksineen. Sen käyttötilanteita ovat esimerkiksi kunnittaisten ja käyttöpaikoittaisten puupolttoainekertymien laskenta.

Metsäntutkimuslaitoksen projektissa Potentiaaliset hakkuumahdollisuudet ja energiapuuvarat Etelä-Suomessa on laskettu valtakunnan metsien inventoinnin koealatietojen perusteella energiapuukertymiä erilaisille hakkuuvaihtoehtoillem ja energiapuun hinnalle. Tarkastelun on tehty suuralueittain, metsäkeskuksittain. Tarkasteluun sisältyy metsänkasvatuksen aikatekijä; tulokset on laskettu 40 vuoden ajalle 10-vuotiskausittain.

VTT Energian vetämässä projektissa Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto toteutettiin ohjelmisto, jolla voidaan tuottaa leimikoittain vaihtoehtoisten tuotantoketjujen kustannukset ja työmäärät. Integroidun tuotannon osalta kustannukset jaetaan ainespuulle ja energijakeelle. Ohjelmisto on tietokantarakenne sisältäen paikkatietotekniikka.

Useissa muissakin projekteissa on laadittu energiapuun hankinnan laskentaohjelmia. Niitä on tarvittu ko. projektien tulosten laskemiseksi, mutta niitä voidaan hyödyntää muissakin yhteyksissä erilaisten case- ja tuotantoketjutarkastelujen tuottamiseksi. Mm. ketjukarsinnan toimintaympäristöön on laskenta-sovellus, samoin palstahaketusketjun tarkasteluun.

## 7 TUTKIMUSTARPEITA

Uusien tuotantomenetelmien ja laitteiden seurantatutkimukset tulevat valottamaan näiden menetelmien kilpailukykyä ja soveltamispotentiaalia. Hakkuutähdepolttoaineen osalta vielä lähes kokeilemattomia vaihtoehtoja ovat käytöpaikallahaketus ja vasaramurskainten kilpailukyky ja niillä tuotetun murskeen soveltuminen lämpölaitoksille.

Ensiharvennuspuun integroidun tuotannon osalta tarvitaan vielä tuotantotekniikan kehittämistä puunhankinnan osalta ja teknistä kehittämistä käsitteilyprosessien säätämiseksi. Puuaineeseen kohdistuvasta perustutkimuksesta saataneen uutta tietoa ja valmiuksia käytännön sovelluksiin.

## PUUPOLTTOAINEEN PIENTUOTANTO JA -KÄYTTÖ - KATSAUS TUTKIMUSPROJEKTEIHIN

Seppo Tuomi  
Työtehoseura  
PL 13  
05201 Rajamäki

Puh. (09) 29041200  
Fax (09) 2904 1285  
seppo.tuomi@tts.fi

### **Abstract: Small-scale production and utilisation of fuelwood - Review of research projects**

The goal in the small-scale production of wood fuels in the context of the Bioenergy research programme is to reduce production costs by 20% when compared to the 1992 cost level. Also, new harvesting technology and new work methods will be developed for forest owners and small-entrepreneurs in the course of the research programme. The goal of the research work will be to improve the competitiveness of harvesting machines, devices and work chains when dealing with small-diameter trees and logging residues. The aim in the development of measuring methods and quality requirements for purchased fuelwood is to eliminate obstacles resulting from the ambiguities in the measuring and quality of fuelwood.

The objective of the fuelwood utilisation research is to eliminate technical obstacles and to develop new action models for organising energy generation in the categories of building-specific and district heating. Also, marketing of the new action models to potential entrepreneurs and heating energy purchasers is an important part of the work. The main objective of the work on the development of fireplaces is to reduce fluegas emissions. The main subject of development of heating equipment designed for buildings is stoker burners for wet fuels.

## 1 JOHDANTO

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksen mukaan polttopuuta käyttäviä pientaloja oli lämmityskaudella 1992/93 noin miljoona ja niiden polttopuun käyttö 5,6 milj. m<sup>3</sup>. Se on valtaosa Suomen polttopuun käytöstä, kun metsäteollisuuden jäteliemet ja kuoren poltto jätetään huomioon ottamatta.

Polttopuun pienkäyttöä on mahdollista huomattavasti lisätä. Tehostamalla pientalojen noin miljoonan tulisijan lämmitystä, puun käyttöä voidaan lisätä ainakin 2 milj. m<sup>3</sup>. Tuntuva lisäkäyttöpotentiaali on myös kaukolämpöverkon ulkopuolella olevissa julkisissa kiinteistöissä, joiden muuttamiseksi hakelämpöisiksi tarvitaan metsänomistajien omatoimisuuteen perustuvaa lämpöyrittäjyyttä.

Pientalojen lämmityksessä polttopuu on vaihtoehto kevyelle polttoöljylle ja sähkölle. Polttopuun tuotantokustannus saa siten olla huomattavasti suurempi kuin tutkimusohjelmassa suurlaitoksille asetettu tavoite 45 mk/MWh.

Metsänomistajien käytössä oleva puun korjuukalusto on hyvä lähtökohta energiapuun korjuun kehittämiseksi ja laajentamiseksi. Metsänomistajan tehtävät rajoittuvat useimmiten hakkuuseen ja metsäkuljetukseen, mutta työhön voi kuulua myös hakettaminen, kuljetus käyttöpaikalle ja jopa lämpölaitoksen toiminnasta vastaaminen. Metsänomistajien tekemä työpanos voi liittyä saumattomasti myös osaksi suurikäytön tuotantoketjua.

Metsänhoidollisesti tärkeä taimikonhoito ja nuorten metsien kunnostushakkuut tarjoavat tuntevan lisän puupolttoaineen tuotantoon. Uusien taimikonhoito-ohjeiden mukaisissa taimikoiden harvennuksissa poistettava puusto on aiempaa järeämpää ja biomassakertymä varsin suuri. Tällaisilla kohteilla voi tulla kysymykseen energiapuun talteenotto taimikonhoidon yhteydessä metsänomistajien omatoimisuuteen perustuen.

Puun pientuotanto- ja käyttösektorilla toimii Suomessa runsaasti pieniä yrityksiä. Piensektorin laitteiden vientipotentiaali on myös suuri. Bioenergian tutkimusohjelma on aktivoinut erityisesti pieniä yrityksiä kehitystyöhön, jolla tutkimustieto työtetään markkinakelpoisiksi tuotteiksi.

Edellytys tutkimustiedon vaikuttamiselle on tiedon saattaminen yritysten ohella myös tuotteiden ja tiedon loppukäyttäjille. Tämä on erityisen tärkeää pientuotannon ja -käytön sektorilla, jolla kohderymän koko on suuri. Ohjel-

massa tehty aktiivinen tiedotustyö lienee jo saanut aikaan polttopuun käytön lisääntymisen sekä pientaloissa että julkisissa kiinteistöissä.

## 2 PUUPOLTTOAINEEN PIENTUOTANTO

Tutkimusohjelman tavoitteena on alentaa puun pientuotannon kustannuksia 20 % vuoden 1992 kustannustasosta. Ohjelmassa kehitetään metsänomistajille ja pienyrittäjille uutta korjuutekniikkaa ja uusia työmenetelmiä. Työ kohdistuu pienpuustojen ja hakkuutähteiden korjuukoneiden, -laitteiden ja -työketjujen taloudellisuuden parantamiseen. Pilkkeen mittaus- ja laatuvaatimusten kehittämisellä pyritään poistamaan mittaus- ja laatuepäselvyyksistä johtuvat polttopuukaupan esteet.

Teknologian kehittämisen ansiosta lämmityspilkkeen (pituus- ja palakokovaihtelua sallitaan) tuotantokustannukset on jo saatu alennetuksi ohjelmassa asetettuun tavoitteeseen. Kustannustavoitteeseen päästään tuotantoketjulla, jossa pilkerangan hakkuu tehdään maataloustraktoriin kehitetyllä pienharvesterilla ja pilkonta syöttölaitteellisella pilkekoneella. Laadukkaan takkapilkkeen (pituus- ja palakovaihtelua ei sallita) korjuukustannukset ovat alentuneet vastaavasti noin 10 %.

Pienkäytössä yleisimmin käytetyn laadukkaan rankahakkeen korjuukustannukset ovat myös noin 10 % pienemmät kuin vuonna 1992. Kustannussäästö saadaan tuotantoketjussa, jossa rangat valmistetaan koneellisesti pienharvesterilla, mikä tehostaa myös rangan kuljetusta. Kokopuuhakkeen korjuussa puiden siirtelykaato, maataloustraktorin keräävä hakkuulaite ja säiliöhakkurilla metsässä tapahtuva haketus mahdollistavat 15 - 20 %:n kustannussäästön.

### 2.1 PIENPUUN KORJUU

#### 2.1.1 Hakkuulaitteiden kehittäminen

Kenttätutkimuksin arvioitiin maataloustraktorin hydraulikuormaimeen asennettavaa Naarva-Syke-hakkuulaitetta ensiharvennus- ja energiapuun hakkuussa. Hakkuulaitteella voidaan kaataa ja kasata pienikokoisia puita sekä valmistaa myös karsittua kuitupuuta. Laite mahdollistaa hakkuun koneellistamisen varsin pienellä pääomalla. Tutkitulla hakkuumenetelmällä tuottavuus on huomattavasti suurempi kuin vastaavalla periaatteella toimivien laitteiden aiemmissa kenttäkokeissa. Niin ikään kustannukset ovat manuaalista hakkuuta

pienemmät. Kenttätutkimukset muista vastaavan tyyppisistä hakkuulaitteista jatkuvat.

### **2.1.2 Hakkuutähteiden kuljetuksen kehittäminen**

Ohjelmassa selvitettiin maataloustraktorikaluston soveltuvuutta ja kehittämistarpeita hakkuutähteiden korjuussa. Selvityksen pohjalta käynnistettiin yritys-hanke hakkuutähteiden korjuun kannattavuuden parantamiseksi.

Päätehakkuukuusikoiden hakkuutähteen kasaaminen palstalle tai kuljettaminen tien varteen ovat luontevia työvaiheita metsänomistajille. Työ sopii erityisesti leimikoihin, jotka jäävät esim. kohteen pienuuden tai vähäisen kertymän vuoksi hakkuutähteen suurtuotannon ulkopuolelle. Omatoimisella hakkuutähteen korjuulla voidaan siten täydentää hakkeen suurtuotantoketjua.

Kenttäkokeiden mukaan puutavarakuormaimella ja teliperävaunulla varustettu nelivetotraktori soveltuu hakkuutähteiden kuljetukseen teknisesti tyydyttävästi helpohkossa maastossa. Peruskalustolla toimittaessa kuormauksen hitaus ja etenkin pieni kuormakoko tekevät menetelmästä suhteellisen tehottoman. Maataloustraktorin metsäperävaunujen kantavuuden rajoissa kuormatila voidaan hyvin kaksinkertaistaa.

Puutavarakuormaimen ominaisuudet vaikuttavat tuottavuuteen. Suuri kuormaimen ulottuvuus vähentää kuormausajoa sekä mahdollistaa suurien kuormien tekemisen ja korkeat varastokasat. Puutavarakouran korvaaminen hakkuutähekouralla on välttämätöntä kuormaus- ja purkamistyön tehostamiseksi.

### **2.1.3 Ketjukarsintalaitteen kehittäminen**

Ohjelmassa tehtiin tuote- ja menetelmäkehitystä tukevia kenttäkokeita Eskon Paja Oy:n kehittämällä maataloustraktorin ketjukarsintalaitteella. Laite soveltuu pienpuuleimikoihin kuitupuun sekä hake- ja pilkerankojen valmistukseen. Parhaiten laite sopii kokopuumenetelmään liittyvään puun karsintaan varastopaikalla. Laitteella on mahdollista karsia pieniä puita myös nippuina.

Leppä- ja koivukokopuulla karsintajälki on melko hyvä. Myös puiden kuori rikoontuu karsittaessa, mikä parantaa rankojen kuivumista. Karsintatulos riippuu oleellisesti ketjujen pyörintänopeudesta. Tuore puu vaatii eri pyörintänopeuden kuin jäänyt. Samoin puulajilla on merkitystä.

Ohjelman yrityshankkeena ketjukarsintalaitteeseen kehitetään uusi ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmä tekee mahdolliseksi mm. karsitun puutavaran mittauksen. Uudella ohjausjärjestelmällä varustetun karsintalaitteversion toiminnot testataan kenttäkokein sekä kehitetään laitteelle soveltuvia työmenetelmiä vuonna 1997.

#### **2.1.4 Energiapuun korjuu taimikon harvennuksissa**

Ohjelmassa kokeiltiin siirtelykaatoa kaatokahvoilla varustetulla moottorisahalla varttuneen taimikon harvennuksessa osana energiapuun korjuuketjua. Siirtelykaatomenetelmä sopii metsänomistajien omatoimisuuteen perustuvaan pienpuun hakkuuseen ja mahdollistaa korjuuketjun loppupäässä sekä pienettä suurtuotannon menetelmien käytön.

Siirtelykaadolla päästiin taimikonhoitokohteissa varsin kohtuullisiin hakkuukustannuksiin, vaikka kertymä oli melko pieni ja se koostui pienistä rungoista. Menetelmä osoittautui kilpailukykyisemmäksi taimikon käsittelyssä kuin aiemmin ohjelmassa kokeiltu, kaatokouralla varustettu yhdistelmäkone. Siirtelykaatotyön laskennalliset kustannukset olivat 25,3 - 67,4 mk/m<sup>3</sup> eli noin 900 - 2800 mk/ha. Taimikonhoidosta saatavan energiapuun korjuun kustannuksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ylimääräinen pienpuusto on joka tapauksessa poistettava. Maahan kaato maksaa raivaussahatyönä 700 - 1700 mk/ha.

Siirtelykaato edellyttää hyvää kaato- ja siirtelytekniikkaa sekä huolellista työn suunnittelua. Parhaiten siirtelykaatoon soveltuvat rinnankorkeusläpimitaltaan 6 - 10 cm:n puut. Kaatokahvoilla varustetulla moottorisahalla työskentely mahdollistaa puun kaatumisliikkeen hyväksi käytön, mikä helpottaa puiden siirtelyä kasoihin. Kaatosahausta voidaan tehdä myös selkä suorana, mikä pienentää työn rasittavuutta.

### **2.2 PILKKEEN MITTA- JA LAATUVAATIMUSTEN KEHITTÄMINEN**

Ohjelmassa kehitetään pilkkeen määrän ja kosteuden mittaamenetelmiä sekä laatuksiteereitä tavoitteena poistaa mitta- ja laatu epäselvyyksistä johtuvat polttopuukaupan esteet.

Kenttäkokeilla täsmennettiin pilkkeen eri tilavuusyksiköiden välisiä muuntolukuja ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Irtotiiviyteen vaikuttavista tekijöistä pilkekoneen tyyppin, mittaustalteen koon ja kuormaustavan vaikutus pilkekasan

tiiviyteen on oletettua pienempi, mikä parantaa irtotavarana mittauksen käytökelpoisuutta käytännön pilkekaupassa.

Kenttäkokeiden mukaan tilavuuteen perustuva pilkemäärän mittausta näyttäisi sopivan käytännön pilkekauppaan massaan perustuvaa paremmin. Massa perustuvan menetelmän käytön esteenä on luotettavan, kenttäkäyttöön soveltuvan pilkkeen kosteusmittarin puute. Sahatavaran kosteuden mittaukseen suunnitellut mittarit soveltuvat kuivan pilkkeen kosteuden toteamiseen. Tuoreella pilkkeellä mittareiden luotettavuus on kuivaa pilkettä huonompi. Mittaustarkkuus riippuu mm. mittaustavasta ja mittaustavasta, joita on käytännön pilkekaupassa vaikeaa vakioida.

Toimintaperiaatteeltaan erilaisilla pilkekoneilla saadaan tehtyä pituudeltaan melko tasalaatuisia pilkettä, kun pilkonta tehdään huolellisesti. Sen sijaan tehokkaimmat, tuotantokustannuksiltaan halvinta pilkettä tekevät pilkekoneet jättävät pilkkeen katkaisupinnan rosoiseksi. Myös epätäydellisesti halenneiden pilkkeiden ja tikkujen määrä voi olla suurehko. Pilkkeen laatu ei välttämättä täytä takanlämmittäjän toiveita, mutta riittänee hyvin lämmityskattilaa käyttävälle.

Tutkimusohjelman ulkopuolisena yhteistyöhankkeena kehitettiin polttopuu-kauppaa varten laskentaohjelma. Ohjelmassa hyödynnetään pilkkeen mittaus- ja laatuprojektin tuloksia. Ohjelmalla voidaan laskea mm. polttopuuerän energiasisältö ja energiayksikön hinta puulajin, tavaralajin, kosteuden ja tilavuuden mittausyksikön mukaan. Ohjelmalla voidaan vertailla polttopuuerien eri pino- ja kasamuodostelmien välistä hintaa, mikä helpottaa polttopuukaupan tekoa.

Ohjelmasta on valmistunut ensimmäinen versio, jota edelleen kehitetään. Ohjelmasta on tavoitteena tehdä helppokäyttöinen työkalu sekä pilkeyrittäjän että pilkkeenostajan tarpeisiin. Ohjelma täydentää siten pilkkeen mittaus- ja laatuprojektissa laadittavaa opaskirjaa, jonka käsikirjoitus tehdään vuonna 1997.

Tutkimusohjelmassa kehitetään myös polttopuun pientuotannon kustannuslaskentaohjelmaa, jolla päästään laskemaan sekä pilke- että haketuotantoketjujen kustannuksia. Ohjelmaa kehitetään erityisesti neuvonta- ja koulutustarpeita varten.

### 3 PUUPOLTTOAINEEN PIENKÄYTTÖ

Puupolttoaineen pienkäytön tutkimuksen tavoitteena on poistaa teknisiä esteitä sekä kehittää uusia toimintamalleja lämpöhuollon organisoimiseksi kiinteistö- ja aluelämpökokoluokassa. Lämpöhuoltomallien kehittämisen ohella uusien toimintatapojen markkinointi potentiaalisille yrittäjille ja lämmönostajille on keskeinen osa työtä.

Tulisijojen kehittämisen päätavoite on savukaasupäästöjen vähentäminen. Kiinteistökokoluokan lämmityslaittekehitys painottuu kosteille polttoaineille soveltuvaan stokeripoltinteknologiaan.

#### 3.1 TULISIJOJEN KEHITTÄMINEN

Tutkimusohjelman ensimmäisellä kolmivuotiskaudella kehitettiin mm. katalyyttistä polttoa tulisijojen päästöjen vähentämiskeinona sekä selvitettiin polttoaineen laadun ja lämmittäjän merkitystä päästöjen synnyssä. Tulisijojen kehittämistyötä jatketaan uudessa kansainvälisessä yhteistyöprojektissa, jossa päästöjä vähennetään palamisen hallintaa parantamalla. Tavoitteena on laatia ohjeet hyvällä hyötysuhteella toimivan ja vähän päästöjä tuottavan tulisijan suunnittelun perusteiksi.

Suomen osalta projektissa tutkitaan tulisijojen palamiskäyttäytymistä eri tyyppisillä tulisijoilla. Markkinoilla olevilla laitteilla tehtävät kokeet tekevät mahdolliseksi koetulosten hyödyntämisen nopeasti tulisijojen kehittämistyössä. Toisaalta Suomessa tehtävä tutkimus muodostaa pohjan kansainväliselle yhteistyölle, joka korostuu jatkossa myös pienpolton tutkimuksessa.

Bioenergian tutkimusohjelmassa tehtävä tulisijojen kehittämistyö tukee TEKES:n tänä vuonna käynnistämää panospolton tutkimusohjelmaa. Ohjelmassa kehitetään matemaattisia malleja polttoaineen palamisesta, palamisen kemias- ta, kaasujen virtauksista ja lämmönsiirrosta. Mallien avulla selvitetään eri tulisijarakenteiden vaikutusta päästöjen muodostumiseen. Pääpaino on aluksi palamattomien kaasujen hallinnassa. Ohjelmassa paneudutaan myös typpioksidipäästöihin, joiden parempi hallinta myös pienkäytössä on tulevaisuudessa tärkeää, mikäli tulisijoilla pyritään vientimarkkinoille.

### 3.2 STOKERIPOLTON KEHITTÄMINEN

Ohjelmassa kehitettiin hakkeelle ja palaturpeelle soveltuva stokeripoltin ja bioenergiakattila, jotka demonstroitiin 500 kW:n laitoskoossa. Demonstroidun polttimen koeajojen perusteella poltinta kehitettiin edelleen tavoitteena polttoaineen kosteuden sietokyvyn nostaminen.

Ohjelmassa suunniteltiin ja rakennettiin vastavirtaperiaatteella toimiva 200 kW:n stokeripoltin, jossa hiilivyohykkeessä kehittyvä lämpö ohjataan syttymis- ja kuivumisrintamaa kohti. Tämä tehostaa polttoaineen kuivumista, mikä lisää syttymisrintaman etenemisnopeutta myötävirtapolttimeen verrattuna. Tavoitteena on, että poltin soveltuu polttoperiaatteen muutoksen johdosta 40 - 50 % kosteutta sisältävälle polttoaineelle, jolloin polttoaineen kuivatustarve vähenee ja tuotantokustannukset alenevat. Prototyypipolttimen toimintakokeet on käynnistetty ja saatetaan päätökseen vuonna 1997.

### 3.3 LÄMPÖYRITTÄJYYDEN KEHITTÄMINEN

Lämpöyrittäjyys on uusi lämmöntuotannon toimintamalli, jota ohjelmassa kehitetään. Toimintamallissa yrittäjä hankkii polttoaineen sekä hoitaa laitoksen lämmitys- ja valvontatyöt. Yrittäjä saa korvauksen tuotetun lämpömäärän perusteella. Tällä vältetään mm. polttoaineen energiasisältöön ja laatuun liittyvät määritysongelmat.

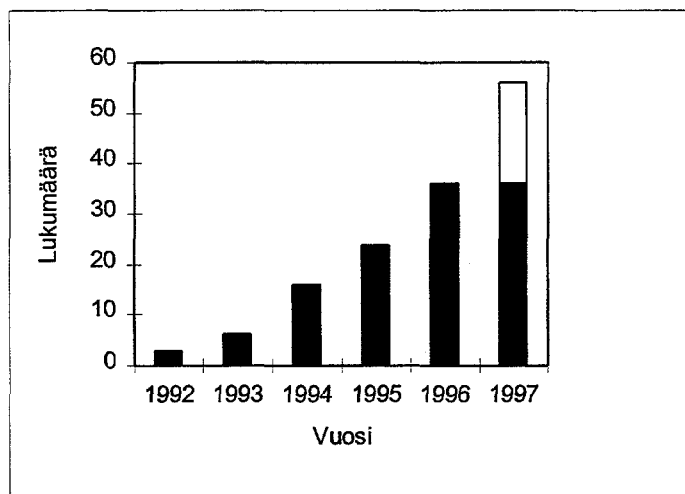
Lämmitettävien kohteiden ollessa pieniä, kuten kouluja, lämpöyrittäjyys voidaan toteuttaa hyvin muutaman metsänomistajan yrittäjärenkaalla. Suuremmissa kohteissa osuuskunta- ja osakeyhtiöpohjaiset toimintamallit näyttäisivät toimivilta ratkaisuilta.

Pienistä kiinteistölämmityskohteista (50 - 400 kW) kerätyn seuranta-aineiston mukaan lämpöyrittäjät saavat kohtuullisen palkan (40 - 77 mk/h) tekemälleen työlle, kun energiapuun korjuussa käytetään olemassa olevaa maataloustraktorikalustoa ja toiminta organisoidaan tehokkaaksi. Kilpailevista polttoaineista riippuen yrittäjille maksettu korvaus tuotetusta lämmöstä vaihteli pienissä kohteissa 92 - 204 mk/MWh.

Lämpöyrittäjyyden toimintamallien kehittämisen ohella mallin markkinointi potentiaalisille yrittäjille ja kunnille on keskeinen osa projektin tavoitteita. Toiminnalle on luonut hyvän perustan vuoden 1996 alussa julkistettu lämpöyrittäjäopas, joka nopeutti ohjelmassa saavutettujen tutkimustulosten käytäntöön vientiä.

Informaatiotoiminalla on saatu aktivoitua erityisesti kunnat ja alueelliset kehittämisorganisaatiot tekemään selvityksiä potentiaalisista lämpöyrittäjäkohteista ja muista toimintaedellytyksistä. Eri osiin maata on saatu käyntiin runsaasti alueellisia yhteistyöhankkeita lämpöyrittäjyyteen perustuvan lämmöntuotannon aloittamiseksi.

Bioenergian tutkimusohjelman käynnistyessä Suomessa oli toiminnassa kolme lämpöyrittäjyyden pieneerilaitosta (kuva 1). Vuoden 1996 lopussa toimivia kohteita oli 36, joiden yhteenlaskettu kpa-kattilateho oli 11,5 MW. Suunnitteilla oli noin 60 yrittäjäkohdetta, joista 20 käynnistyneenä vuonna 1997. Ohjelmassa vuonna 1993 aloitettu kehittämistyö lienee osaltaan lisännyt lämpöyrittäjyyteen perustuvaa lämmöntuotantoa.



Kuva 1. Lämpöyrittäjyyden yleistyminen Bioenergian tutkimusohjelman aikana. Vuoden 1997 kehitysarvio perustuu Työtehoseuran tekemään inventointiin.

Varsinkin kuntien ja muiden julkisten yhteisöjen omistamat, kaukolämpöverkon ulkopuoliset rakennukset tarjoavat mittavan potentiaalin uusille lämpöyrittäjille. Myös pienehköjen kaukolämpölaitosten lämmöntuotanto on mahdollista hoitaa puun käyttöön perustuvalla lämpöyrittäjyydellä. Asiakaskuntaa voivat olla myös yksityiset asunto-osakeyhtiöt.

## 4 YHTEENVETO

Tutkimusohjelman tavoitteena on alentaa puun pientuotannon kustannuksia 20 % vuoden 1992 kustannustasosta. Ohjelmassa kehitetään metsänomistajille ja pienyrittäjille uutta korjuutekniikkaa ja uusia työmenetelmiä. Työ kohdistuu pienpuustojen ja hakkuutähteiden korjuukoneiden, -laitteiden ja -työketjujen taloudellisuuden parantamiseen. Pilkkeen mittaus- ja laatuvaatimusten kehittämisellä pyritään poistamaan mittaus- ja laatu epäselvyyksistä johtuvat polttopuukaupan esteet.

Puupolttoaineen pienkäytön tutkimuksen tavoitteena on poistaa teknisiä esteitä sekä kehittää uusia toimintamalleja lämpöhuollon organisoimiseksi kiinteistö- ja aluelämpökokoluokassa. Lämpöhuoltomallien kehittämisen ohella uusien toimintatapojen markkinointi potentiaalisille yrittäjille ja lämmönostajille on keskeinen osa työtä. Tulisijojen kehittämisen päätavoite on savukaasupäästöjen vähentäminen. Kiinteistökokoluokan lämmityslaittekehitys painottuu kosteille polttoaineille soveltuvaan stokeripoltinteknologiaan.

## PUUN PIENTUOTANTO JA JAKELU



## METSÄNOMISTAJIEN ENERGIAPUUN KORJUUTEKNIIKAT - 130

Seppo Ryynänen  
Työtehoseura  
PL 13  
05201 Rajamäki

Markku Ihonen  
Työtehoseura  
PL 28  
00211 Helsinki

Puh. (09) 2904 1281  
Fax (09) 2904 1285  
seppo.ryynanen@tts.fi

(09) 2904 1429  
(09) 6922 084  
markku.ihonen@tts.fi

### **Abstract: Harvesting techniques for energy wood of forest owners**

The aim of the project is to develop harvesting techniques and methods for small-wood and logging residues, suitable for use by forest owners and small-scale entrepreneurs. Examples of such methods are piling of logging residues at site and forest transport with farm tractors. Hence, the operation is an integrated part of large-scale production chains of energy wood. The project is carried out by field experiments with new machines and methods and by work-studies at sites in practice. A cost-accounting model for firewood production prepared previously by the Work Efficiency Association will also be revised.

The work study of the harvesting method of first-thinning wood and energy wood based on the use of SykeNaarva logging equipment was carried out as part of chips supply to Perho Energy Co-operative. The productivity of logging was in practice significantly higher than in previous field tests with the prototype equipment. The costs were lower than in manual logging. Field experiments were also carried out with manual logging with a chainsaw equipped with felling grips (Reo-Tuote Ky). Operation experiments with a chain-limbing device for farm tractors (Eskon Paja Oy), related to product development, were also carried out. This device is suitable for use in small-wood stands for making pulp wood and chips and chopped wood stems. The experiments with the new equipment and with working methods suitable for it will be continued in 1997.

A literature study, specialist interviews and field experiments were carried out on the transports of logging residues with farm factors. A four-drive tractor equipped with a timber loader and a trailer is suited technically for this work. Productivity is reduced by slow loading and in particular by a small load size when operating with the basic fleet. The costs are reduced by small capital costs and by rapid transports between the sites. To improve the economy of harvesting logging residues, inexpensive technical solutions were studied for farm tractors in co-operation with engineering works. Work studies related to the transports of logging residues will be carried out at working sites in 1997.

## 1 TAUSTA

Metsänomistajien käytössä oleva puun korjuukalusto on hyvä lähtökohta energiapuun korjuun kehittämiseksi ja laajentamiseksi. Metsänomistajan tehtävät rajoittunevat useimmiten hakkuuseen ja/tai metsäkuljetukseen, mutta työhön voi kuulua myös hakettaminen, kuljetus käyttöpaikalle ja jopa lämpölaitoksen toiminnasta vastaaminen.

Puiden karsimisesta luopuminen parantaa korjuutyön tuottavuutta. Koneellinen korjuu on mahdollista myös maataloustraktorikalustolla. Markkinoille on useita työhön sopivia suhteellisen halpoja hakkuulaitteita. Työtehoseuran kenttäkokeissa vuosina 1993 - 95 laitteet osoittautuivat käyttökelpoisiksi. Useimmat olivat vielä koekoneen asteella ja kuljettajat laitteisiin ja karsimattoman puutavaran korjuuseen tottumattomia. Maataloustraktorin hakkuulaitteet mahdollistavat hakkuun koneellistamisen varsin pienellä pääomalla. Sopivissa kohteissa kaadetut puut voidaan kuormata suoraan traktorin perävauunuun.

Päätehakkuukuusikoiden hakkuutähte on edullisin metsähakkeen raaka-ainelähde. Metsänomistajat voivat osallistua metsähakkeen suurtuotantoon esim. kasata maataloustraktorikalustolla hakkuutähteet palstalle tai kuljettaa ne tienvarteen saakka. Työ voi kohdistua erityisesti sellaisiin leimikoihin, jotka jäisivät kohteen pienen, kertymän tai jonkin muun syyn takia hakkuutähteen suurtuotannon ulkopuolelle. Metsänomistajille hakkuutähteen korjuu on uusi työlaaji.

## 2 TAVOITE

Tutkimushankkeessa kehitetään metsänomistajille ja pienyrittäjille uutta korjuutekniikkaa ja uusia työmenetelmiä, jotka edistävät energiapuun kiinteistö- ja aluekäytön lisääntymistä. Työ kohdistuu pienpuustojen ja hakkuutähteiden korjuukoneiden, -laitteiden ja -työketjujen taloudellisuuden parantamiseen.

Työteho-seuran laatimaa polttopuun tuotannon kustannuslaskentamallia kehitetään tarkentamalla työntutkimuksin laskentaperusteita ja täydentämällä mallia uusilla energiapuun korjuuketjuilla, kehittämällä käytönohjausrakenteita ja tulosten tulkintaa helpottavia graafisia tarkasteluita. Tavoitteena on polttopuun tuotannon kustannuslaskentaohjelma mm. neuvonta- ja koulutusorganisaatioiden käyttöön.

## 3 TOTEUTUS

Tiivistä yhteistyötä energiapuun tuotannon kone- ja laitevalmistajien kanssa jatketaan. Lisäksi etsitään uusia yhteistyökumppaneita mm. keksijöitä. Kone- ja laitetekniikkaa edistetään kehittämiskeskusteluin ja kenttäkokein. Kenttätutkimuksiin kytketään myös projektin kuluessa kehiteltävät energiapuun korjuun kone- ja laiteinnovaatiot. Samoin osallistutaan Bioenergian tutkimusohjelman niihin yrityshankkeisiin, joissa kehitetään metsänomistajille ja pienyrittäjille soveltuvaa energiapuun tuotantoteknologiaa.

Keskeinen osa projektia ovat korjuumenetelmien tuottavuustutkimukset käytännön työmailla. Aineistojen keruussa ja laajuudessa pyritään siihen, että saadaan yleistettäviä ja vertailukelpoisia tuloksia. Tutkimustyömaat kytketään toimivien käyttökohteiden yhteyteen mm. lämpöyrittäjäkohteiden ja muiden lämpölaitosten hakehankintaan. Tällöin voidaan tarkastella koko tuotantoketjua metsästä käyttöpaikalle.

## 4 TEHTÄVÄT VUONNA 1996

### 4.1 PIENPUUSTOJEN KORJUU

Toteutettiin työntutkimus korjuumenetelmästä, jossa puut hakattiin maataloustraktorin yksioteharvesterilla (NaarvaSyke) ja kuljetettiin maataloustraktorin perävaunussa välivarastolle. Kuitupuu hakattiin karsittuna ja energiapuu (kuitu-puiden latvat/kuitupuuta pienemmät puut) karsimattomana. Aineisto

kerättiin Perhon lämpöosuuskunnan hakehankinnan osana, jolloin myös muut työvaiheet voitiin kytkeä tarkasteluun. Tulokset julkaistaan vuonna 1997.

Vertailumenetelmänä oli siirtelykaato kaatokahvoin varustetulla moottorisahalla ja kuljetus maataloustraktorilla välivarastolle. Kaadon yhteydessä puut kasattiin ja tarvittaessa katkottiin. Tarkastelu perustui aikaisempiin tutkimuksiin ja täydentävään työntutkimusaineistoon.

Pienpuun korjuututkimuksilla on liittymä Metsätehon projektiin 128. Projektin yhteistyöllä huolehditaan kattavan tiedon saaminen taimikonhoidon ja NMK-metsiköiden korjuusta energiakäyttöön.

## 4.2 HAKKUUTÄHTEIDEN KORJUU

Toteutettiin esitutkimus kirjallisuuden, haastattelujen ja kenttäkokeiden perusteella maataloustraktorikaluston soveltuvuudesta, kehittämistarpeista ja mahdollisuuksista hakkuutähteiden korjuussa.

Käynnistettiin Karelian Puu ja Metallin kanssa hanke, jossa kehitetään halvat tekniset ratkaisut maataloustraktorikalustolla tapahtuvan hakkuutähteiden korjuun kannattavuuden parantamiseksi.

## 4.3 TUOTEKEHITYSTUTKIMUKSET

Tehtiin tuote- ja menetelmäkehitystä tukevia kenttäkokeita maataloustraktorin ketjukarsintalaitteella m. Pöytäsaari. Laitteeseen voidaan syöttää karsimattomia pienpuita käsityönä tai puutavarakuormaimella.

# 5 RAHOITUS

| Rahoituslähde                          |            |       |
|----------------------------------------|------------|-------|
| Työtehoseura                           | 454 000 mk | 53 %  |
| Maa- ja metsätalousministeriö (MAKERA) | 300 000 mk | 47 %  |
| Yhteensä                               | 754 000 mk | 100 % |

## 6 TULOKSET

### 6.1 METSIKÖIDEN HOITOVAIHE

#### 6.1.1 Hakkuu kaatokahvoin varustetulla moottorisahalla

Reo-Tuote Ky:n kaatokahvat asennetaan moottorisahaan pikakiinnityksellä. Ne mahdollistavat ns. siirtelykaadon, jossa rungolta irti sahattua puuta voidaan alkanutta kaatumisliikettä hyväksi käyttäen ohjata haluttuun paikkaan. Kaatokahvoilla työskenneltäessä kaatosahausta tehdään selkä suorana. Puukasat sijoitetaan ajouran reunavyöhykkeelle, joka on kuljetuskoneen kuormaimen ulottuvuuden levyinen.

Kenttäkokeiden mukaan siirtelykaato edellyttää hyvää kaato- ja siirtelytekniikkaa sekä huolellista työn suunnittelua. Parhaiten siirtelykaatoon soveltuvien runkojen rinnankorkeusläpimitta on 6 - 10 cm. Läpimitaltaan yli 15 cm:n puut ovat liian suuria siirreltäviksi. Puut voidaan katkoa kaatokahvoja irrottamatta. Kaatokahvat ovat pikakiinnitteiset, mikä mahdollistaa esim. kuitupuiden karsimisen siirtelykaatoon liittyen.

#### 6.1.2 Pöytäsaaren karsintalaitteen kenttäkokeet

Pöytäsaaren ketjukarsintalaite kytketään maataloustraktorin kolmipistenostolaitteeseen (kuva 1). Laitetta voidaan käyttää joko varastolla tai metsässä. Maksimiläpimitta karsittavalle puulle on valmistajan suosituksen mukaan noin 15 cm. Myös nippukarsinta on mahdollista, sillä karsijaan voi syöttää useita pieniä puita samalla kertaa.



*Kuva 1. Maataloustraktorin ketjukarsintalaitteella m. Pöytäsaari voidaan valmi-  
taa hake- ja pilkerankoja metsässä tai varastolla (kuvat: Työtehoseura ry).*

Puu/puut syötetään joko käsin tai hydraulikuormaimella tyvi edellä syöttöauk-  
koon, jonka nelussa ovat vaakatasossa veto- ja paininrullat. Ne työntävät  
puun/puut kahden eri tasossa olevan vaaka-akselin väliin. Kummallakin ak-  
selilla on neljä ketjua, jotka akselien pyöriessä piiskaavat oksat irti. Karsittu  
puutavara tulee toisen rullaparin avustama laitteesta ulos. Oksajäte jää laitteen  
alle.

Kenttäkokeessa laitteella karsittiin leppä- ja koivikokopuita, joiden rinnan-  
korkeusläpimitta oli 5 - 7 cm ja pituus 4 - 5 m. Kohtuullisella työvauhdilla  
työn-tekijä syötti käsin karsijaan noin 300 puuta tunnissa. Puiden syötössä  
pitäisi päästä työn raskauden takia kuormaintyöskentelyyn.

Ketjut eivät poistaneet kaikkia oksia pinnanmyötäisesti. Varsinkin koivuun jäi  
pitkiä oksan tynkiä. Karsintajälki oli kuitenkin riittävä hakerangalle ja keskus-  
lämmityspilkkeelle. Myös puiden kuori rikkoon tui, mikä edistää rankojen  
kuivumista. Laitteen alle kertyvä oksajäte hidasti karsintaketjujen pyörimistä,  
jolloin karsintajälki heikkeni. Oleellista hyvän karsintatuloksen kannalta on  
oikea ketjujen pyörintänopeus. Tuoreella tai jäätyneellä puulla se on erilainen,  
samoin eri puulajeilla. Oikeiden säätöjen löytäminen edellyttää jatkokokeita.

## 6.2 ENSIHARVENNUKSET

NaarvaSyke on maatilakuormaimeen kiinnitettävä sykeperiaatteella toimiva kaato-karsinta-katkontalaite, joka sopii ensiharvennukseen ja polttopuun hakkuuseen (kuva 2). Katkaisuosana on hydraulinen giljotiiniterä, jolla saa poikki 23 cm:n paksuisen puun. Peruskoneeksi riittää keskikokoinen, vakiovarustein maataloustraktori. NaarvaSykettä valmistaa Pentin Paja ja Outokummun metalli Oy.



*Kuva 2. Syke-Naarva hakkuulaite soveltuu hyvin myös energiapuun korjuuseen.*

NaarvaSykkeen toimivuutta kokeiltiin Perhossa. Peruskone oli nelivetoinen Valmet 6600 -maataloustraktori, jonka ohjaamossa oli taakseajolaitteet. Kuormain oli Kronos 4000 ulottuvuudeltaan 6,5 m. Puutavara hakattiin kuitu- ja polttopuiksi. Kuitupuiden latvat ja kuitupuiksi kelpaamattomat rungot jätettiin karsimatta ja kasattiin hakepuuksi.

Tutkitulla hakkuumenetelmällä tuottavuus oli noin 2 - 4 m<sup>3</sup> tehotunnissa. Suhteellisen hyvään tuottavuuteen vaikutti mm. kuljettajan runsas kokemus hakkuulaitteesta ja koneyhdistelmä, joka oli tasapainonen kokonaisuus. Sykesyöttö oli riittävän voimakas karsimaan paksuksaisiakin puita. Giljotiiniterän leikkuujälki oli siisti ja tasainen. Työtehoseuran aiempien tutkimusten perus-

teella lähikuljetuksen tuottavuus maataloustraktorilla, perävaunulla ja hydraulikuormaimella oli 3 - 6 m<sup>3</sup> tehotunnissa.

### 6.3 HAKKUUTÄHTEIDEN KULJETUS MAATALOUS- TRAKTORILLA

Esitutkimus koostui kirjallisuustutkimuksesta, kone- ja laitevalmistajien ja muiden asiantuntijoiden haastatteluista sekä kenttäkokeista. Hakkuutähteiden korjuuta ei ole juurikaan tutkittu, sillä kyseessä on metsänomistajien omatoimisuuden uusi työlaji. Uusimman maataloustraktorikaluston arvioitiin soveltuvan työhön, joskin teknistä kehittämistä edellytettiin. Kuormaimet ja perävaunut on suunniteltu ainespuun korjuuseen. Omatoimista hakkuutähteiden korjuun kehittämistä pidettiin tärkeänä hakkeen suurkanäytön lisääntyessä.

Maataloustraktorikaluston soveltuvuutta selvitettiin kenttäkokein Laukaassa ja Savonlinnassa. Molemmat koetyömaat olivat kuusivaltaisia, koneellisesti hakattuja ja maastoltaan helppoja. Laukaan kokeessa maataloustraktori oli nelipyörävetoinen ja metsäohjaamolla varustettu 59 kW:n Fiat 80 - 90 DT. Tavallisella puutavarakouralla varustettu Hakki-Souvari 25 -kuormain, jonka maksimiulottuvuus oli 5,1 m, oli traktorin nostolaitteessa (kuva 3). Hakkuutähteet olivat levällään ja pääasiassa ajourilla. Savonlinnassa peruskone oli hakkuutähteiden kuljetukseen varusteltu 80 kW:n Valmet 905 -nelivetotraktori (kuva 4). Ohjaamossa oli taakseajolaitteet. Traktorin takarunkoon oli asennettu 7,1 m ulottuva RKP-3400-kuormain. Kuormaimessa oli nelipiikkinen hakkuutähdekoura, jolla kuormattiin hakkuukoneen hyvin kasaamia hakkuutähteitä. Molempien perävaunujen kuormatilaa oli korotettu jatkamalla kuormatilan sivutolppia.



*Kuva 3. Perusvarusteinen maataloustraktoriyhdistelmä on tehoton hakkuutähteiden kuljetuksessa.*



*Kuva 4. Suurennettu perävaunun kuormatila ja hakkuutähdekoura mahdollistavat urakoinnin maataloustraktoriyhdistelmällä.*

Kuljetuksen tuottavuus oli Laukaan kohteessa Fiat -yhdistelmällä vain noin 2 m<sup>3</sup> /tehotunti. Keskikuljetusmatka oli 75 metriä ja -kuormakokoko 1,3 m<sup>3</sup>. Savonlinnan työmaalla tehokkaamman Valmet-yhdistelmän tuottavuus oli 9,2 m<sup>3</sup> /tehotunti, kun keskikuljetusmatka oli 50 metriä ja -kuormakoko 2,7 m<sup>3</sup>. Kuormaimen ominaisuuksilla oli suuri vaikutus tuottavuuteen, sillä kuormausta ja purkamista oli koetyömailla 60 - 70 % kuljetuksen tehoajasta. Suuri ulottuvuus vähentää kuormausajoa sekä mahdollistaa suurien kuormien tekemisen ja korkeat varastokasat.

Epäpuhtauksien mm. kiviaineksen välttäminen puutavarakouralla vaati huolellisuutta ja sujui hitaammin kuin 4-piikkisellä hakkuutähdekouralla. Kun kuormattiin kasaamattomia hakkuutähteitä puutavarakouralla, alin hakkuutähdekerros jätettiin palstalle. Talteen saatiin vain noin 30 % hakkuutähteistä. Hakkuukoneen tekemistä kasoista talteen saatiin hakkuutähdekouralla noin 85 % oksa- ja latvumassasta.

Maataloustraktorin metsäperävaunujen kantavuuden rajoissa (6 - 8 t) kuormatila voidaan hyvin kaksinkertaistaa hakkuutähteiden kuljetukseen. Halvinta kuormatilan kasvattaminen on sivutolppien pituutta esim. teräsjatkein lisäämällä. Kuormakoon suurentaminen tiivistämällä esim. puristavia pankkoja käyttäen ei tule kyseeseen maataloustraktorikalustossa. Puutavarakouran korvaaminen hakkuutähdekouralla on välttämätöntä kuormaus- ja purkamistyön tehostamiseksi. Investoinnit tuottavuuden parantamiseksi on järkevä tehdä silloin, kun vuotuinen työmäärä saadaan esim. kausiyrityksen kautta riittävän suureksi.

## 7 JATKOSUUNNITELMAT

Kerätään työntutkimusaineistoa maataloustraktorin yksiotehakuulaitteisiin (NaarvaSyke/AM 200) perustuvista korjuumenetelmistä. Vuonna 1997 toteutettavien työntutkimusten avulla määritetään korjuumenetelmien tuottavuudet ja kustannustarkasteluin korjuukustannukset.

Karsintalaite m. Pöytäsaari soveltuu käytettäväksi kokopuumenetelmään liittyvänä varastopaikalla. Puut voitaneen karsia myös metsässä. Karsintalaitteen kehittäminen kenttäkokeineen jatkuu niin, että työntutkimukset laitteesta ja sille soveltuvista korjuumenetelmistä voidaan käynnistää kesällä 1997.

Maataloustraktorilla tehtävän hakkuutähteiden korjuun taloudellisuuden parantamiseksi on käynnistetty erillisprojekti suhteellisen halpojen teknisten ratkaisujen kehittämiseksi perävaunun kuormatilan suurentamiseksi ja kuor-

mauksen tehostamiseksi. Työntutkimuksin selvitetään hakkutähteiden korjuun tuottavuutta ja kustannuksia.

Sopimuksen mukaan osallistutaan kenttäkokein Bioenergian tutkimusohjelman yrityshankkeisiin Y110 ja Y113.

Polttopuun tuotannon kustannuslaskentamallia täydennetään uusien energia-puun korjuuketjujen työntutkimuksista saatavilla tuloksilla sekä kehittämällä käytönohjausrakenteita ja tulosten tulkintaa helpottavia graafisia tarkasteluita. Vuonna 1998 valmistuu polttopuun tuotannon kustannuslaskentaohjelma mm. neuvonta- ja koulutusorganisaatioiden käyttöön.

## 8 JULKAISUT

*Heinänen, P.* Polttopuun korjuukustannukset isännänlinjalla. Moniste. 25 s. Työtehoseura.

*Ihonen, M.* 1996. Maataloustraktorilaitteita pienpuun hakkuuseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Tiedotuslehti 3.

*Ihonen, M.* 1996. Pienpuun korjuuta maataloustraktorikalustolla. Teho 4.

*Mäkelä, J.* 1996. Pientekniikan kehittäminen perusteltua. Bioenergian tutkimusohjelma. Tiedotuslehti 3.

*Nätt, H. - Ryytänen, S.* 1996. Hakkuutähteiden korjuu energiakäyttöön. Työtehoseuran metsätiedote 15.

*Ryytänen, S.* 1996. Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa. Bioenergian tutkimusohjelman projektin 108 (1993-95) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 350.

*Ryytänen, S.* 1996. Hake- ja pilketuotannon kustannuslaskenta. Bioenergian tutkimusohjelma. Tiedotuslehti 3.

*Ryytänen, S.* 1996. Pilketuotantoon uusia koneita ja menetelmiä. Bioenergian tutkimusohjelma. Tiedotuslehti 3.

*Ryytänen, S.* 1996. Polttopuun pientuotannon kustannukset. Teho 4.



## PILKKEEN MITTA- JA LAATUVAATIMUKSET - 126

Seppo Tuomi  
Työtehoseura  
PL 13  
05201 Rajamäki

Puh. (09) 2904 1200  
Fax (09) 2904 1285  
seppo.tuomi@tts.fi

### **Abstract: Dimension and quality requirements for chopped firewood**

Over the heating season of 1992-1993 in total 5.6 million m<sup>3</sup> of firewood was used for heating one-family houses in Finland. Major part consisted of chopped firewood. Two-thirds of firewood was acquired from consumers' own forests. The proportion of purchased wood was less than a fifth, about one million m<sup>3</sup>. More than half, i.e. 750 000 house-owners consider the use of purchased firewood possible. Chopped firewood is the most favoured type of wood.

A crucial problem of firewood sales is the lack of dimension and quality requirements. The measuring practice of chopped firewood has neither been standardised. These problems hamper the development of the commercial firewood market and prevents the increase of firewood use in particular in one-family houses, in which stoves and fireplaces are presently under-used.

The aim of the project is to promote firewood sales and to protect consumers by preparing a proposal for the measurement and dimension and quality requirements for chopped firewood. The work is carried out on the basis of material based on field and laboratory measurements and on a literature survey. The most important results will be published as a guide book for firewood entrepreneurs and buyers.

## 1 TAUSTA

Metsäntutkimuslaitoksen ja Työtehoseuran yhteistutkimuksen mukaan lämmityskaudella 1992/93 pientaloissa käytettiin polttopuuta yhteensä 5,6 milj. m<sup>3</sup>, josta valtaosa oli pilkettä. Polttopuusta kaksi kolmasosaa hankittiin omasta metsästä. Ostetun puun osuus oli vajaa viidennes eli noin miljoona m<sup>3</sup>. Ostopuusta valmiin pilkkeen osuus oli 12 %.

Yli puolet eli noin 750 000 pientalonomistajaa piti ostopolttopuun käyttöä mahdollisena. Valmis pilke oli halutuin ostopuun tavaralaji. Polttopuun käyttöä aikoi seuraavan kahden vuoden aikana lisätä noin 200 000 pientaloa. Käytön lisääminen ei vaadi välttämättä laiteinvestointeja. Riittää, kun omakotitalojen noin miljoona tulisijaa ja öljykattiloiden puulla lämmitettävät pesät otetaan tehokkaampaan käyttöön.

Pilkekaupan keskeinen ongelma on pilkkeen mitta- ja laatuvaatimusten puute. Myös pilkkeen määrän mittauskäytäntö on epäyhtenäinen. Mainitut seikat jarruttavat kaupallisten pilkemarkkinoiden kehittymistä ja polttopuun käytön lisäämistä.

Vuonna 1995 Työtehoseura toteutti Bioenergian tutkimusohjelmassa hankkeen 118: "Ostopilkkeen mitta- ja laatuvaatimusten kehittäminen". Projektissa selvitettiin perusteet pilkkeen mitta- ja laatuvaatimuksille, minkä pohjalta työtä jatkettiin tässä projektissa.

Luottamukselliselle pilkekaupalle on keskeistä, että ostaja ja myyjä tuntevat pilkkeen mitta- ja laatuvaatimukset. Tavoitteen saavuttamiseksi muokataan keskeisimmät, käytännön pilkekauppaa palvelevat tulokset oppaan muotoon.

## 2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on edistää polttopuukauppaa ja kuluttajasuojaa tekemällä ehdotus pilkkeen määrän mittauksesta sekä mitta- ja laatuvaatimuksista. Keskeisimmät tulokset muokataan pilkeyrittäjiä ja pilkkeenostajia palvelevaksi opaskirjaksi.

### 3 RAHOITUS

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| Rahoittaja                                                  |            |
| Bioenergian tutkimusohjelma (maa- ja metsätalousministeriö) | 164 000 mk |
| Työtehoseura                                                | 179 000 mk |
| Yhteensä                                                    | 343 000 mk |

### 4 TOIMINTA JA TULOKSET VUONNA 1996

Projekti koostui kolmesta osatyöstä, jotka käsittelivät

- pilkkeen tilavuuden mittaamenetelmiä
- pilkkeen kosteuden ja massan mittaamenetelmiä sekä
- pilkkeen laatuksiteereitä.

#### 4.1 PILKKEEN TILAVUUDEN MITTAUSMENETELMÄT

Kenttäkokeilla selvitettiin pilkkeen tilavuuden mittauksen irt- ja pinotiiviy-  
kertoimia eri raaka-aineista tehdyille pilkkeille. Irtotiiviyteen vaikuttavista  
tekijöistä selvitettiin erityisesti pilkekoneen tyyppin, kuljetuslaatikon koon ja  
kuormaustavan merkitystä. Pilkkeen tilavuuden mittausta koskevan osatyön  
tulokset julkaistiin Työtehoseuran monisteessa 6/1996.

Nykyään pilke tehdään pääosin valmiiksi tuotteeksi suoraan rangoista. Kau-  
pallisessa tuotannossa raaka-aineena käytetään myös metrin pituista halkoa,  
jolloin pilkemäärän mitta- ja laskutusyksikkönä käytetään halkopinokuutio-  
metriä.

Taulukossa 1 on esitetty tulokset kenttäkokeista, joissa selvitettiin halon ja  
pilkkeen pinotiiviyden riippuvuutta raaka-aineen laadusta. Pinoaminen tehtiin  
ns. keskimääräisellä ladonnalla, jossa halkoja ja pilkkeitä ei asetettu pinoon  
erityisen huolellisesti eikä huolimattomasti. Menettelyllä pyrittiin pienentä-  
mään ladontatavan vaikutusta tulokseen, minkä Työtehoseuran tekemässä  
esitutkimuksessa todettiin olevan merkittävän (PIRINEN 1995). Kokeissa  
halot valmistettiin edelleen pilkkeiksi, joille määritettiin sekä pino- että irt-  
tiiviydet.

*Taulukko 1. Halon ja pilkkeen pino-<sup>1)</sup> ja irtotiivys<sup>2)</sup> raaka-aineen laadun mukaan Työtehoseuran kenttäkokeissa. Kokeissa puutavara tehtiin ensin metrin pituisiksi haloiksi, jotka edelleen pilkottiin 33 cm:n pilkkeiksi. Tiiviudet mitattiin tuoreella puulla.*

| Raaka-aine                   | Keski-<br>läpimitta,<br>cm | Halko<br>pinossa | Pilke<br>pinossa | Pilke<br>kasassa |
|------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                              |                            | Tiiviyys         |                  |                  |
| Haapa<br>- suora tukki       | 23,8                       | 0,79             | 0,75             | 0,44             |
| Koivu<br>- suorahko kuitupuu | 11,9                       | 0,65             | 0,69             | 0,41             |
| Leppä<br>- mutkainen ranka   | 10,7                       | 0,54             | 0,64             | 0,36             |

1) Pinotiiviyys on pinossa olevien halkojen tai pilkkeiden kiintotilavuuden suhde kehystilavuuteen.

2) Irtotiiviyys on satunnaisessa järjestyksessä olevien halkojen tai pilkkeiden kiintotilavuuden suhde kehystilavuuteen.

Halkojen pinotiiviyys suureni puun järeyden kasvaessa ja pieneni mutkaisuu- den lisääntyessä. Pilkkeellä järeyden ja mutkaisuuden vaikutus pinotiiviyteen oli halkoa pienempi. Pilkkeellä pinotiiviyys oli pääsääntöisesti suurempi kuin halolla.

Haapahaloista tehdyn pilkkeen pinotiiviyys oli kuitenkin pienempi kuin vastaavilla haloilla. Haapahalon ja siitä tehdyn pilkkeen pinotiiviydet olivat myös poikkeuksellisen suuria (0,79 ja 0,75). Työtehoseuran tekemän esitutkimuk- sen mukaan tämä on tyypillistä riittävän järeästä raaka-aineesta tehdyille tava- ralle (PIRINEN 1995). Nykyisessä pilkekaupassa tällaisen raaka-aineen käyt- tö ei ole kuitenkaan kovin yleistä.

Pilkekoneen tyypin vaikutusta tiiviyyslukuihin selvitettiin kolmella pilkeko- neella. Koekoneet olivat Hakki Pilke TRS 60, Klapi-Tuiko 190 ja Nokka PK 200. Hakki Pilke TRS 60 -pilkekone katkaisee puun sirkeliterällä ja halkai- see hydraulisesti vastaterää vasten. Klapi-Tuikossa katkaisu ja halonta tapah- tuvat ”giljotiiniperiaatteella”. Nokka PK 200 katkaisee puun veitsiterällä ja halkaisee kiilaterällä.

Eri pilkekoneilla tehtyjen pilkekasojen tiiviyslukujen erot olivat oletettua pienemmät (taulukko 2). Giljotiini- ja veitsiterällä katkaistujen pilkkeiden katkaisupintaan jäivät tikut ja sälot eivät vaikuttaneet merkittävästi pilkekasan tiivistymiseen. Eri koneilla tehtyjen pilkekasojen irtotiiviiden erot selittyivät pääosin raaka-aineen läpimitan vaihtelulla.



*Kuva 1. Kenttämittauksilla selvitettiin mm. pilkkeen irtotiiviiden riippuvuutta pilkekoneen tyypistä, kuormaustavasta ja mittauslaatikon koosta. Kuva Hannu Pirinen.*

*Taulukko 2. Pilkkeen pino- ja irtotiiviudet eri pilkekoneilla Työtehoseuran kenttäkokeissa. Tiiviudet mitattu tuoreella puulla.*

| <u>Pilkekone</u><br>Raaka-aine | Keski-<br>läpimitta, cm | Halko<br>pinossa | Pilke<br>kasassa |
|--------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
|                                |                         | _____            | _____            |
|                                |                         | Tiiviys          |                  |
| <u>Hakki Pilke TRS 60</u>      |                         |                  |                  |
| Haapahalko                     | 23,8                    | 0,75             | 0,44             |
| Koivuhalko                     | 11,9                    | 0,69             | 0,41             |
| Koivuranka                     | 10,1                    | 0,68             | 0,40             |
| Leppä/haaparanka               | 10,5                    | 0,67             | 0,40             |
| <u>Klapi-Tuiko 190</u>         |                         |                  |                  |
| Leppä/haaparanka               | 9,9                     | 0,67             | 0,41             |
| Koivuranka                     | 7,5                     | 0,64             | 0,38             |
| <u>Nokka PK 200</u>            |                         |                  |                  |
| Leppä/haaparanka               | 9,0                     | 0,66             | 0,41             |

Kenttäkokeissa verrattiin kuution muotoisten 1 m<sup>3</sup>:n ja 3 m<sup>3</sup>:n mittalaatikoiden vaikutusta irtotiiviuslukuihin. Mittalaatikat täytettiin pilkekoneen kuljettimella siten, että kuljettimen purkupää oli molempien laatikoiden täytössä yhtä korkealla laatikon pohjatasosta.

Kokeiden mukaan pilkkeen irtotiiviusluku oli keskimäärin 0,01-yksikköä suurempi 1 m<sup>3</sup>:n kuin 3 m<sup>3</sup>:n mittalaatikkoon täytettäessä. Suurempi irtotiivius pienessä laatikossa voi johtua siitä, että laatikoiden täyttyessä viimeiset pilkkeet putoavat pienempään laatikkoon korkeammalta kuin isompaan ja tiivistävät pilkekasa. Erot irtotiiviusluvuissa olivat kuitenkin käytännön pilkekaupan kannalta varsin pieniä.

Kenttäkokeissa selvitettiin pilkkeen irtotiiviyden riippuvuutta myös kuormaustavasta. Toisessa menetelmässä pilke kuormattiin 1 m<sup>3</sup>:n mittalaatikkoon pilkekoneen kuljettimella. Toisessa kaksi koehenkilöä heitteli pilkkeet mittalaatikkoon käsin. Käsin kuormauksen ja pilkekoneen kuljettimella kuormauksen irtotiiviuslukujen erot olivat käytännön pilkekaupan kannalta merkittömiä.

#### 4.1.1 Pilkkeen kutistuminen kuivuessa

Kenttäkokeissa halon ja pilkkeen raaka-aineena käytetyn puutavaran kiintotilavuus mitattiin tuoreesta tavarasta. Myös halon ja pilkkeen irtotiiviydet

määritettiin tuoreella puulla, joten ne ovat keskenään vertailukelpoisia. Edellä esitetyt tiiviysluvut kuvaavat siten tuoreen pilkkeen tiiviyksiä pilkkeentuottajan varastolla.

Käytännön pilkekaupassa tavara toimitetaan yleisimmin käyttökosteudessa, jolloin pilkkeen toimituskosteus vaihtelee kuivaus- ja varastointimenetelmistä riippuen välillä 15 - 25 %. Kun puu kuivuu alle puunsyitten kyllästymispisteen, puu kutistuu tuoreeseen puuhun verrattuna.

Pilkkeen kuivumista ja mekaanista painumista pinossa selvitettiin kenttäkokeilla, joissa tuoreet 33 cm:n pituiset pilkkeet pinottiin Bioenergian tutkimusohjelmassa kehitettyihin jakeluyksiköihin, ns. myyrälavoihin ja varastoitiin ulos katokseen. Pilkepinojen korkeudet ja pilkkeen kosteus mitattiin varastoinnin alussa ja noin kahden kuukauden (kesä-elokuu) varastoinnin jälkeen.

Pilkkeen kosteus oli alentunut varastoinnin aikana keskimäärin 25 %-yksikköä (taulukko 3). Pilkkeen kuivumisesta ja pilkepinon mekaanisesta painumisesta johtuen pinojen korkeus oli madaltunut keskimäärin 6 % alkukorkeudesta. Pino-tiiviyksissä 6 %:n pilkepinon madaltuminen vastaa 0,05 yksikön eli 7,5 %:n lisäystä tuoreena mitattuun pinotiiviyteen verrattuna. Jos kutistuminen oletetaan pilkkeen irtokasassa samaksi kuin pinossa, merkitsee tämä keskimäärin 0,02 nousua tuoreella pilkkeellä mitattuihin irtotiivyslukuihin.

*Taulukko 3. Pilkkeenjakeluyksiköihin eli ns. myyrälavoihin pinotun pilkkeen kuivuminen ja pinon korkeuden muuttuminen noin kahden kuukauden (kesä-elokuu) varastoinnin aikana. 33 cm:n pituinen pilke oli varastoitu hyvin tuulettuvaan ulkokatokseen.*

| Puulaji          | Pilkkeen kosteus<br>varastoinnin<br>alussa, % | Pilkkeen kosteus<br>varastoinnin<br>lopussa, % | Pilkepinon korkeu-<br>den pieneneminen,<br>% alkukorkeudesta |
|------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Haapapilke       | 45                                            | 21                                             | 5,2                                                          |
| Koivupilke 1     | 36                                            | 15                                             | 6,1                                                          |
| Koivupilke 2     | 43                                            | 15                                             | 6,0                                                          |
| Leppä/haapapilke | 46                                            | 17                                             | 6,7                                                          |
| Keskimäärin      | 43                                            | 17                                             | 6,0                                                          |

## 4.2 PILKKEEN KOSTEUDEN JA MASSAN MITTAUS- MENETELMÄT

### 4.2.1 Pilkkeen kosteuden mittausmenetelmät

Pilkkeen kosteuden mittausmenetelmiä koskevassa osatyössä kerättiin markkinatiedot sahatavaran kenttäkäyttöisistä kosteusmittareista. Pilkkeen kosteuden mittaukseen suunniteltuja mittareita ei ollut. Kuudelta sahatavaran kosteusmittarin valmistajalta saatiin laitetiedot. Mittarien hinnat vaihtelivat välillä 1000 - 8000 mk.

Neljällä kosteusmittarilla tehtiin pilkkeen kosteuden mittauksia kenttä- ja laboratorio-oloissa. Kokeiltujen kosteusmittareiden toiminta perustui joko puun resistanssin tai kapasitanssin muutosten mittaamiseen. Kapasitanssiin perustuvat mittarit oli varustettu puun pinnasta kosteuden mittavilla pinta-antureilla. Resistanssiin perustuvien mittareiden antureina käytettiin ns. piikkiantureita, jotka painettiin puun sisään kosteutta mitattaessa.

Kokeillut mittarit näyttivät soveltuvan tietyin varauksin kuivan pilkkeen kosteuden toteamiseen (taulukko 4). Mittaustarkkuus riippui mm. mittaustavasta ja anturityypistä. Puun sisään työnnettävillä piikkiantureilla varustettut mittarit olivat puun pinnasta mittaavaa luotettavampia. Kokeiltu pinta-anturimittari oli suunniteltu tasaiselle puun pinnalle. Pilkkeen halkaistulla, epätasaisella pinnalla anturin kontakti puuhun oli epävaka, mikä häytti mittausta. Useimmat kosteusmittarit eivät soveltuneet tuoreen pilkkeen kosteuden määrittämiseen.

*Taulukko 4. Sahatavaran kosteusmittareiden soveltuvuus pilkkeen kosteuden mittaukseen. Kokeet tehtiin laboratorio-oloissa 33 cm:n pituisilla koivupilkkeillä.*

|                          | Uuni-<br>kuivaus    | Mittari 1<br>(pinta-<br>anturi) | Mittari 2<br>(piikki-<br>anturi) | Mittari 3<br>(piikki-<br>anturi) | Mittari 4<br>(piikki-<br>anturi) |
|--------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                          | Kosteus, % painosta |                                 |                                  |                                  |                                  |
| Tuore pilke (N=32)       |                     |                                 |                                  |                                  |                                  |
| - Keskiarvo              | 45,1                | 37,7                            | 26,3                             | 34,0                             | 43,9                             |
| - Vaihteluväli           | 44,4-46,1           | 33,0-39,8                       | 25,0-28,2                        | 28,7-39,4                        | 41,5-45,9                        |
| Kuivunut pilke<br>(N=28) |                     |                                 |                                  |                                  |                                  |
| - Keskiarvo              | 14,2                | 10,9                            | 14,5                             | 14,7                             | 14,5                             |
| - Vaihteluväli           | 13,1-15,5           | 6,0-13,5                        | 13,0-15,3                        | 13,0-15,4                        | 12,9-15,5                        |

#### 4.2.2 Pilkkeen massan mittaamenetelmät

Pilkkeen massan mittaamenetelmiä koskevassa osatyössä tehtiin selvitys potentiaalisista pilkekauppaan soveltuvista vaa'oista. Markkinakatsaukseen otettiin mukaan puomikuormaimeen sopivat riippuvaa'at sekä ajoneuvo- ja tasovaa'at, jotka oli varustettu paperille tulostavalla näyttölaitteella. Markkinoilta löytyi runsaasti kyseiset ehdot täyttäviä vaakatoimittajia. Halvimmillaan tällaisen mittalaitteiston hintataso oli tarkkuudesta ja varustuksesta riippuen 25000 - 35000 mk.

Riippuvaa'an käyttöön perustuvasta pilkemäärän mittauksesta tehtiin kokeita kenttätutkimusaineiston keruun yhteydessä. Kokeiltuun menetelmään yhdistettiin myös pilkkeen irtotilavuuden ja kosteuden mittaukset. Massan ja kosteuden mittaukseen liittyvien epävarmuustekijöiden ohella menetelmän haittana oli punnitustoimenpiteiden tuoma lisätyö.

Pilkeyrittäjiä haastatteleamalla selvitettiin käytössä olevat pilkkeen mittaamenetelmät ja yrittäjien mahdollisuudet käyttää massaan perustuvia menetelmiä. Yrittäjät pitivät kuormaimeen sijoitettua vaakaa sopivimpana pilkkeen massan mittaamenetelmänä. Menetelmässä mittaus ei tuo pilkkeen käsittelyyn ylimääräisiä työvaiheita. Haittana pidettiin kaupankäyntiin hyväksytyjen, paperille tulostavien vaakojen korkeata hintaa sekä luotettavien kosteusmittareiden puutetta.

Massaan perustuvat mittaamenetelmät saattaisivat soveltua yrittäjille, joiden pilkkeen kuivatus on järjestetty koneellisesti. Tällöin pilkkeen kosteusvaihtelut ovat luonnon kuivatusta vähäisemmät, mikä parantaa menetelmän luotettavuutta ja vähentää kosteuden määrittämisen tarvetta. Massan mittaukseen perustuvat menetelmät vaativat vielä kehitystyötä ja käytännön pilkekaupasta kerättävää kokemusta.

#### 4.3 PILKKEEN LAATUKRITEEREIDEN MÄÄRITTÄMINEN

Pilkkeen laatukriteereitä koskevassa osatyössä selvitettiin pilkekoneen tyypin vaikutusta pilkkeen pituusvaihteluun neljällä pilkekoneella (taulukko 5).

*Taulukko 5. Pilkkeen pituuden vaihtelut raaka-aineen ja pilkekoneen mukaan. Pilkkeen tavoitepituus oli 33 cm.*

| Pilkekone<br>Raaka-aine   | Keski-<br>läpimitta, cm | Pilkkeen keskipituus, cm |                              |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
|                           |                         | Koko aineisto            | Vaihteluväli osa-aineistossa |
| <u>Hakki Pilke TRS 60</u> |                         |                          |                              |
| Koivuranka                | 10,1                    | 33,1                     | 32,2 - 35,0                  |
| Leppä/haaparanka          | 10,5                    | 33,1                     | 32,5 - 34,0                  |
| Koivuhalko                | 11,9                    | 33,2                     | 33,0 - 33,9                  |
| Haapahalko                | 23,8                    | 33,1                     | 32,7 - 33,3                  |
| <u>Klapi-Tuiko 190</u>    |                         |                          |                              |
| Leppä/haaparanka          | 9,9                     | 32,5                     | 32,5 - 34,0                  |
| Koivuranka                | 7,5                     | 32,9                     | 31,6 - 34,1                  |
| <u>Nokka PK 200</u>       |                         |                          |                              |
| Leppä/haaparanka          | 9,0                     | 33,7                     | 30,7 - 35,3                  |
| <u>Japa 600 Hydro</u>     |                         |                          |                              |
| Leppähalko                | 10,7                    | 33,3                     | 33,0 - 33,5                  |

Kaikilla pilkekoneilla päästiin varsin hyvin pilkkeen tavoitepituuteen, kun pilkonta tehtiin huolellisesti. Giljotiini- tai veitsiterällä varustetut pilkontakoneet (Klapi-Tuiko 190 ja Nokka PK 200) jättivät pilkkeiden katkaisupinnan rosoisemmaksi kuin sirkkeliterällä katkaisevat (Hakki Pilke TRS 60, Japa 600 Hydro). Myös epätäydellisesti halenneiden pilkeiden osuus oli näillä koneilla suurempi. Tämä huononsi pilkkeen ulkonäköä, mikä korostui, kun pilke pinottiin. Pilkkeiden teossa syntyi koivulla enemmän tikkuja ja sälöjä kuin helpommin halkeavilla lepällä ja haavalla.

Konekillerin maaseutunäyttelyn yhteydessä Jyväskylässä kerättiin kyselyllä näyttelyvieraiden mielipiteitä pilkkeen laatuun ja hinnoitteluun liittyvistä tekoista. Kyselyn aineisto analysoitiin ja tulokset julkaistaan vuonna 1997.

## 5 SUUNNITELMAT VUODELLE 1997

Pilkkeen massan ja kosteuden mittausta koskeva tutkimusaineisto julkaistaan Työtehoseuran monisteessa vuonna 1997. Pilkkeen ostajien näkemykset pilkkeen laatuvaatimuksista selvitetään ostajille suunnatulla postikyselyllä. Pilkkeen tuottajien näkemykset pilkkeen laatuvaatimuksista selvitetään tuottajien haastatteluilla.

Eri osatöitten tutkimusaineistojen pohjalta tehdään ehdotus pilkkeen määrän mittauksesta sekä mitta- ja laatuvaatimuksista. Aineistosta laaditaan pilkkeen ostajia ja myyjiä palvelevan opaskirjan käsikirjoitus. Opas julkaistaaan vuonna 1998.

## 6 RAPORTIT JA JULKAISUT

*Pirinen, H.* 1995. Pilkkeiden tilavuuden mittaustarkkuus. Työtehoseuran monisteita 4/1995 (38). 48 s.

*Pirinen, H.* 1996. Pilkkeiden irtto- ja pinotiiviys. Työtehoseuran monisteita 6/1996 (48). 32 s.

*Tuomi, S.* 1996. Pilkkeen mitta- ja laatuvaatimuksia kehitetään. Teho 4/1996.

*Tuomi, S.* 1996. Mitta- ja laatuvaatimuksia kehitetään pilkkeelle. Bioenergian tutkimusohjelman tiedotuslehti 3/96.

*Tuomi, S. - Mäkelä, J.* 1996. Ostopolttopuun mitta- ja laatuvaatimusten kehittäminen. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 11. s. 323-329.



## DEVELOPMENT OF NEWLY DESIGNED WOOD BURNING SYSTEMS WITH LOW EMISSIONS AND HIGH EFFICIENCY - 314

Heikki Hyytiäinen / Tulisydän Oy  
Suomalaiset Tulisijat - Finnish Fireplaces ry.  
Riipiläntie 50  
01760 Vantaa

Puh. (09) 897 922

### Abstract

The investigations in the project will focus on the combustion behaviour of wood burning systems of untreated wood fuels with batch-wise and quasi-continuous mechanical feeding. The objectives will be to minimize the pollutant release of these combustion systems during the different operational phases by a consequent optimization of the fuel burning technique and to reduce the CO<sub>2</sub> release by increasing the efficiency of the combustion.

To reduce the pollutant release during the operation phases and to increase the efficiency, products of incomplete combustion i.e. carbon monoxide, toxic organic compounds like benzene, polycyclic aromatic hydrocarbons and soot have to be minimized in a further extent.

For that the following goals will be attained:

- improvement of the mixing process of combustion gases in the reaction zones
- averaging the residence time spectrum in the burnout zone
- reduction of emissions during initial and burnout phase in firings with batch-wise feeding
- reduction of emissions under partial-load conditions in firings with quasi-continuous feeding
- higher combustion stability even in case of changing fuel qualities
- to define guidelines for the design of stoves and boilers with low emissions and high efficiency

By the foreseen reduction of the pollutant release and improved efficiency the environmental acceptance of wood combustion firings can be increased and for instance local restrictions can be removed.

The project is funded in part by The European Commission in the framework of The Non Nuclear Energy Programme

## 1 TAUSTA

Suomalaisen puulämmityssperinteen mukaan kehittyneen, nopeasti puuta polttavan ja siten vapautuvan energian massaansa varaavan takkauunin päästöt ovat kohtuulliset. Tämän vuoksi meillä ei ole ollut samanlaista tarvetta asettaa hyväksymisrajoja tulisijoille kuten on tapahtunut koko läntisessä Euroopassa, Pohjois-Amerikassa jne.

Kun rajoituksia ei ole ollut, ei Suomessa myöskään ole esiintynyt samanlaista kehityspainetta ja -vauhtia kuin monissa muissa maissa, varsinkin Keski-Euroopassa. Nyt olemme täälläkin toden edessä, kestävä puuenergian pienkäyttö edellyttää päästöjen selvää vähentämistä. Tuotekehityksen on pysyttävä askeleenedellä vaatimuksia, tulevat ne sitten tulisijasäädösten tai energiantuoton yleisten puhtausvaatimusten muodossa.

Puuenergian käytölle on tarjolla uusia mahdollisuuksia yhä enemmän yleistyvässä, kestävässä kehitykseen kuuluvassa matalaenergiarakentamisessa. Uusista vaatimuksista selviäminen edellyttää uutta ajattelua ja ripeää tuotekehitystä. Markkinat ovat toki alussa pienet, mutta mitä ilmeisimmin koko ajan kehittyvät.

## 2 TAVOITE

Tutkimus- ja tuotekehitysprojektin tavoitteena on puun polttamisessa syntyvien haitallisten päästöjen vähentäminen tarkemman palamisen hallinnan avulla.

### 3 TOTEUTUS

Projektia suunniteltaessa etsittiin yhteistyökumppaneita, jotka sopivasti täydentäisivät toisiaan. Tämä koskee niin osaamista, kokemusta kuin laitteistojakin.

Tutkimus- ja tuotekehitysprojektista muodostettiin laaja kansainvälinen projekti, jossa on kaikkiaan viisi osapuolta; Suomesta, Saksasta, Sveitsistä ja Ruotsista. Koordinaattori on Stuttgartin yliopisto (IVD, D) ja muina osapuolina Luulajan teknillinen korkeakoulu (LuTH, S), Centre for Appropriate Technology and Social Ecology (CATSE, CH) sekä Michael Struschka (IBS, D). Suomen osuutta koordinoi Suomalaiset Tulisijat - Finnish Fireplaces ry. ja tutkimustyön suorittaa Tulisydän Oy (TS) yhteistyössä projektiin osallistuvan alan teollisuuden kanssa.

### 4 TEHTÄVÄT

IVD:n tehtäviin kuuluu koordinoinnin lisäksi uuden koeympäristön rakentaminen, jossa päästään entistä tarkemmin analysoimaan palovyöhykkeitä ja niissä tapahtuvia reaktioita. Oleellista projektin resurssien riittävyydelle on, että laboratorioissa jo olevia mittauslaitteistoja hyödynnetään. IVD:llä on vahva kokemus palamisen tutkimisesta isossa mittakaavassa.

IBS:n keskeinen tehtävä on koetoiminnan teoreettinen suunnittelu sekä projektin etenemisen teoreettinen tarkastelu läheisessä yhteistyössä IVD:n kanssa. IBS osallistuu prototyyppien suunnitteluperiaatteitten laadintaan ja itse prototyyppien suunnitteluun.

CATSE on ensimmäisenä vuotena keskittynyt testauksen teoriaan ja sen matemaattiseen tarkasteluun, erikoisesti koepolttojen virhetulkintojen eliminointiin. Tutkimuslaitos tähtää pienkattilan palamisen tason kehittämiseen.

LuTH on jatkanut erittäin puhtaasti palavan pientalokattilan kehittämistä ja on selvittänyt sen toimintaperiaatetta ja rakennetta projektille teknillisissä kouksissa.

TS aloitti ensimmäisellä jaksolla ohjelman mukaisesti kaupallisten tulisijojen palamiskäyttäytymisen määrittelykoesarjan. Tärkein kohde on muurattu, vaaraava takkauuni. Sen ohella koesarjassa ovat mukana myös kaikki muutkin maassamme myytävät tulisijatyyppit, liedet, leivinuunit, kiukaat, kaminat jne.

Projekti tekee yhteistyötä joittenkin erityisasiantuntijoitten kanssa, tärkeimpänä TTKK, joka mallittaa koepoltossa olevia tulipesiä omalla numeerisella virtaussimulointiohjelmallaan.

## 5 RAHOITUS

Projektiä rahoittaa Maa- ja metsätalousministeriö. Lisäksi sitä rahoittavat ja sen tuloksia hyödyntävät UPO Puulämpö Oy, Tiileritehtaat/Seppälän Tiili Oy, Neste Oy/NAPS, Imatran Voima Oy sekä Sähköenergialiitto Oy.

## 6 TULOKSET VUONNA 1996 JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN

Projekti käynnistyi vuoden 1996 alusta. Kansainvälinen ja kansallinen järjestäytyminen vei lähes kokonaan ensimmäisen puolivuotiskauden, jonka jälkeen päästiin itse tutkimustyöhön mm. rakentamaan koeympäristöjä. Koepolttosarja käynnistyi Suomessa elokuun lopussa ja jatkuu vuoden 1998 lopulle, projektin loppuun saakka.

Palamiskäyttäytymisen määrittyskokeitten hyödyntäminen on kaksitahoista, ne muodostavat osaltaan pohjan kansainväliselle yhteistyölle. Toisaalta ne antavat reaaliaikaista tietoa teollisuuden jatkuvalla tuotekehitykselle.

## 7 JATKOSUUNNITELMAT

Vuonna 1997 jatketaan työtä ohjelman mukaan. Suomessa jatkuvat palamiskäyttäytymisen määrittelykokeet kaupallisilla tulisijoilla. Suomalaisten tulisijatyypin erikoisongelmat viedään sisään Stuttgartissa käynnissä olevaan koeohjelmaan.

Projektissa saavutettuja tuloksia sovelletaan täällä suunniteltaviin ja valmistettaviin prototyyppisiin, jotka saatetaan tuotannonsuunnittelukuntoon projektin loppuun mennessä.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Koko projektista raportoidaan säännönmukaisesti puolivuositain. Osaraportteja tehdään sitä mukaan kuin osatutkimukset valmistuvat. Loppuraportti projektin päätyttyä 1998. Tutkimuksen välituloksista on sovittu tiedotettavan useissa artikkeleissa eri ammattilehdissä.



## STOKERIPOLTON KEHITTÄMINEN - Y306

Heikki Oravainen  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Osmo Nojonen  
Finntech Oy  
PL 402  
02151 ESPOO

Puh. (014) 672 611  
Fax (014) 672 596  
heikki.oravainen@vtt.fi

(09) 4561  
(09) 456 7007  
nojonen@innopoli.fi

### **Abstract: Development of stoker-burning technology**

The present horizontal stoker burners are based on downstream combustion principle, which means that the fuel and the flue gases flow into same direction. It is known that the propagation of the ignition front restricts the power in this kind of combustion while using moist fuels. The heat formed in pyrolysis and char burn out zones flows away from drying and ignition zones.

VTT Energy has an idea, by which it is possible to alter the horizontal stoker burner to operate so, that the heat formed in combustion of fuel flows towards the ignition and drying zones, hence the drying of the moist fuel and ignition of it are intensified remarkably.

## 1 TAUSTA

VTT Energian polttotekniikan ryhmällä oli vuonna 1993 Bioenergian tutkimusohjelman, VTT:n ja Vapo Oy:n rahoituksella käynnissä projekti, jonka tavoitteena oli kehittää 1990-luvun vaatimukset täyttävä hake/palaturvelämmitys-järjestelmä tehoalueelle 50 - 1000 kW, jonka olennaisia piirteitä ovat korkea hyötysuhde (yli 85 %), alhaiset päästöt (CO alle 0,1 %), hyvä käytettävyys ja kestävyys toteutettuna niin, että investointi- ja käyttökustannukset ovat mahdollisimman alhaiset. Samanaikaisesti Högfors Lämpö Oy:llä oli käynnissä teollisuusprojekti, jossa kehitettiin uusi ETNA Bioenergia kattilasarja samaan tehoalueeseen. VTT:n projektin tuloksena kehitettiin 200 kW:n tehoinen, hakeelle ja palaturpeelle soveltuvan stokeripoltin prototyyppi, joka on myöhemmin demonstroitu myös 500 kW:n tehoisena.

Nykyisissä stokeripolttimissa polttoperiaate on myötävirtapolttoa eli polttoaine ja savukaasut kulkevat samaan suuntaan. Tällaisessa polttotavassa kostealla polttoaineella tehoa rajoittaa syttymisrintaman etenemisnopeus. Pyrolyysi- ja hiilivöhykkeessä kehittyvä lämpö virtaa pois päin kuivumis- ja syttymisrintamasta.

VTT:llä on idea, jolla stokeripoltin voidaan muuttaa toimimaan niin, että pyrolyysi- ja hiilivöhykkeessä kehittyvä lämpö virtaa syttymis- ja kuivumisrintamaa kohti, jolloin kostean polttoaineen kuivuminen ja syttyminen huomattavasti tehostuu.

## 2 TAVOITTEET

Tavoitteena on kehittää vastavirtaperiaatteella toimivan stokeripolttimen prototyyppi, joka soveltuu myös kosteudeltaan 40 - 50 %:n polttoaineelle.

Suunnitellaan, rakennetaan ja koeajetaan prototyyppipoltin, joka täyttää seuraavat ehdot:

- 200 kW:n teho kun polttoaineen (hakkeen tai palaturpeen) kosteus on 45 %
- savukaasujen jäännöshappipitoisuus on korkeintaan 6 % nimellisteholla ajettaessa
- savukaasujen hiilimonoksidipitoisuus on korkeintaan 500 ppm nimellisteholla ajettaessa
- palamishyötysuhde on vähintään 98 %
- prototyyppi toimii yhtäjaksoisesti vähintään 100 tuntia

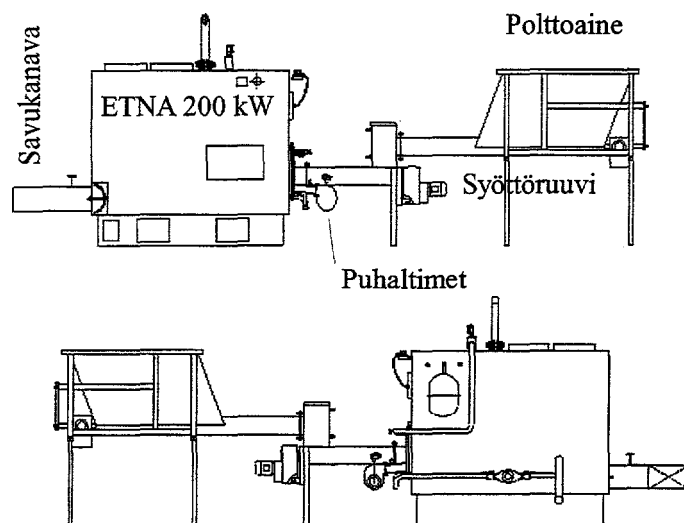
## 3 TOTEUTUS

Projektin koordinointi tapahtuu Finntech Oy:ssä. Projektin toteutetaan VTT Energian monipolttoainetekniikat-ryhmässä. Projektin toteutuksessa ja rahoituksessa ovat mukana myös Högfors Lämpö Oy ja Vapo Oy.

## 4 TEHTÄVÄT

### 4.1 PROTOTYYPIN SUUNNITTELU JA VALMISTAMINEN

Poltin on suunniteltu ja rakennettu asennettu VTT:llä Högfors Lämpö Oy:n valmistamaan 200 kW:n ETNA Bioenergiakattilaan. Polttoaineen syöttölaitteiston toimitti Masa-Tuote ky. Laitteisto on esitetty kuvassa 1.



*Kuva 1. Koelaitteisto.*

Polttoaine syötetään vakionopeudella pyörivällä ruuvilla polttoainesiilosta pienen välilaatikkoon. Siihen on asennettu pinnankorkeusvahdit, jotka ohjaavat syöttöruuvin toimintaa. Poltin on asennettu kattilan sisään. Polttoaine syötetään toisella ruuvilla, jonka pyörimisnopeutta voidaan säätää invertterin avulla. Palamisilma johdetaan polttimeen kahden puhaltimen avulla, joiden pyörimisnopeutta voidaan säätää myös invertterin avulla. Kattila on kytketty jäähdytyspiiriin lämmönvaihtimen kautta. Teho mitataan jatkuvasti. Savukaasujen pitoisuudet mitataan savukanavasta jatkuvatoimisesti. Invertterien asetusarvoja voidaan muuttaa tietokoneen avulla. Kaikki mittaustulokset kerätään tietokoneen muistiin myöhempää analysointia varten. Järjestelmään on rakennettu reaaliaikaista laskentaa, joka helpottaa kokeiden suoritusta.

## 4.2 PROTOTYYPPIPOLTTIMEN TOIMINTA-ARVOJEN TUTKIMINEN

Polttimen koeajot suoritetaan VTT:llä Jyväskylässä. Pääpolttoaineet ovat palaturve ja hake. Mittauksin todetaan saavutetaanko polttimelle asetetut tavoitteet. Suoritetaan palamis- ja päästöominaisuuksien karakterisointi (tarvittava viipymäaika ja tulipesän lämpötila, tulipesärasitus, arinarasitus, NO<sub>x</sub>-konversio, CO- ja hiilivety päästöt, PAH-päästöt, SO<sub>2</sub>-päästöt ja hiukkaspäästöt) erilaisilla biopolttoaineilla ja niiden seoksilla, jotka voivat tulla kysymykseen teholuokassa 50 - 1000 kW. Mitataan lämpötilaprofiili polttimen ja tulipesän sisältä sekä savukaasun koostumusprofiili polttimen ja tulipesän sisältä. Koeajot aloitetaan viikolla 8.

## 4.3 RAPORTOINTI

Koeajojen suorittamisen jälkeen raportoidaan tulokset.

## 5 RAHOITUS

| Rahoittaja                  | 1995       |
|-----------------------------|------------|
| Bioenergian tutkimusohjelma | 132 000 mk |
| Finntech Oy                 | 99 000 mk  |
| Vapo Oy                     | 50 000 mk  |
| Högfors Lämpö Oy            | kattila    |

## 6 AIKATAULU

Projektin alkuperäinen aikataulu oli 1.4.1995 - 31.12.1995. Projektin alkupe-  
räistä aikataulua on siirretty TEKESin luvalla. Laitteiston suunnittelu ja raken-  
taminen on toteutettu syksyn 1996 aikana ja koetoiminta toteutetaan keväällä  
1997. Loppuraportti valmistuu toukokuun loppuun mennessä.

# METSÄNOMISTAJIEN LÄMPÖYRITTÄMISEN TALOUS JA KEHITTÄMINEN - 129

Seppo Tuomi  
Työtehoseura  
PL 13  
05201 Rajamäki

Puh. (09) 2904 1200  
Fax (09) 2904 1285  
seppo.tuomi@tts.fi

## **Abstract: Economy and development of heating station enterprises managed by forest owners**

Private heating enterprises are a new form of heat generation for municipalities in Finland. In this type the entrepreneur acquires the fuel and takes care of the operation and monitoring of the heating station. The recompense is paid on the basis of the heat amount produced to avoid problems related to i.a. the energy content and quality of the fuel. The price of heat is typically bound with that of light fuel oil. Agreements based on the price development of district heat and chips are also used. In 1996 there were 36 such heating enterprises in operation in Finland, their total efficiency being 11.5 MW.

The aim of the project is to improve the feasibility of various forms of heating enterprises and to start new heating enterprises. The feasibility is studied both from the viewpoint of the entrepreneur and the municipality. The feasibility is improved by developing production chains of heating enterprises and the operability of the heating stations. Establishment of new heating enterprises is promoted by producing and disseminating information to possible entrepreneurs and municipalities.

## 1 TAUSTA

Lämpöyrittäjäyys on uusi lämmöntuotannon muoto Suomessa. Toimintamallissa yrittäjä hankkii polttoaineen sekä hoitaa laitoksen lämmitys- ja valvontatyöt. Yrittäjä saa korvauksen tuotetun lämpömäärän perusteella. Tällä välte-

tään mm. polttoaineen energiasisältöön ja laatuun liittyvät määritysongelmat. Lämmön hinta sidotaan yleisimmin kevyen polttoöljyn hintaan.

Varsinkin kuntien ja muiden julkisten yhteisöjen omistamat, kaukolämpöverkon ulkopuoliset rakennukset tarjoavat mittavan potentiaalin uusille lämpöyrittäjille. Myös pienehköjen kaukolämpölaitosten lämmöntuotanto on mahdollista hoitaa puun käyttöön perustuvalla lämpöyrittäjyydellä. Asiakaskuntaa voivat olla mm. yksityiset asunto-osakeyhtiöt.

Työteho-seura toteutti vuosina 1993 - 95 Bioenergian tutkimusohjelman hankkeen 108: "Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa". Hankkeen eräänä osatyönä kerättiin seuranta-aineisto kuudesta lämpöyrittäjien hoitamasta 50 - 400 kW:n kiinteistölämmityskohteesta. Aineiston pohjalta laadittiin mm. lämpöyrittäjille opaskirja, joka julkistettiin vuonna 1996.

Koska lämpöyrittäjyys on uusi toimintamuoto Suomessa, kaipaavat sen toteutusmuodot edelleen kehittämistä sekä toimintaketjujen että talouden osalta. Toiminnan kannattavuus on sekä yrittäjälle että asiakkaalle pitkän ajan toiminnassa ehdoton edellytys. Käynnissä olevien kohteiden lämmöntuotantoketjujen ja laitosten toimivuutta sekä kannattavuutta analysoimalla voidaan toiminnan kehittämiseksi luoda luotettavat perusteet.

Toimintamallin markkinointi yrittäjille ja kunnille vaatii myös panostusta. Sopivien käyttökohteiden etsiminen, toiminnan käynnistämisessä avustaminen sekä yrittäjien ja lämmöntuotannosta päättävien neuvonta ja tiedottaminen ovat teknologian kehittämisen ohella keskeisiä keinoja, joilla lämpöyrittäjyyteen perustuvaa lämmöntuotantoa on mahdollista lisätä.

## 2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on

- kehittää lämpöyrittämisen tuotantoketjujen ja lämpölaitosten toimivuutta
- parantaa lämpöyrittäjyyden eri toimintamutojen kannattavuutta
- käynnistää uusia, erimuotoisia lämpöyrittäjäkohteita sekä
- tuottaa ja jakaa tietoa yrittäjille, yrittäjyyttä harkitseville ja kunnille.

### 3 RAHOITUS VUONNA 1996

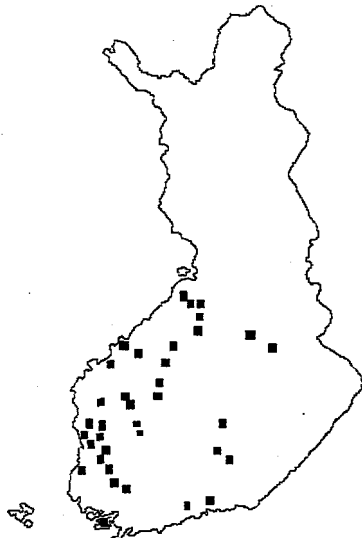
|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| Rahoittaja                                                  |            |
| Bioenergian tutkimusohjelma (maa- ja metsätalousministeriö) | 270 000 mk |
| Työteho-seura                                               | 202 000 mk |
| Yhteensä                                                    | 472 000 mk |

### 4 TOIMINTA JA TULOKSET VUONNA 1996

#### 4.1 LÄMPÖYRITTÄJÄKOhteiden INVENTOINTI

Lämpöyrittäjyyden kehittämistyön pohjaksi ja alueellisten hankkeiden koordinoimiseksi inventoitiin käynnissä ja suunnitteilla olevat lämpöyrittäjäkohdet. Yrittäjäkohteiden perustiedot hankittiin kuntiin, maakuntaliittoihin, metsäkeskuksiin, maaseutuelinkeinopiireihin, maaseutukeskuksiin ja metsänhoitoyhdistysten liittoihin lähetetyllä postikyselyllä, jota täydennettiin puhelinhaastatteluin. Inventoinnin tulokset julkaistiin Teho-lehdessä 1/1997.

Inventoinnin mukaan vuoden 1996 lopussa koko maassa oli toiminnassa 36 lämpöyrittäjäkohdetta (kuva 1). Huomion arvoista oli, että toiminta keskittyi voimakkaasti Länsi-Suomeen. Vuonna 1996 käynnistyi 12 laitosta. Suunnitteilla oli noin 60 yrittäjäkohdetta. Suunnitelluista suurimmat olivat teholtaan 2 MW, mutta valtaosa oli alle 0,5 MW:n laitoksia. Suunnitteilla olevista 20 laitoksen arvioitiin käynnistyvän vuonna 1997.



Kuva 1. Toiminnassa olevat lämpöyrittäjäkohteet vuonna 1996.

Toimivista lämpöyrittäjäkohteista 29 oli kiinteistölämpökeskuksia ja 7 aluelämpölaitoksia (taulukko 1). Laitosten yhteenlaskettu kpa-kattilateho oli 11,5 MW ja keskiteho 0,32 MW. Aluelämpölaitosten kpa-kattilatehot vaihtelivat 0,3 - 2,5 MW, kiinteistölämpökeskusten 0,06 - 0,5 MW. Lisä- tai varalämmönlähteenä oli kaikissa kohteissa öljy.

*Taulukko 1. Kpa-kattilatehot toimivissa lämpöyrittäjäkohteissa vuonna 1996.*

| Laitostyyppi          | Lukumäärä, kpl | Kpa-kattilateho, MW<br>Yhteensä | Keskimäärin |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|-------------|
| Aluelämpölaitos       | 7              | 7,0                             | 1,00        |
| Kiinteistölämpökeskus | 29             | 4,5                             | 0,16        |
| Yhteensä              | 36             | 11,5                            | 0,32        |

Yksittäiset yrittäjät hoitivat lämmöntuotannon 17:ssä ja yrittäjärenkaat 10 kohteessa (taulukko 2). Yrittäjärenkasiin kuului 2 - 4 yrittäjää. Yleisin töiden organisointitapa oli jakaa lämpökeskuksen hoito- ja päivystysvastuu 3 - 8 viikon vuoroihin. Kukin yrittäjä vastasi päivystysvuorollaan koko lämmöntuotantoketjusta.

*Taulukko 2. Toimintamuodot toimivissa lämpöyrittämiskohteissa vuonna 1996.*

| Laitostyyppi          | Yksi yrittäjä | Yrittäjä-rengas | Osake-yhtiö | Osuus-kunta | Kaikki |
|-----------------------|---------------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Aluelämpölaitos       | 1             | 1               | 2           | 3           | 7      |
| Kiinteistölämpökeskus | 16            | 9               | 4           | -           | 29     |
| Yhteensä              | 17            | 10              | 6           | 3           | 36     |

Osakeyhtiö oli kuuden lämpöyrittämiskohteen organisaatiomuoto. Osakeyhtiöt oli perustettu yleisimmin hakkeen korjuukaluston tai lämpölaitoksen vaatimien investointien takia. Osakeyhtiöillä oli yleensä myös muuta toimintaa, kuten hakeurakointia, lämpölaitosten suunnittelua ja energia-alan konsultointia.

Metsänomistajien energiaosuuskunta hoiti kolmea aluelämpölaitosta, joista yksi oli myös osuuskunnan rakentama ja omistama. Jäseniä osuuskunnissa oli 25 - 29. Osuuskuntakohteissa lämpölaitoksen hoitoon eivät osallistuneet kaikki osuuskunnan jäsenet, vaan tehtävä oli muutaman jäsenen vastuulla. Pääosa jäsenistä osallistui pelkästään polttopuun korjuuseen ja sen toimittamiseen lämpölaitokselle.

Yrittäjän ja lämmönostajan väliset sopimusehdot vaihtelivat. Kilpailevat polttoaineet määräisivät lämmön hinnoitteluperusteet. Pienissä kohteissa hake oli vaihtoehto kevyelle polttoöljylle. Suurimmissa kohteissa kilpaileva polttoaine oli raskas polttoöljy. Myös laiteinvestoinnit ja toimitussopimusten pituus vaikuttivat lämmöstä maksettavaan korvaukseen. Lämpölaitosinvestoinnit oli tehnyt kunta 22:ssa, lämpöyrittäjä 5:ssä, kunta ja yrittäjä yhdessä 9 kohteessa.

Lämmöntoimitussopimusten pituudet vaihtelivat toimivissa kohteissa 1 - 10 vuoteen. Lämmön hinta oli sidottu yksinomaan kevyen polttoöljyn hintaan joka toisessa sopimuksessa. Muissa sopimuksissa lämmön hinnan määrittely- ja tarkistusperusteena käytettiin mm. kaukolämmön ja hakkeen hintakehitystä.

Yhtä palaturpeella toimivaa laitosta lukuunottamatta puu oli muiden laitosten pääpolttoaineena. Puupolttoainetta laitokset käyttivät vuodessa yhteensä 54000 i-m<sup>3</sup>, josta sahausjätettä oli 6500 i-m<sup>3</sup>. (taulukko 3). Sahausjätteestä noin puolet oli sahauspintahaketta. Loput oli sahanpurua ja puunkuorta, jota käytettiin yhdessä aluelämpölaitoksessa. Metsähakkeesta aluelämpölaitokset käyttivät neljä viidesosaa ja sahausjätteestä kaksi kolmasosaa.

Polttoaineesta oli lämpöyrittäjien omasta metsästä hankittua puuta 46 % ja ostettua 54 %. Hakkeen käyttömäärästä 85 % oli yrittäjien omilla hakkureilla tehtyä, 15 % vieraalla urakaoitsijalla teetettyä.

*Taulukko 3. Puupolttoaineen vuotuinen käyttömäärä lämpöyrityskohteissa.*

| Laitostyyppi          | Lukumäärä<br>kpl | Metsähake<br>i-m <sup>3</sup> /a | Sahausjäte<br>i-m <sup>3</sup> /a | Yhteensä<br>i-m <sup>3</sup> /a |
|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Aluelämpölaitos       | 7                | 37 400                           | 4 400                             | 41 800                          |
| Kiinteistölämpökeskus | 28               | 10 200                           | 2 100                             | 12 300                          |
| Yhteensä              | 35 <sup>1)</sup> | 47 600                           | 6 500                             | 54 100                          |

1) Toimivien kohteiden kokonaismäärä 36, joista yksi toimi palaturpeella.

## 4.2 SEURANTATUTKIMUS

Lämmityskausilla 1993 - 95 lämpöyrittäjien seurantatutkimuksessa kerätty aineisto analysoitiin ja tulokset julkaistiin Työtehoseuran monisteessa 1/1996 ja Teho-lehdessä. Seurantatutkimuksessa oli mukana viisi 50 - 400 kW:n hake- ja tehokäyttöistä kiinteistöä. Lämpöyrittäjät kirjasiivat päivittäin työhön kulu- neen ajan työvaiheittain, polttoaineiden määrät sekä lämpökeskuksessa tuote-

tun lämpömäärän. Aineistoa kerättiin myös haastattelemalla lämpöyrittäjiä ja kiinteistöjen hoidosta vastaavia kuntien edustajia.

Hakkeen keskikulutus tuotettua energiayksikköä vaihteli seurantakohteissa 1,48 - 1,77 i-m<sup>3</sup>/MWh (taulukko 4). Hakkeen kosteus vaihteli kohteittain 20 - 40 %. Hakkeen liiallisesta kosteudesta aiheutuneita ongelmia seurantakohteissa ei ollut. Pienimmissä kohteissa käytettiin yleisesti rankahaketta, suuremmissa myös kokopuusta tehtyä haketta.

*Taulukko 4. Hakkeen kulutus ja tuotettu lämpömäärä seurantatutkimuksen lämpöyrittäjäkohteissa.*

| Seurantakohde                                                |       |       |          |             |             |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|----------|-------------|-------------|
|                                                              | 1     | 2     | 3        | 4           | 5           |
| Lämmitettävä kiinteistö                                      | Koulu | Koulu | Koulu    | Vanhainkoti | Vanhainkoti |
| Lämpökeskusinvestoija                                        | Kunta | Kunta | Yrittäjä | Kunta       | Yrittäjä    |
| Yrittäjien lukumäärä                                         | 3     | 1     | 1        | 3           | 1           |
| Laitoskoko, kW                                               | 50    | 90    | 150      | 300         | 400         |
| Seurantakauden pituus, kk                                    | 9     | 8     | 4        | 12          | 12          |
| Tuotettu lämpömäärä MWh                                      | 117   | 107   | 96       | 624         | 750         |
| Hakkeen kulutus, i-m <sup>3</sup>                            | 93    | 194   | 159      | 921         | 1 325       |
| Hakkeen kulutus/tuotettu lämpöyksikkö, i-m <sup>3</sup> /MWh | 1,64  | 1,81  | 1,66     | 1,48        | 1,77        |

Hakelämmityksen huollosta johtuneiden lyhyiden katkojen aikana käytettiin kevyttä polttoöljyä. Kevyen polttoöljyn osuus tuotetusta lämmöstä oli neljässä kohteessa alle 3 %. Yhdessä kohteessa kevyttä polttoöljyä käytettiin toisena pääpolttoaineena lämmön kulutushuippujen aikana ja sen osuus oli noin kolmannes tuotetusta lämmöstä.

Taulukossa 5 on esitetty lämpökeskuksen polttoainehuollossa ja lämmitystyössä kulunut työaika tuotettua lämpöyksikköä kohti. Työaika hakkeen kuljetuksessa lämpökeskukselle ja lämmityksessä vaihteli 0,47 - 1,12 h/MWh, josta lämmitystyöhön kului 0,14 - 0,51 h/MWh. Kohteessa, jossa ei käytetty lainkaan tilan ulkopuolista työvoimaa, kokonaistyöaika tuotettua lämpöyksikköä kohti oli 2,6 h/MWh.

Eniten aikaa kului kaikissa kohteissa lämmityksen valvontaan. Lämpökeskuksella käyntien määrä lämmitysvuorokautta kohden vaihteli 0,43 - 1,12. Val-

vontakäyntejä tarvittiin vähiten automaattisin hälytysjärjestelmin varustetuissa yrittäjäkohteissa.

Polttopuun korjuun (hakkuu ja metsäkuljetus) tuottavuus vaihteli kohteittain 0,4 - 0,8 m<sup>3</sup>/h. Haketuksen tuottavuus oli 3,8 - 7,5 i-m<sup>3</sup>/h, kun lämpöyrittäjät hakettivat välivarastolla maataloustraktorin perävaunuun. Polttoaine kuljetettiin lämpökeskuksille maataloustraktorikalustolla. Kuljetusetäisyydet olivat 2 - 11 km ja hakekuormien koot 2,5 - 10 i-m<sup>3</sup>. Kun kustannusten laskennassa lähtökohtana pidettiin olemassa olevan kaluston lisäkäyttöä, hakepuun korjuun kustannukset omana työnä ilman palkkaa olivat 18 - 23 mk/MWh, haketuskustannukset 10 - 23 mk/MWh ja hakkeen kuljetuskustannukset 5 - 22 mk/MWh.

*Taulukko 5. Seurantatutkimuksen lämpöyrittäjien käyttämä kokonaistyöaika tuotettua lämpö määrää kohti lämmöntuotantoketjun eri työvaiheissa. Luvut on esitetty lihavoituna, kun työ on tehty kokonaan omana työnä. Polttopuun korjuun luvut perustuvat osa-aineistoihin.*

| Työvaihe                                         | Seurantakohde                              |             |                    |                    |                    |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                  | 1                                          | 2           | 3                  | 4                  | 5                  |
|                                                  | Työajan käyttö/tuotettu lämpö määrä, h/MWh |             |                    |                    |                    |
| Polttopuun korjuu                                | <b>0,64</b> <sup>1)</sup>                  | <b>1,16</b> | 0,15 <sup>2)</sup> | 0,71 <sup>3)</sup> | 0,56 <sup>4)</sup> |
| Haketus ja hakkeen kuljetus varastoon            | 0,23 <sup>5)</sup>                         | <b>0,40</b> | <b>0,43</b>        | -                  | -                  |
| Hakkeen kuljetus lämpökeskukselle ja lämmitystyö | <b>1,12</b>                                | <b>1,08</b> | <b>0,87</b>        | <b>0,47</b>        | 0,54 <sup>6)</sup> |
| Yhteensä                                         | 1,99                                       | <b>2,64</b> | 1,45               | 1,18               | 1,10               |

- 1) Polttopuusta 34 % sahauspintaa.
- 2) Metsäkuljetus omalla, hakkuu vieraalla työvoimalla.
- 3) Metsäkuljetuksesta 40 % teki metsäkoneyrittäjä. Polttoaineesta 13 % sahanpurua ja 5 % sahauspintaa.
- 4) Metsäkuljetuksen teki metsäkoneyrittäjä, hakkuusta 40 % vieras työvoima.
- 5) Hakeyrittäjä teki 46 % hakkeesta.
- 6) Polttoaineen kuljetti lämpökeskukselle hakeyrittäjä.

Lämmön toimittamisesta maksettu korvaus ilman investointikustannuksia huomioon ottavaa perusmaksua oli seurantakohteissa 92 - 204 mk/MWh. Energiayksikön hinta määriteltiin kolmessa kohteessa yksinomaan kevyen

polttoöljyn hintaan perustuvalla laskentakaavalla. Kahdessa kohteessa korvaus perustui kunnan kaukolämpölaitoksen myymän lämmön hintaan. Lämmön hinta oli näissä kohteissa lämpöyrittäjille edullisempi kuin muissa kohteissa. Metsänparannusvaroista maksettu tuki toi lisätuloa neljässä kohteessa. Metsänparannustuen osuus lämpöyrittäjien tuloista oli 6 - 16 %.

Lämpöyrittäjille jäi neljässä kohteessa omalle työlle laskettua katetta 40 - 77 mk/h, kun ei otettu huomioon polttoaineen hankinnassa käytetyn maatalous-traktorikaluston korkokustannuksia eikä vakuutus- ja säilytyskuluja (taulukko 6). Kate oli 36 - 71 mk/h, kun edellä mainitut kustannustekijät laskettiin mukaan. Laskettuun katteeseen sisältyi lämpöyrittäjän palkka sivukuluineen sekä yrittäjän riski.

Yhden yrittäjän toiminta oli tappiollista. Yrittäjän lämmöstä saama korvaus oli selvästi pienempi kuin muissa kohteissa. Yrittäjällä ei ollut aiempaa kokemusta hakelämmityksestä kuten muissa kohteissa. Laitoksen tekniset häiriöt lisäsivät kustannuksia, mikä oli osasyynä toiminnan tappiollisuuteen.

Lämmityskausi oli seurannassa mukana olleille joko ensimmäinen tai toinen. Yrittäjien kokemuksen ja taidon lisääntyessä toiminta tehostuu, mikä parantaa myös kannattavuutta.

*Taulukko 6. Lämpöyrittämisen katelaskelma seurantakohteissa. Katteessa A ei otettu huomioon traktorikaluston pääoman korkoa eikä vakuutus- ja säilytyskuluja ja katteessa B ne ovat mukana. Laskelmat on tehty ilman ALV:a. Kate sisältää yrittäjän työpalkan ja riskin.*

|                         | Kohde<br>1     | Kohde<br>2     | Kohde<br>3           | Kohde<br>4     | Kohde<br>5     |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| <b>TULOT, mk</b>        |                |                |                      |                |                |
| Lämmönmyynti            | 23 940         | 18 450         | 14 880 <sup>1)</sup> | 92 590         | 56 280         |
| MP-tuet                 | 1 500          | 1 500          | 2 990                | -              | 11 200         |
| <b>YHTEENSÄ</b>         | <b>25 440</b>  | <b>19 950</b>  | <b>17 870</b>        | <b>92 590</b>  | <b>67 480</b>  |
| <b>KUSTANNUKSET, mk</b> |                |                |                      |                |                |
| Polttopuu/raaka-aine    | 800            | 770            | -                    | 5 380          | 4 240          |
| Hakkuu                  | 830            | 1 450          | 2 540                | 5 350          | 26 500         |
| Metsäkuljetus           | 830            | 1 320          | 430                  | 8 110          | 12 190         |
| Haketus                 | 2 790          | 1 280          | 1 480                | 12 060         | 18 550         |
| Hakkeen kuljetus        | 1 090          | 1 350          | 2 150                | 4 800          | 14 570         |
| Hakkeen kuivaus         | -              | 1 000          | 820                  | 6 000          | -              |
| Matkat lämmitystyöstä   | 1 100          | 410            | 110                  | 4 310          | 5 170          |
| <b>YHTEENSÄ</b>         | <b>7 440</b>   | <b>7 580</b>   | <b>7 530</b>         | <b>46 010</b>  | <b>81 220</b>  |
| <b>TOIMINNAN KATE</b>   | <b>+18 000</b> | <b>+12 370</b> | <b>+10 340</b>       | <b>+46 580</b> | <b>-13 740</b> |
| Kate A, mk/h            | 77             | 40             | 74                   | 61             | -16            |
| Kate B, mk/h            | 71             | 36             | 69                   | 57             | -16            |

1) Vajaa lämmityskausi

#### 4.3 INFORMAATIOITOIMINTA

Yhteistyössä paikallisten neuvonta- ja koulutusorganisaatioiden kanssa järjestettiin seminaareja ja koulutustilaisuuksia lämpöyrittäjyydestä eri osissa maata. Vuonna 1996 osallistuttiin 11 tilaisuuteen. Näyttely- ja messutapahtumissa esiteltiin lämpöyrittäjyyden toteuttamisvaihtoehtoja. Projektissa aloitettiin lämpöyrittäjyyttä käsittelevän kalvosarjan laadinta.

## 5 SUUNNITELMAT VUODELLE 1997

Vuonna 1997 julkaistaan tulokset lämpöyrittäjyyden kannattavuutta yrittäjän ja kunnan näkökulmista käsittelevistä osatöistä, joiden aineistojen keruu aloitettiin vuonna 1996.

Yhteistyössä alueellisten neuvonta- ja koulutusorganisaatioiden kanssa jatketaan vuonna 1996 aloitettuja lämpöyrittäjyyden neuvonta- ja koulutustilaisuuksia. Lämpöyrittäjyyden toteuttamisvaihtoehtoja esitellään näyttely- ja messutapahtumissa. Julkaistaan lämpöyrittäjyyttä käsittelevä kalvosarja.

Yhteistyössä alueellisten organisaatioiden kanssa avustetaan uusien lämpöyrittäjäkohteiden käynnistämisessä eri osissa maata.

## 6 RAPORTIT JA JULKAISUT

*Ryynänen, S.* 1996. Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa. Bioenergian tutkimusohjelman tutkimusprojektin 108 (1993-1995) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 350. 63 s.

*Solmio, H. - Tuomi, S. - Valkonen, J.* 1995. Opas lämpöyrittäjälle. Työtehoseuran julkaisuja 346.

*Solmio, H.* 1996. Lämpöyrittäjät - uusi ammattikunta maaseudulle. Teho 1.

*Solmio, H.* 1996. Lämpöyrittäjien toiminta ja sen kannattavuus. Työtehoseuran monisteita 1/1996 (43).

*Solmio, H.* 1996. Lämmöntuotanto hakkeella toimii Tallmo'ssa. Bioenergian tutkimusohjelman tiedotuslehti 3/96.

*Solmio, H.* 1997. Lämpöyrittäminen hakkeella yleistyy. Teho 1.

*Tuomi, S.* 1996. Pienimuotoinen lämpöyrittäjyys. Bioenergian tutkimusohjelman tiedotuslehti 3/96.

*Tuomi, S.* 1996. Lämpöyrittäjät kunnan energiantuottajina. Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus, Päijät-Hämeen maaseutukeskus.

Lämpöyrittäminen puuenergialla- tapahtuma Lahdessa 20.11.1996. Seminaariraportti.

*Tuomi, S.* 1997. Practical experiences of small-scale heating entrepreneurship in Finland. IEA Bioenergy. Forest management for bioenergy. Proceedings of a joint meeting of Activities 1.1, 1.2, and 4.2 of Task XII in Jyväskylä, Finland. September 9 and 10, 1996. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers. (käsikirjoitus)

# KARSIMAKONEEN JA SEN MITTAUSAUTOMATIIKAN KEHITTÄMINEN - Y119

Esko Pöytäsaari  
Eskon Paja  
43900 Kinnula

Puh. (014) 485 440  
Käsipuhelin 049 298 186  
Fax (014) 485 440

## **Abstract: Development of a chain limber and its measuring automatics**

A new control system and measuring automatics are developed for a patented chain limber mountable to a farm tractor. The chain limber produces pulp wood and also limbed fuel logs. The project will be carried out in three stages: definition of the control system, development of the control system, and operational testing of the control system and the chain limber. The final stage of the project will be carried out in co-operation with the Work Efficiency Association.

## 1 TAUSTA

Karsinnan suuri osuus työajasta on keskeinen syy manuaalihakkuun kalleuteen pienpuuleimikossa. Esko Pöytäsaari Kinnulasta on kehittänyt maatalous-traktokäyttöisen ketjukarsijan. Patentoidulla keksinnöllä pyritään alentamaan polttorankojen ja ensiharvennuskuitupuun hakkuun kustannuksia koneellistamalla karsinta. Ketjukarsintalaite kytketään maataloustraktorin kolmipisteenostolaitteeseen (kuva). Laitetta voidaan käyttää joko varastolla tai metsässä. Maksimiläpimitta karsittavalle puulle on noin 15 cm. Karsijaan voi syöttää myös useita pieniä puita samalla kertaa. Syöttöaukon vetorullat työntävät puun kahden eri tasossa olevan vaaka-akselin väliin. Molemmilla akseleilla on neljä ketjua, jotka pyöriessään piiskaavat oksat irti. Karsittu runko tulee toisen rullaparin avustama laitteesta ulos.



*Kuva 1. Esko Pöytäsaaren kehittämä maataloustraktorin ketjukarsintalaite (kuva: Työtehoseura ry).*

## 2 TAVOITE

Karsintalaitteeseen on tehty pituusmitta-automatiikka, joka ohjaa hydraulikäyttöistä ketjusahaa. Automatiikka on toteutettu TTL-logiikkapiireillä. Siihen ei voida lisätä ominaisuuksia tekemättä muutoksia koko automatiikkaan.

Hankkeen tavoitteena on kehittää karsintalaitteeseen aiempaa monipuolisempi ja helppokäyttöisempi mutta kuitenkin kustannuksiltaan edullinen ohjaujärjestelmä. Tällöin olisi mahdollista mm. karsitun puutavaran tilavuuden mittaus ja mittaustulosten tulostaminen.

## 3 TOTEUTUS

Hanke toteutetaan kolmessa vaiheessa vuosina 1996 - 97:

1. Ohjausjärjestelmän määrittely

2. Ohjausjärjestelmän kehittäminen

3. Ohjausjärjestelmän ja karsintalaitteen toimintojen testaaminen ja tarvittavien teknisten muutosten toteuttaminen

Esko Pöytäsaari toteuttaa työvaiheet 1 ja 2 itsenäisesti sekä työvaiheen 3 yhteistyössä Työtehoseuran kanssa.

## 4 TEHTÄVÄT VUONNA 1996 JA TYÖSUUNNITELMA 1997

Vuonna 1996 toteutettiin osatehtävä 1, jossa määriteltiin ohjausjärjestelmän tehtävät, komponentit ja toimintavaihtoehdot. Lisäksi käynnistettiin laitesuunnittelu.

Vuonna 1997 kehittäminen jatkuu niin, että valmistuu ensimmäinen karsintalaitversio uudella ohjausjärjestelmällä varustettuna. Ohjausjärjestelmän ja karsintalaitteen toiminnot testataan Työtehoseuran kanssa kenttäkokein ja tehdään laitteistoihin tarvittavat muutokset.

## 8 JULKAISUT

Karsijalla polttopuuta ja kuitutavaraa. Metsälehti 12/1996.



## ENERGIAPUUVARAT



# ENERGIAPUUVARAT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN - D105

Ari Keskimölä  
Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio  
Soidinkuja 4  
00700 Helsinki

Puh. (09) 156 21  
Fax (09) 1562 232

**Abstract: Energy wood reserves and the utilization conditions of them  
1/1994 - 4/1997**

The objective of the D105 project was to reduce the harvesting and procurement costs of energy wood by developing a model for establishing the procurable volumes of energy wood. This will be done by using forestry planning data on private forests and numeric road data. Position data (GRASS) and database (Ms Access) programs are used in the model. The project was launched in the beginning of 1994 and will run until April 1997. Basic information needed was collected from pilot areas in cooperation with the PUUHA project launched in Mikkeli. Later the work continued with the Forest Energy Project of Central Finland.

The position-data program is used to produce forest and road haulage distances for each forest figure. The distance data is then transferred to the database program. In the database program the procurement costs of energy wood are established by using cost models based on productivity curves. After that, it is possible to establish if the figure is economically worthwhile for energy wood harvesting purposes or not. By using this information, the model calculates first the amount of energy wood on the figure and secondly the procurable volumes of energy wood that can be delivered to the local heating plant.

## 1 PROJEKTIN TAUSTA

Energiapuu on liiketaloudellisesti kilpailukykyinen polttoaine vain edullisissa hankintaoloissa, joten puu tulee saada käyttöpaikalle ilman pitkiä kuljetus-

matkoja ja turhia lisäkustannuksia. Tähän asti energiapuuselvityksissä ei ole voitu ottaa huomioon metsikkökuviokohtaisia korjuuedellytyksiä, vaan laskelmat ovat perustuneet erilaisiin keskiarvo-olettamuksiin. Kuntakohtaisten tulosten luotettavuus on ollut huono, koska kohteiden energiapuun hankintakustannuksia käyttöpaikalle toimitettuna ei ole voitu selvittää tarkasti. Polttolaitosinvestointien pohjaksi on kaivattu luotettavia energiapuulaskelmia hankinta-alueen kannattavasti korjattavista energiapuumääristä.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Projektin tavoitteena on energiapuun hankintakustannusten alentaminen alueellisilla energiapuuselvityksillä sekä energiapuun korjuun ja käytön edistämisen puitteiden selvittämisellä. Alueellisiin energiapuuselvityksiin kehitettiin AluEpuu-menetelmä (Alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä), jolla voidaan laskea metsikkökuvion tarkkuudella onko energiapuun korjuu kohteesta kannattavaa. Aineistona käytetään yksityismetsien metsäsuunnitelmatietoja sekä numeerisia tie- ja yleiskarttoja. Paikkatietojärjestelmää hyödyntäen laskelmissa voidaan huomioida koko energiapuun hankintaketjun kustannukset.

## 3 PROJEKTIN TOTEUTUS, TEHTÄVÄT JA RAHOITUS

Projektin toteuttamisvaiheessa ovat olleet mukana PUUHA-projekti Mikkelin seudulla ja Keski-Suomen metsäenergia -projekti. Alueelliset metsäkeskukset, Joensuun yliopisto, Metsäteho, Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia ovat osallistuneet hankkeeseen tarjoamalla aineistoja, tutkimustuloksia ja menetelmiä sovellettavaksi laskentamenetelmän kehittämiseen.

AluEpuu-menetelmän kehittäminen alkoi Mikkelin ja sen ympäristökuntien alueella, josta saatiin arvokkaita kokemuksia menetelmän soveltamisesta laajalaaisiin analyysihin. Myöhemmin kehittäminen jatkettiin yhteistyössä Keski-Suomen metsäenergia -projektin kanssa.

AluEpuu-menetelmän täysimääräisessä hyödyntämisessä on tietosuojaan liittyviä asioita, joihin pyritään projektin aikana etsimään juridisesti toimivat ratkaisut. Energiapuun korjuuta ja käyttöä pyritään lisäksi edistämään huomalla malli energiapuun hankintasopimuksesta, selvittämällä hankintaan liittyvät

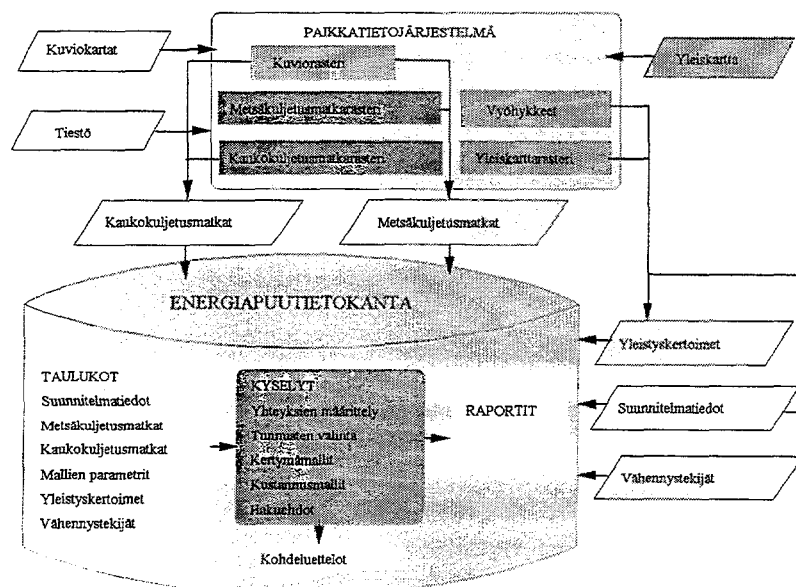
ongelmat ja energiapuun hankintaan saatavan tuen lähteet. Lisäksi selvitetään erilaisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikutukset energiapuun korjuuseen.

Projekti kuuluu Bioenergian tutkimusohjelman demonstraatiohankkeisiin. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion lisäksi sitä rahoittaa kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto.

| Rahoittaja        | 1994    | 1995    | 1996    | 1997    |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
|                   | mk      | mk      | mk      | mk      |
| Tapio             | 135 000 | 225 000 | 180 000 | 60 000  |
| KTM/energiaosasto | 115 000 | 195 000 | 140 000 | 50 000  |
| Yhteensä          | 250 000 | 420 000 | 320 000 | 110 000 |

#### 4 TULOKSET VUONNA 1996

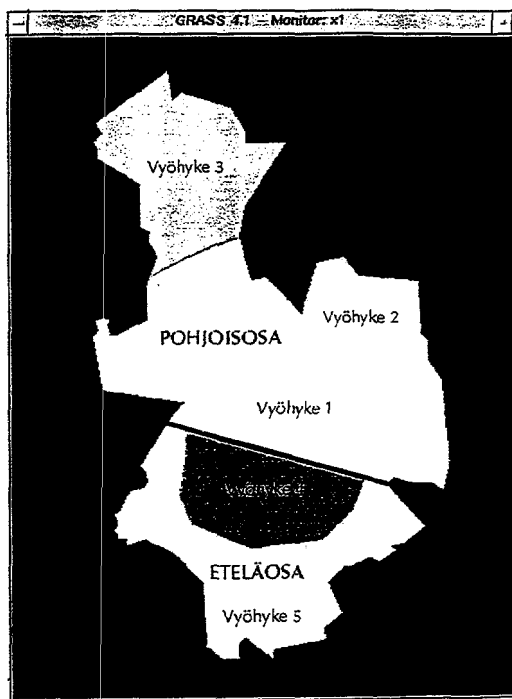
Vuonna 1996 projektissa keskityttiin laskentamenetelmän kehittelyn loppuunviemiseen. Kehittelyn tueksi tehtiin kaksi kyselyä, jotka lähetettiin alueellisille metsäkeskuksille sekä mahdollisille energiapuulaskelmien tilaajille tai muuten puuenergian kanssa tiiviisti toimiville tahoille. Kyselyjen perusteella laskentamenetelmää kehitettiin sekä paikkatietojärjestelmän hyödyntämisen että tulosteiden osalta (kuva 1).



Kuva 1. AluEpuu-menetelmän yleiskuvaus.

Pilottivaiheessa paikkatietojärjestelmää hyödynnettiin vain energiapuun metsäkuljetusmatkojen laskennassa. Kehitystyön jatkuessa myös maantiekuljetusmatkojen laskentaan liittyvät ongelmat saatiin ratkaistua. Tulosten luotettavuutta saatiin siten parannettua aiempaan suoraan kartalta tapahtuvaan matkojen arviointiin verrattuna.

Tulosten luotettavuutta parannettiin lisäksi tulosten yleistämisperiaatteen osalta. Aiemmin tulokset yleistettiin suoraan käyttämällä hyväksi kunnan laskenta-aineiston metsämaa-alan ja kokonaismetsämaa-alan suhdetta. Tämä aiheutti epätarkkuutta tuloksiin, koska maantiekuljetusmatka vaikuttaa energiapuun hankintakustannuksiin. Käyttöpaikan lähelle painottuva aineisto aiheutti tuloksiin yliarvioita ja kauas painottuva aineisto aliarvioita. Lisäksi puuston rakenteelliset erot asutuskeskuksista pois päin siirryttäessä jäivät huomioimatta. Tämän takia tulosten yleistäminen muutettiin maantiekuljetusmatkavyöhykkeittäiseksi, jolloin kullakin vyöhykkeellä oleva aineisto tulee yleistetyksi vain kyseiselle vyöhykkeelle (kuva 2). Vyöhykkeiden metsämaa-alojen määrittämisessä käytetään hyväksi digitaalista yleiskarttarasteria.



Kuva 2. Esimerkki maantiekuljetusmatkavyöhykkeittäisestä yleistämisestä Iitin kunnan alueelta. Puuston rakenteen takia kunta jaettiin Salpausselän kohdalta kahtia. Tulokset laskettiin erikseen etelä- ja pohjoisosalle, jolloin yleistysvyöhykkeiden määräksi tuli yhteensä viisi.

Pilottialueen laskennoissa käytettiin Postgress-tietokantaohjelmaa, joka korvattiin myöhemmin Windows-ympäristössä toimivalla Microsoft Access-ohjelmalla. Tulostettavien raporttien määrää vähennettiin kyselyistä saatujen kommenttien perusteella. Raporteissa pyritään keskittymään energiapuun käytön edistämisen kannalta merkittävimpiin kysymyksiin. Raportit sisältävät neljä raporttiryhmää: taustatiedot, päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuu, ensiharvennusmänniköiden integroitu korjuu ja nuoren metsän hoitokohteet. Raporttiryhmät sisältävät yhteensä 17 vakioraporttia, joita voidaan haluttaessa muuntaa tietojen tarvitsijan toiveiden mukaisiksi. Kustannusmallien laskenta-parametrit on helposti muunnettavissa uusiin tilanteisiin. Myös uusia kustannusmalleja voidaan tarvittaessa laatia tietokantaan. Ainoana ehtona on se, että kustannukset voidaan johtaa matemaattisesti käyttämällä hyväksi metsäsuunnitelma- ja kuljetusetäisyystietoja.

## 5 JATKOSUUNNITELMAT

Tapion jatkosuunnitelmiin kuuluu AluEpuu-menetelmän hyödyntäminen kunnittaisissa tai polttolaitoskohtaisissa energiapuuselvityksissä. Laskentamahdollisuuksia markkinoidaan puuenergian käytön edistämisprojekteille, kunnille ja yksityisille energiayhtiöille.

## 6 LÄHTEET JA JULKAISUT

*Ahonen, A., Leiviskä, V. & Kiukaanniemi, E.* 1994. Pohjois-Suomen kunnallisten lämpölaitosten metsähakkeen käytön aluetaloudelliset vaikutukset ja yhteiskunnallinen kannattavuus. Oulun Yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 1994:99. 54 s.

Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 6, OSA I. Puupolttoaineiden tuotanto. VTT Energia. Jyväskylä 1995.

*Hakkila, P.* 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Summary: Crown mass of trees at the harvesting phase. Folia Forestalia 773. 24 p.

*Hakkila, P. & Kalaja, H.* 1993. Ketjukarsinta ensiharvennusmännikön korjuuratkaisuna. Summary: Flail delimbing in the first thinning of Scots pine. Folia Forestalia 803. 31 p.

*Imponen, V.* 1993. Pienpuun hankinta; kustannukset ja kannattavuus. Esitelmä Sytyttääkö -seminaarissa Joensuussa 24.9.1993. 9 s.

*Keskimölä, A.* 1994. Puuenergian hankinta ja käyttö Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 522. 30 s.

*Keskimölä, A.* 1996. Metsäenergiavarat selville luotettavasti. *Puuenergia* 1/1996. s. 16–17.

*Kärhä, K.* 1994. Hakkuutähteen talteenotto osana puunkorjuun kokonaisurakointia. Metsäteknologian syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 46 s.

*Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J.* 1995. Energiapuu osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. Metsäntutkimuslaitos - Vantaan tutkimuskeskus.

*Paajala, J. & Kiukaanniemi, E.* 1994. Biopolttoaineiden hintarakenne ja biopolttoainevarat ja varojen sekä käytön tasapaino Pohjois-Suomessa. Oulun Yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 1994:97. 39 s.

*Saksa, T.* 1994. Etelä-Savon energiapuuprojekti. Esitelmä Bioenergia '94 -seminaarissa 1.11.1994. 6 s.

*Saksa, T. & Tuovinen, J.* 1994. Metsähakkeen raaka-ainevarat Mikkelin seudulla. Helsingin Yliopisto. Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Mikkeli. Julkaisuja 35. 19 s.

*Saksa, T. & Auvinen, P.* 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 11:265-274.

*Vesterlin, V.* 1996. Energiapuun tuotantomahdollisuudet yksityismetsissä. *Teho* 1/1996. s. 23–26.

*Vesterlin, V.* 1996. Metsäenergian tuotantomahdollisuudet yksityismetsissä. *Työtehoseuran metsätiedote* 9 (562). 4 s.

## POTENTIAALISET HAKKUUMAHDOLLISUUDET JA ENERGIAPUUVARAT ETELÄ-SUOMESSA - D110

Mauno Pesonen, Juha Malinen  
METLA  
PL 18  
01301 Vantaa

Puh. (09) 8570 5778  
Fax (09) 8570 5809  
mauno.pesonen@metla.fi

### **Abstract: Logging potentials and energy wood resources in southern Finland**

Development of energy wood resources in Southern Finland over the next 40 years was studied on the basis of four cutting scenarios. Development of energy wood accrual was considered on the production cost levels of FIM 45/MWh and FIM 55/MWh in scenarios describing sustainable cutting potential, long-term cutting plans of forest owners and cutting of industrial mechanizable wood over the years of depression. Effects of limitations concerning energy wood harvesting from meagre forest land and bogs on the energy wood accruals of sustainable cutting potential were also studied.

The energy wood potential in Southern Finland was estimated at 3.6 million m<sup>3</sup>/a on the production cost level of FIM 45/MWh. The energy wood accrual equal to sustainable cutting potential was 70 % of the energy wood potential. The energy wood potential increased to 8.8 m<sup>3</sup>/a when the production cost level increased to FIM 55/MWh, the energy wood accrual of sustainable cutting potential being 51 %. The energy wood accruals according to felling plans of forest owners and cuttings over the years of depression were smaller than that of sustainable cutting potential, due to smaller loggings.

Limitation of energy wood harvesting from meagre forest land and bogs would reduce the energy wood accrual of sustainable cutting potential by 22%. This would involve a reduction of one million m<sup>3</sup> in the harvesting potential.

The energy wood accrual of sustainable cutting potential in Finland was 5.8 million m<sup>3</sup>/a on the production cost level of FIM 55/MWh. This is equal to the aim set by the BIOENERGIA Research Programme for the use potential of 1 Mtoe (equivalent oil tonne) on the production cost level of FIM 45/MWh.

Practically all energy wood was accrued from logging residues from final felling at spruce-dominant sites. Harvesting of first-thinning forests with an integrated method of industrial merchandable wood and energy wood or separate harvesting were not competitive with the conventional harvesting of merchandable wood.

## 1 TAUSTA

Kotimaisesta raakapuusta käytettiin vielä 1950-luvun alussa suuri osa kiinteistöjen polttopuuna ja muussa ei-teollisessa käytössä. Teollisuuden osuus puunkäytöstä on kuitenkin kasvanut koko sotien jälkeisen ajan ja vuosina 1990 - 94 teollisuuden puunkäytön osuus koko hakkuupoistumasta oli 84 %. Kiinteistöjen polttopuun ja muun ei-teollisen käytön osuus oli tuolloin enää 8 %. Energiantuotannossa puuta käytetään nykyisin teollisuudessa, alue- ja kaukolämpölaitoksissa sekä kiinteistöissä lähinnä lämmön, mutta vähäisessä määrin myös sähkön tuotannossa yhdistetyissä lämpö- ja sähkövoimaloissa.

Energian kokonaiskulutus on lisääntynyt 1970-luvun alusta 65 %, mutta puulla tuotetun energian osuus on kuitenkin vähentynyt. Puuperäisen energian osuus on ollut noin 15 % aina 1980-luvun alusta saakka. Pääosa puuperäisestä energiasta on lähtöisin metsäteollisuudesta, sillä huomattava osa metsäteollisuuden jätetuusta (kuori, puru, ligniinipitoinen jäteliemi) hyödynnetään energiantuotannossa. Peräti 40 % teollisuuden käyttämästä kuorellisesta raakapuusta päätyy lopulta polttoaineeksi. Polttopuun merkitys pientalojen energialähteenä on edelleen huomattava. Vuonna 1994 raakapuuta käytettiin kiinteistöissä polttopuuna 4,6 milj. m<sup>3</sup> ja sen lisäksi jätetuuta 1,0 milj. m<sup>3</sup>, jotka yhdessä vastaavat Loviisan ydinvoimalan tuottamaa vuotuista energiamäärää.

Koska energiapuun käyttöä aiotaan lisätä nykyisestä huomattavasti, maamme energiapuuvaroista tarvitaan sekä valtakunnallista että alueellista tietoa mm. puun energiakäytön strategiseen suunnitteluun, energialaitosinvestointien suunnitteluun ja korjuun operatiiviseen suunnitteluun. Energiapuuvarojen arviointimenetelmien kehittämiseen ei ole aiemmin katsottu olleen tarvetta,

koska puuta on ajateltu olevan riittävästi metsäteollisuuden käytön ohella myös energiakäyttöön. Viime aikoina on kuitenkin esitetty muutamia energiapuuvarojen arviointimenetelmiä.

Suomen energiapuuvaroja on arvioitu useiden eri komiteoiden toimeksiannosta 1980-luvun taitteessa (Polttopuukomitean mietintö, Energiapolitiikan neuvoston mietintö, Energiametsätoimikunnan mietinnöt I ja II). Mietinnöissä esitetyt arviot ovat yleensä perustuneet valtakunnan metsien inventointitietoihin (VMI). Samoihin aikoihin on kehitetty ilmakuvatulkintaan ja maastoarviontiin perustuva menetelmä energiapuuesiintymien paikallistamiseen ja energiapuun keskikuutiomäärän arvioimiseen.

Energiapuuvaroja on arvioitu yksinkertaisilla pinta-alatietoihin ja keskimääräisiin energiapuukertymiin perustuvilla laskelmilla. Korjattavissa olevaa hakkuutähteen määrää on arvioitu selvittämällä vuosittain hakkuukoneella korjattavien kuusivaltaisten päätehakkuuleimikoiden pinta-ala, jonka jälkeen energiapuukertymä on johdettu keskimääräisten hakkuutähdekertymien ja korjuuseen soveltuvien kohteiden osuuksien arvioiden avulla.

Metsäkeskus TAPIOssa (nykyisin Metsätalouden kehittämiskeskus TAPIO) on kehitetty metsäsuunnitelmien kuviotietoja ja paikkatietoa hyödyntävä energiapuuvarojen laskentamenetelmä, jonka vahvuus on paikkaan sidotun tiedon käyttö. Energiapuun lähi- ja kaukokuljetuskustannukset voidaan ottaa huomioon energiapuun korjuun kannattavuuden arvioinnissa, joka määrittelee korjuukustannusten ja energiapuusta käyttöpaikalla maksettavan hinnan perusteella. Menetelmän ongelmana on energiapuukertymätietojen ennustamisen vaikeus metsäsuunnitelman kuviotiedoista. Laskelmat tehdään yleensä metsäsuunnitelmien 10 vuoden suunnittelujakson ajalle ja menetelmä soveltuu siksi esim. lämpölaitoksen energiapuun hankinta-aluetta koskeviin suunnittelulaskelmiin. Suurempien alueiden energiapuuvara-arviot saadaan yleistämällä tuloksia laajemmalle alueelle.

Metsäntutkimuslaitoksen MELA-ohjelmistosta on kehitetty energiapuuvarojen arviointiin soveltuva laskentamenetelmä. Metsien ja energiapuuvarojen kehitystä voidaan tarkastella ohjelmiston avulla pitkälle tulevaisuuteen. Menetelmä soveltuu sekä laajojen alueiden pitkän aikavälin laskelmiin että metsikkökohtaisiin ja lyhemmän aikavälin laskelmiin. Laskentamenetelmää on käytetty mm. Keski-Pohjanmaan energiapuuvaroja ja metsien kehitystä käsitelleessä tutkimuksessa, jonka pohjalta energiapuuvaraselvitys laajennettiin koskemaan Etelä-Suomea. Etelä-Suomea koskevan tutkimuksen tulokset esitetään tässä raportissa.

## 2 TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää

1. Etelä-Suomen energiapuukertymät neljässä hakkuuskenaariossa,
2. energiapuun hinnan vaikutus energiapuukertymiin ja
3. korjuurajoitteiden vaikutus energiapuukertymiin.

## 3 TOTEUTUS

Projekti toteutetaan METLAn Puuvarojen käyttö ja potentiaaliset hakkuumahdollisuudet (PUUMA) -projektin osaprojektina.

## 4 RAHOITUS

| Rahoittaja                                        | 1996    | 1997    | 1998  |
|---------------------------------------------------|---------|---------|-------|
| (1.8.1995- (1.8.1996-31.7.1996) 31.7.1997)        |         |         |       |
| KTM/energiaosasto/<br>Bioenergian tutkimusohjelma | 150 000 | 220 000 | avoin |

PUUMA-projektin kokonaisrahoitus on 1,5 milj. mk/v. Muut osaprojektit liittyvät tiiviisti energiapuuosaprojektiin.

## 5 TULOKSET

### 5.1 TUTKIMUSAINEISTO

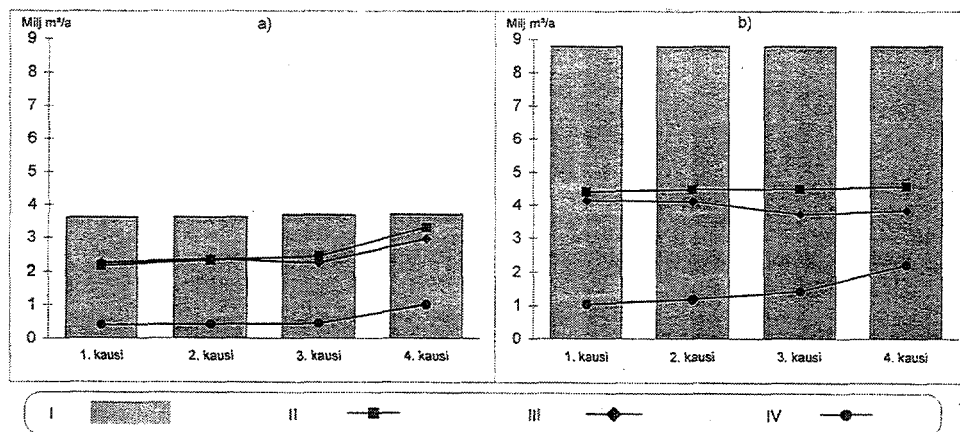
Tutkimusaineistona olivat Etelä-Suomen valtakunnan metsien 8. inventoinnin koealoista muodostetut metsälautakunnittaiset laskenta-aineistot. Valtakunnan metsien 8. inventointi tehtiin Etelä-Suomessa vuosina 1986 - 92. Energiapuun korjuuseen soveltuvien metsien määrää voidaan arvioida metsälautakunnan puuston ikäluokka- ja puulajijakauman perusteella. Tulokset laskettiin kullekin metsälautakunnalle neljälle kymmenvuotiskaudelle. Laskenta-aineistoja ei päivitetty laskennallisesti nykyhetkeen, mikä on otettava huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

Energiapuukertymiä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa neljän hakkuuskenaari-  
on pohjalta. Hakkuuskenaarioilla kuvattiin metsävarojen hyödyntämisen as-  
tetta. Laskelmat tehtiin 40 vuoden ajalle ja laskentajakso jaettiin neljään kym-  
mennvuotiskauteen. Hakkuuskenaariot olivat:

1. Energiapuupotentiaali
2. Kestävien hakkuumahdollisuuksien hakkuiden taso
3. Potentiaalisten hakkuumahdollisuuksien hakkuiden taso
4. Lamavuosien hakkuut

## 5.2 ENERGIAPUUKERTYMÄT 45 MK/MWH TUOTANTOKUS- TANNUSTASOLLA

Etelä-Suomen energiapuupotentiaali oli seuraavien 40 vuoden aikana 45  
mk/MWh tuotantokustannustasolla 3,6 milj. m<sup>3</sup>/a. Ensiharvennuksissa ener-  
giapuu saatiin korjattua käyttöpaikalle kannattavasti vain integroituna korjuu-  
na. Energiapuun erilliskorjuun kustannukset käyttöpaikalla olivat liian kor-  
keat, joten ensiharvennuspuun korjuu pelkästään energiapuuksi ei ollut liike-  
taloudellisesti kannattavaa. Energiapuupotentiaalista 59 % kertyi integroidus-  
ta korjuusta ja loput hakkuutähteiden korjuusta. Pääosa energiapuusta oli  
korjuutavoista johtuen latvusmassaa. Runkopuun osuus kertymästä vaihteli  
19 - 44 %:n välillä. Energiapuukertymän energiasisältö oli keskimäärin 7,3  
TWh/a.



Kuva 1. Hakkuuskenaarioiden energiapuukertymät kymmenvuotiskausittain a) 45  
mk(MW) ja b) 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla.

Kestäviä hakkuumahdollisuuksia kuvaavassa vaihtoehdossa energiapuuta voitiin korjata ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 2,2 milj. m<sup>3</sup>/a, josta energiapuukertymä kasvoi yli miljoonalla kuutiometrillä neljännelle kymmenvuotiskaudelle tultaessa (kuva 1a). Kertymän energiasisältö oli keskimäärin 5,3 TWh/a. Metsänomistajien hakkuuaikomuksia kuvaavassa vaihtoehdossa koko laskentajakson keskimääräinen energiapuukertymä oli hiukan pienempi kuin kestäviä hakkuumahdollisuuksia kuvaavassa vaihtoehdossa. Lamavuosien mukaisten hakkuiden energiapuukertymät olivat viidesosan kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymistä. Vaihtoehdon neljannen kauden energiapuukertymä oli kaksinkertainen kolmeen ensimmäiseen kauteen verrattuna, vaikka teollisuuden ainespuun hakkuut säilyivätkin samalla tasolla koko tarkastelujakson ajan. Viimeisellä kymmenvuotiskaudella korjataan paljon myös energiapuun korjuuseen soveltuvia kohteita. Lamavuosien hakkuiden vaihtoehdossa kertymän energiasisältö vaihteli eri kausilla 0,8 - 2,1 TWh/a.

### 5.3 ENERGIAPUUKERTYMÄT 55 MK/MWH TUOTANTOKUSTANNUSTASOLLA

Energiapuupotentiaali kohosi 8,8 milj. m<sup>3</sup>/a:iin tuotantokustannustason noustessa 55 mk/MWh:aan (kuva 1b). Energiapuukertymän energiasisältö oli 17,5 TWh/a. Energiapuun korjuu oli kannattavaa hakkuutähteiden korjuun ja integroidun korjuun lisäksi vähäisessä määrin myös erilliskorjuuna. Integroidun korjuun osuus energiapuukertymästä oli koko laskentajaksolla keskimäärin 25 %, erilliskorjuun 2 % ja hakkuutähteiden korjuun 73 %. Runkopuun osuus energiapuukertymästä vaihteli 18 - 38 %:n välillä.

Energiapuun hinnan kohoaminen 55 mk/MWh:aan merkitsi karkeasti ottaen energiapuukertymien kaksinkertaistumista 45 mk/MWh tuotantokustannustason verrattuna. Kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymä oli keskimäärin 4,5 milj. m<sup>3</sup>/a ja se oli tasainen koko tarkastelujakson ajan. Kertymän energiasisältö oli 9,2 TWh/a. Metsänomistajien hakkuuaikomusten mukainen energiapuukertymä oli 4,0 milj. m<sup>3</sup>/a ja kertymän energiasisältö oli vastaavasti 8,1 TWh/a. Lamavuosien hakkuiden energiapuukertymä oli noin neljäsosa kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymästä viimeistä kautta lukuunottamatta, jolloin se oli noin puolet siitä.

Energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutusta kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymään tarkasteltiin tuotantokustannustasolla 55 mk/MWh. Tätä varten tehtiin kestäviä hakkuumahdollisuuksia vastaava laskelma, jossa energiapuun korjuu ei ollut mahdollista soilta eikä kuivia kankai-

ta karummilta kasvupaikoilta. Laskelman tulosta verrattiin kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymään. Annettu rajoite pienensi energiapuukertymää viidenneksen, mikä merkitsi korjuumahdollisuuksiin noin 1 milj. m<sup>3</sup>/a vähennystä. Korjuurajoitteiden vaikutus energiapuukertymään oli samaa suuruusluokkaa kaikilla kymmenvuotiskausilla.

#### 5.4 JOHTOPÄÄTÖKSET

- Etelä-Suomen energiapuupotentiaali on 3,6 - 8,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa 45 - 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla, mikä vastaa 90 - 110 markan kuutiometrihintaa energiapuun käyttöpaikalla. Energiapuupotentiaaliin kuuluu kaikki ko. tuotantokustannustasolla liiketaloudellisesti kannattavasti korjattavissa oleva energiapuun määrä. Kestävien hakkuumahdollisuuksien mukainen energiapuukertymä on alhaisemmalla tuotantokustannustasolla 70 % ja korkeammalla 51 % energiapuupotentiaalista.
- Etelä-Suomen energiapuupotentiaalin energiasisältö on 0,65 - 1,55 Mtoe:a, mikä vastaa 1,0 - 2,5 Loviisan kokoisen ydinvoimalan vuoden energiatuotantoa.
- Koko Suomen kestävien hakkuumahdollisuuksien mukainen energiapuukertymä on 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla 5,8 milj. m<sup>3</sup>/a, mikä vastaa 1,5 Loviisan kokoisen ydinvoimalan vuoden energiatuotantoa. Tämä vastaa Bioenergian tutkimusohjelman puupolttoaineen käyttöpotentiaalille (45 mk/MWh) asettamaa tavoitetta.
- Kuusivaltaisten päätehakkuiden hakkuutähteet olivat suurin energiapuulähde. Myös ensiharvennusmetsissä oli mittava määrä hyödynnettävissä olevaa metsäenergiaa, mutta ensiharvennusmetsien korjuu ei ollut tämän tutkimuksen perusteella integroidulla korjuumenetelmällä eikä erilliskorjuuna kannattavaa. Korjuumenetelmien kehittyessä voi myös ensiharvennusmetsien energiapuupotentiaali olla hyödynnettävissä.
- Energiapuun korjuun rajoittaminen kuivia kankaita karummilta kangasmailta ja soilta pienensi energiapuukertymiä keskimäärin noin 22 %. Vaikutus lienee tätä pienempi, jos hakkuut ovat kestäviä hakkuumahdollisuuksia alhaisemmalla tasolla hakkuiden erilaisen kohdentumisen vuoksi.

Tutkimus osoitti energiapuusta käyttöpaikalla maksettavan hinnan olevan edelleen energiapuun korjuumahdollisuuksia eniten rajoittava tekijä. Tutkimus- ja kehitystyötä tarvitaan, jotta metsiemme energiapuuvarat saadaan hyö-

dynnettäviksi. Metsänomistajien suhtautuminen energiapuun tuotantoon tulisi selvittää, jotta energiapuun myyntihalukkuudesta saataisiin nykyistä parempi kuva ja markkinoille todellisuudessa tulevan energiapuun määrä voitaisiin paremmin arvioida. Myös energiapuun käyttömahdollisuudet tulisi selvittää.

Energiapuuhun kohdistuvat tuet ja verotus vaikuttavat puulla tuotetun energian edullisuuteen muihin energiamuotoihin verrattuna. Energiapuun kaatoon, kasaukseen ja kuljetukseen taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuskohteista on myönnetty tukea metsänparannusvaroista. Hallituksen vuoden 1996 aikana esittelemä energiaverotuksen muutos huonontaisi puun ja turpeen kilpailukykyä entisestään fossiilisiin polttoaineisiin nähden. Puuhun perustuvan energian käyttöä voidaan perustella energian kotimaisuudella ja ympäristöystävällisyydellä.

## 6 VUODEN 1997 TEHTÄVÄT

Laskelmia laajennetaan metsälö- ja metsikkötasolle, joiden avulla selvitetään mm. energiapuun korjuun merkitys metsälöstä ja metsiköstä saataviin tuloihin. Metsälötason laskelmissa metsänomistajille tuotetaan energiapuun tuotantostrategioita, joiden avulla metsänomistajille voidaan osoittaa energiapuun korjuun hyötyjä. Metsänomistajia voidaan näin aktivoida energiapuun tuotantoon. Kyselytutkimuksen avulla selvitetään metsänomistajien ja päätöksentekijöiden energiavaihtoehtojen mieluisuusjärjestys. Metsänomistajakyselyn avulla selvitetään myös energiapuun tarjontaan vaikuttavia tekijöitä ja selvitetään energiapuun mahdollinen tarjonta. Kyselyn tuloksia hyödynnetään edelleen energiapuuskenaarioiden laskennassa.

## 7 RAPORTIT

*Malinen J. ja Pesonen M.* 1996. Etelä-Suomen energiapuuvarat. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 610. 33 s. ISBN 951-40-1528-2. ISSN 0358-4283.

# LAHOPUUN MÄÄRÄ, SISÄLTÖ JA HANKINTA-KUSTANNUKSET - 131

Markku Mäkelä, Katriina Lipponen  
Metsäteho Oy  
PL 194  
00131 Helsinki

Puh. (09) 132 521  
Fax (09) 659 202  
markku.makela@metsateho.fi

## **Abstract: Energy use of decayed wood**

A study of the quality, amounts and delivery costs of decayed wood available for possible energy use will be carried out in co-operation by Metsäteho and Forest Research Institute. The work will consist of the following sub-studies:

- quality of decayed wood available for possible energy use
- quantities of decayed wood available for possible energy use by municipalities in Western and Southern Finland
- harvesting, transport and chipping costs of decayed wood in different delivery alternatives
- as a practical example, quantities of decayed wood available for possible energy use in two potential consumption municipalities.

## **1 TAUSTAA**

Tällä hetkellä Etelä- ja Länsi-Suomessa on keskimäärin joka kuudes päätehakkuikäinen kuusi lahovikainen, itäisellä Uudellamaalla ja Ahvenanmaalla peräti joka kolmas. Lahon puun määrä tulee lisääntymään tulevaisuudessa.

Lahoa puuta voidaan periaatteessa käyttää metsäteollisuuden raaka-aineena ja energian tuottamisessa. Rajoituksia eri käyttömuotoihin asettaa lahon laatu eli aiheuttaja ja lahoamisaste. Lahon puun eri käyttömahdollisuuksien määrittämiseksi tulee tietää eri käyttötarkoituksiin kelpaavien raaka-aineosien määrät, sijainti ja käyttöarvot.

Energiakäyttöön mahdollisen lahon puun laadun ja määrien alueittainen tunteminen tulisi olla lähtökohta lahon puun energiakäyttöselvitysten tekemiselle. Koska metsäteollisuudelle käyttökelpoinen laho puu ohjautunee lähialueilta sen käyttöön paremman puustamaksukyvyn perusteella, on lahon energiapuun määraselvityksissä tämä otettava huomioon.

Metsäteholla ja Metsäntutkimuslaitoksella on työn alla selvitys lahon puun määristä ja käyttömahdollisuuksista metsäteollisuudessa. Määraselvitykset tehdään kuntakohtaisesti Länsi- ja Etelä-Suomessa. Tuloksina saadaan mm. metsäteollisuuteen kelpaavan lahon puun laatu sekä tällä hetkellä hukkapuiksi jäävän, mutta energiakäyttöön mahdollisen puun laatu.

## 2 PROJEKTIN SISÄLTÖ

Energiakäyttöön mahdollisen puun laadusta, määristä ja hankintakustannuksista tehdään erillisselvitys. Työ toteutetaan Metsätehon ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä, jossa molemmat panostavat siihen samansuuruiset resurssit. Työ käsittää seuraavat osaselvitykset:

- Energiakäyttöön mahdolliseen lahon puun laatu.
- Energiakäyttöön mahdollisen lahon puun kuntakohtaiset määrät Länsi- ja Etelä-Suomessa.
- Lahon puun korjuu-, kuljetus- ja hakekustannukset eri hankintavaihtoehtoissa.
- Sovellusesimerkkinä energiakäyttöön soveltuvan lahon puun määrät ja hankintakustannukset kahdella potentiaalisella käyttöpaikkakunnalla.

Projektin toteutus alkaa keväällä 1997.

## FUELWOOD IN EUROPE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT STRATEGIES - 134

Antero Jahkola, Jerri Laine, Peter Lund  
HUT Centre for Energy Technology  
Otakaari 3  
02150 Espoo

Puh. (09) 451 3211  
Fax (09) 451 3195

### Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää polttopuun käytön lisäämismahdollisuudet Euroopassa. Tutkimuksella pyritään tukemaan päätöksentekijöiden mahdollisuuksia arvioida polttopuun käytön vaikutuksia paikallisella, kansallisella ja Euroopan laajuisella tasolla. Tutkimuksen pääpainoalueet ovat polttopuun käytön kehittymisen ennustaminen, polttopuun saatavuuden ennustaminen, uusien polttopuun käyttömahdollisuuksien ennustaminen ja polttopuun käytöstä johtuvien sosiaalis-taloudellisten sekä ympäristövaikutusten ennustaminen aina vuoteen 2020 asti. Tämä tutkimus on viiden Euroopan Unionin jäsenmaan yhteistyöprojekti. Yhteistyökumppanit ovat: Wienin Teknillinen korkeakoulu ja Joanneum Research Itävallasta, Ademe ja CNRS-Ecotech Ranskasta, CEEETA Portugalista, Profu Ab Ruotsista ja Teknillisen korkeakoulun Energiatekniikan Instituutti Suomesta. Projekti on Euroopan Unionin rahoittama ja sen sopimusnumero on JOR3-CT95-0004. Tämän projektin seuranta on liitetty bioenergia-ohjelmaan bioenergia-ohjelman rahoituksella, projektinumerolla 134.

### Abstract

The study of the conditions of a higher fuelwood mobilisation in Europe, takes place within the objectives of energy, environmental, agricultural and regional development policies implemented at the European level. The study aims at estimating the evolution of fuelwood consumption, the additional potential of available fuelwood, new possible uses of fuelwood, socio-economic and environmental implications of its mobilisation. This study deals with five

European Union countries: Austria, Finland, France, Portugal and Sweden. This study is financed by EC, its contract number is JOR3-CT95-0004.

## 1 BACKGROUND

Fuelwood is the most common used form of renewable energy in Europe, after hydro power. Fuelwood resources are abundant in many regions, and several factors contribute to an augmentation of these resources. These are notably the release of agricultural lands, leading to a "natural" increase in wooded land area and opening up the possibility of using these lands for energy crops; and improved performance of fuelwood systems, making more fuelwood available.

But, unless conventional energy prices rise sharply, the current tendency is towards a drop in the use of fuelwood when no policies to encourage its use are implemented. The goals for the stabilisation and even the reduction of CO<sub>2</sub> emissions by 2005 adopted by most European countries require an assessment of the scope and implications of interventionist policies in this domain, in terms of avoided greenhouse gas emissions and the cost for the community.

## 2 OBJECTIVES

The 2020 prospective study aims at estimating the evolution of fuelwood consumption, the additional available fuelwood potential, new possible uses and socio-economic conditions of its mobilisation. The main objectives of the study are:

1. Elaboration of a common methodology of analysis of the possibilities to increase fuelwood use.
2. Analysis of the available potential of fuelwood.
3. Analysis of the new sectors which could use fuelwood.
4. Evaluation of the avoided emissions of greenhouse gases.
5. Evaluation of the economic cost.

6. Comparative analysis of the factors that foster or hinder fuelwood use.

### 3 ORGANISATION OF THE STUDY

The project started at 1.1.1996. It will be carried out over 18 months. The co-ordinator of the project is CNRS-Ecotech (France). The other, six, partners of the project are from five European Union countries: Ademe (France), Joanneum Research (Austria), University of Technology of Wien (Austria), CEE-ETA (Portugal), Profu AB (Sweden) and Helsinki University of Technology (Finland). Each partner will furnish 10 to 14 months of work (divided between two partners in the case of Austria). The CNRS (France) will ensure two months of work co-ordinating the project and the participation of Ademe (France) will be limited to 5 months.

### 4 TASKS

Every country is responsible in delivering the information needed by the tasks. Each task has its own task leader which is responsible in the reporting of the task. The tasks are:

**Task 1.** Evaluation of the actually usable potential of fuelwood for energy supply by region (CNRS-Ecotech). The task concerns the assessment of currently untapped exploitable resources, the assessment of possibilities for growth of the resource and the assessment of the resources made available by energy management policies in fuelwood consuming sectors.

**Task 2.** Synthesis of the technologies existing on the European market and their efficiency (HUT, CEEETA). Using the typology of installations, available technologies are compared in terms of their efficiency and their current fuelwood utilisation and capacity is analysed. The HUT (Finland) is in particular responsible in analysing medium and large scale technologies using fuelwood.

**Task 3.** Preparation of a computer program for elaborating scenarios of sustainable fuelwood use and working out economic costs and avoided emissions of greenhouse gases from data collected identically in each country (CNRS-Ecotech). The aim is to evaluate, for the period up to 2020, trends in con-

sumption of fuelwood, the supplementary usable potential, possible new uses and their consequences in terms of costs and greenhouse gas emissions.

**Task 4.** Analysis of prospective sustainable fuelwood use by region and sector. For each sector and type of installation data on existing buildings and planned new construction will be gathered. The data will cover current average annual consumption and the proportional shares of different energy resources at regional and national levels.

**Task 5.** Evaluation of greenhouse gas emissions along the whole fuelwood technology cycle for each technology (Joanneum Research). The aim is to assess greenhouse gas emissions in the fuelwood sector for the various technologies used, from cutting to end use. Energy consumption and associated pollutant emissions are assessed for each phase of production and consumption.

**Task 6.** Evaluation of the costs of energy from fuelwood for each technology cycle (Profu AB). The cost of producing energy from fuelwood will be assessed and compared to other energy resources according to the type of installation.

**Task 7.** Intermediate report (CNRS-Ecotech)

**Task 8.** Elaboration of scenarios for sustainable fuelwood uses by 2020. Calculation of economic costs from the collective's point of view and GHG implications. All the data collected by each partner is introduced into the computer program.

**Task 9.** Analysis of sociological and institutional barriers to fuelwood mobilisation (CEEETA). The aim is to identify factors hindering and fostering the development of the use of fuelwood. The analysis considers social, economic and institutional conditions.

**Task 10.** Final report (CNRS-Ecotech, Ademe)

## 5 FINANCING

The financing is represented in the share of Helsinki University of Technology/Institute for Energy Technology only. The project is financed by EC. The share of HUT is 67 700 ECU, which is 393 567 FIM when using an exchange

rate of 5.8134 FIM/ECU. The bioenergy research programme will contribute 30 000 FIM in order to keep contact with the project.

| Funder                           | 1996    | 1997    |
|----------------------------------|---------|---------|
| Bioenergy research program (FIM) | 30 000  |         |
| EC (FIM)                         | 262 380 | 131 190 |

## 6 RESULTS

The intermediate report is done by CNRS-Ecotech. The reports of the task 2, synthesis of the technologies existing on the European market and their efficiency, is done by HUT and CEEETA. The publication of the results is still under the permission of EC. The dissemination of the results will begin after the project has ended, at July 1997.

## 7 FUTURE OBJECTIVE

The project will be ended at 30.6.1997.

## 8 REPORTS

The reports is introduced on the behalf of HUT/ETI.

*Jahkola, A., Laine, J.* Fuelwood in Europe for environment and development strategies (FEEDS): Synthesis of the medium and large scale technologies existing on the European market and their efficiency. HUT, Institute for Energy Technology. 1996.



## PUUN KORJUU HARVENNUSHAKKUISSA



## ENERGIAPUUN KORJU TAIMIKON HARVENNUKSEN YHTEYDESSÄ - 128

Jarmo Hämäläinen, Risto Lilleberg, Asko Poikela, Kaarlo Rieppo  
Metsäteho Oy  
PL 194  
00131 Helsinki

Puh. (09) 132 521  
Fax (09) 659 202  
jarmo.hamalainen@metsateho.fi

### **Abstract: Harvesting energy wood in connection to young stand treatment**

In the study felling-bunching and the Chipset chipharvester was tried in late thinning of a young stand. Also the impact of energy wood recovery in the young stand stage on the profitability of first thinning was monitored. On the study site the amount of trees to be cut was 5 300 - 22 000 trees/ha, mean height 2,7 - 5,0 m and the total biomass amounted to 26 - 75 m<sup>3</sup>/ha.

The felling-bunching was made with a chain-saw equipped with felling handles. The work consisted of opening of the strip roads, of thinning the stand between strip roads and of bunching the trees for the chip-harvester. The effective time expenditure of felling-bunching was on the different sites 8,5 - 27 h/ha or 0,24 - 0,64 h/m<sup>3</sup>. The calculated costs of the work were 900 - 2 800 Fmk/ha or 26 - 67 Fmk/m<sup>3</sup>. The density and volume of the trees strongly influenced work productivity.

The Chipset chipping productivity was 5,7 - 8,7 m<sup>3</sup> per gross effective hour. The chipping costs, when hauling distance was 250 meters, were 44 - 81 Fmk/m<sup>3</sup> or 21 - 43 Fmk/MWh. The total costs of energy wood procurement at the plant were 112 - 144 Fmk/m<sup>3</sup> or 56 - 73 Fmk/MWh.

The opening of strip roads during young stand treatment decreases net volume later in the first thinning. According to calculations made for the example sites the net volume decreased by approx. 9 m<sup>3</sup>/ha. The first thinning costs thus increased by 4 Fmk/m<sup>3</sup> or ca 5 %.

The harvesting of energy wood in connection to young stand treatment seems, based on the trial, to be an alternative worth consideration. It opens interesting views for the development of growing models for young stands. In the extension project the technical, economical and productional preconditions for combining young stand treatment, energy wood harvesting and first thinning will be monitored.

## 1 TAUSTA

Uusien taimikonhoito-ohjeiden mukaisissa taimikoiden harvennuksissa poistettava puusto on järeämpää kuin aiemmilla taimikonhoitotyömailla. Taimikon käsittelykustannukset ovat vastaavasti korkeammat. Toisaalta poistettavien puiden biomassakertymä saattaa olla useita kymmeniä kuutiometrejä hehtaaria kohti. Tällaisilla kohteilla tulee kysymykseen energiapuun talteenotto taimikonhoidon yhteydessä (Metsätehon Katsaus 2/1995 ja 7/1996). Taimikkovaiheessa tapahtuvan energiapuun korjuun menetelmät ja tekniikka, kannattavuus ja vaikutukset puuntuotantoketjun kokonaistaloudellisuuteen ovat menetelmään liittyviä kysymyksiä.

## 2 TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena oli kokeilla siirtelykaatoa ja Chipset-hakeharvesteria varttuneen taimikon harvennuksessa sekä tarkastella taimikkovaiheessa tehtävän energiapuun korjuun vaikutuksia ensiharvennuksen kannattavuuteen. Tuloksia voidaan hyödyntää taimikonhoidon ja pienpuun korjuun menetelmävalinnassa sekä niihin liittyvässä kone- ja laitekehittelyssä. Maa- ja metsätalousministeriö osallistuu tutkimuksen rahoitukseen 223 000 mk:lla.

## 3 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimusaineisto kerättiin Metsäteho Oy:n, Biowatti Oy:n, UPM-Kymmene Oy:n ja Tammelan metsäoppilaitoksen yhteistyönä syksyllä 1996. Menetelmää kokeiltiin kahdentyyppisissä olosuhteissa: varttuneessa taimikossa sekä ensiharvennusvaihetta lähestyvässä metsikössä, jossa käyttöpuuta pienempää puuta oli runsaasti. Tutkimuskohteille perustettiin kuusi koealaa (50 \* 20 m), joilla toteutettiin aikatutkimus siirtelykaadosta ja Chipset-työskentelystä. Poistettavien puiden lukumäärä oli 5 300 - 21 900 kpl/ha, keskipituus 2,7 -

5,0 m ja kokonaisbiomassa 26 - 75 m<sup>3</sup>/ha (taulukko 1). Poistettava puusto oli kaikilla kohteilla suurimmaksi osaksi koivua ja muuta lehtipuuta.

*Taulukko 1. Tutkimuskoealojen keskimääräiset puustotunnukset.*

| Koeala | Kasvatettava puusto | Poistettava puusto (ilman ajouria) |                |               |                                | Poistettava puusto (ml. urat) |
|--------|---------------------|------------------------------------|----------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|
|        |                     | Valtapiuus m                       | Keskipituus, m | Tiheys kpl/ha | Runko-puuta m <sup>3</sup> /ha | Kokopuuta m <sup>3</sup> /ha  |
| 1      | 11,7                | 5,0                                | 12 000         | 58            | 75                             | 95                            |
| 2      | 11,1                | 3,4                                | 11 000         | 33            | 45                             | 82                            |
| 3      | 6,4                 | 3,5                                | 9 800          | 17            | 23                             | 36                            |
| 4      | 5,3                 | 2,8                                | 10 900         | 13            | 20                             | 34                            |
| 5      | 5,5                 | 3,2                                | 5 300          | 16            | 23                             | 35                            |
| 6      | 5,7                 | 2,7                                | 21 900         | 20            | 26                             | 32                            |

Kaksi siirtelykaatoon tottunutta ammattimetsuria olivat koehenkilöinä siirtelykaatotutkimuksessa. Työ tehtiin kaatokahvoilla varustetuilla moottorisahoilla. Metsurit kaatoivat puut ja kasasivat ne kourakasoisiin 10 m:n vyöhykkeelle uran molemmin puolin sekä avasivat 4 m:n ajourat. Puut kaadettiin siten, että hakeharvesteri pystyi käsittelemään niitä mahdollisimman paljon tyvet edellä. Uran poikki kaadetut puut katkaistiin uran reunan kohdalta, mutta muuten puita ei tarvinnut katkoa.

Siirtelykaadon aikatutkimusta varten tutkimuskoelat jaettiin pienempiin, 20 m<sup>2</sup>:n osaruutuihin, joilta mitattiin puustotunnukset ja ajanmenekki. Siirtelykaadon aikatutkimusaineistoa kertyi yhteensä 235 koeruutua (taulukko 2).

*Taulukko 2. Siirtelykaatoruutujen lukumäärä poistettavien puiden tiheyden ja kantoläpimitan mukaan.*

| Tiheys, kpl/ha | Keskimääräinen kantoläpimitta, cm |    |    |    |    |   |    |
|----------------|-----------------------------------|----|----|----|----|---|----|
|                | 1                                 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7+ |
| 0-5000         | 1                                 | 3  | 8  | 17 | 11 | 9 | 5  |
| 5001-10000     |                                   | 18 | 28 | 11 | 5  | 3 |    |
| 10001-15000    |                                   | 11 | 23 | 2  | 1  |   |    |
| 15001-20000    |                                   | 18 | 21 | 5  | 3  |   |    |
| 20001-25000    |                                   | 8  | 5  | 1  |    |   |    |
| > 25000        |                                   | 17 |    | 1  |    |   |    |

## 4 TULOKSET

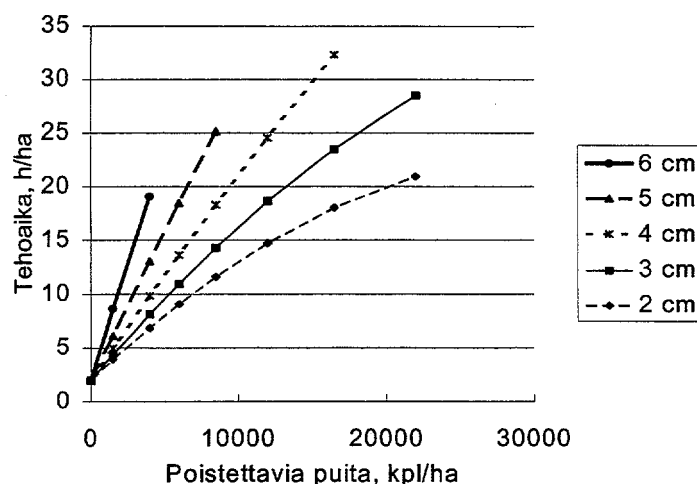
### 4.1 SIIRTELYKAADON AIKATUTKIMUS

Siirtelykaadon kokonaisajanmenekkiin kuuluivat ajourien avaus ja urien välisen alueen harvennus. Aikaa kului eri kohteilla 8,5 - 27 h/ha eli 0,24 - 0,64 h/m<sup>3</sup>. Työn laskennalliset kustannukset olivat noin 900 - 2 800 mk/ha.

*Taulukko 3. Siirtelykaadon ajanmenekki ja kustannukset.*

| Koeala | Tehoajanmenekki   |                      |                  |                              | Kustannukset |                   |
|--------|-------------------|----------------------|------------------|------------------------------|--------------|-------------------|
|        | Harvennus<br>h/ha | Urien avaus,<br>h/ha | Yhteensä<br>h/ha | Yhteensä<br>h/m <sup>3</sup> | mk/ha        | mk/m <sup>3</sup> |
| 1      | 26,5              | 31,9                 | 27,0             | 0,29                         | 2 830        | 29,9              |
| 2      | 19,2              | 26,1                 | 20,3             | 0,25                         | 2 120        | 26,1              |
| 3      | 13,6              | 14,6                 | 13,3             | 0,37                         | 1 390        | 38,6              |
| 4      | 11,7              | 13,5                 | 11,9             | 0,35                         | 1 240        | 36,8              |
| 5      | 9,0               | 10,0                 | 8,5              | 0,24                         | 890          | 25,3              |
| 6      | 20,6              | 21,6                 | 20,8             | 0,64                         | 2 180        | 67,4              |

Koeruutujen perusteella tarkasteltiin puustotunnusten vaikutusta työn tuottavuuteen. Poistettavien puiden määrä ja koko vaikuttivat voimakkaasti siirtelykaadon ajanmenekkiin (kuva 1). Riippuvuus oli jyrkempi kuin raivaussahatyössä on todettu, ja keskimääräinen tuottavuus oli odotetusti pienempi. Siirtelykaadon ajanmenekki oli keskimäärin 2 - 2,5 -kertainen vastaavissa olosuhteissa tehtyyn raivaussahatyöhön verrattuna.



Kuva 1. Siirtelykaadon tehoajanmenekki poistuman määrän ja keskimääräisen kantoläpimitan mukaan (ajourien välillä tehtävässä harvennuksessa).

## 4.2 CHIPSET-KOKEILU

### Yleistä

Chipset-hakeharvesterin työskentely jakaantuu kahteen erilliseen osaan: varsinaiseen haketukseen, jota tässä yhteydessä nimitetään prosessoinniksi sekä lähikuljetukseen ja siihen liittyvään kuorman tyhjennykseen. Prosessointi-ajanmenekkiin sisältyy vain itse työskentely palstalla ilman keskeytyksiä.

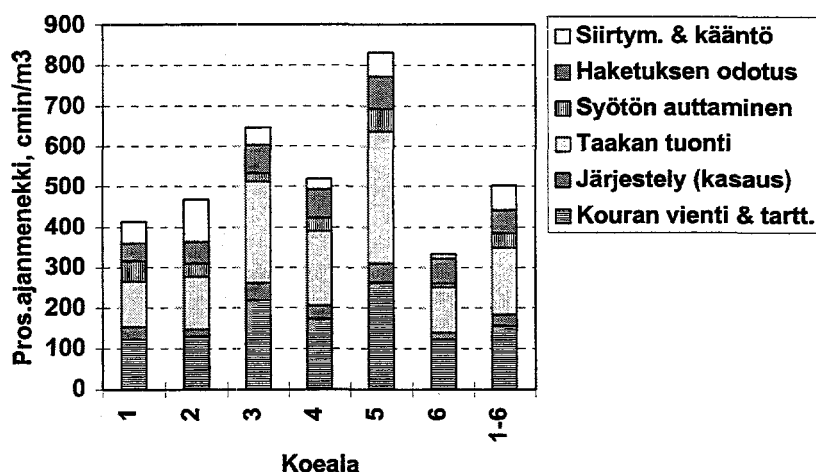
Koska tässä tutkimuksessa koelohja oli vähän ja ne olivat kooltaan pieniä, saatiin lähikuljetuksesta ainoastaan viitteellistä aineistoa. Laskennoissa turvauduttiin tältä osin aiempaan Chipset-hakeharvesteria koskevaan tutkimukseen (Rieppo, K. & Poikela, A. Chipset-hakeharvesterin tuottavuus- ja kustannusanalyysi. Metsätehon moniste 27.3.1995).

### Prosessointiajanmenekki

Aineistosta määritettiin koelohjittain ja koko aineistolle yhteensä työnvaiheittaiset ajanmenekit. Prosessointi jaettiin kuuteen työnvaiheeseen. Kuormaintyöskentely oli ensisijainen aikajaottelun peruste, ts. mikäli työnvaiheet limit-

tyivät (esim. siirtyminen ja kouran vienti) ajanmenekki kirjattiin kuormaintyöskentelyyn.

Ajankäytöllisesti merkittävimmät työvaiheet olivat kouran vienti ja taakkaan tarttuminen sekä taakan tuonti (kuva 2). Näiden osuus oli yhteensä kaksi kolmannesta prosessointiajasta. Tuottavinta prosessointi oli koealoilla 1, 2 ja 6. Niillä erityisesti kouran vienti ja taakkaan tarttuminen sekä taakan tuonti sujuivat muita koealoja joutuisammin. Koealalla 6 oli lisäksi siirtymiseen ja syöttöpöydän kääntämiseen sekä syötön auttamiseen käytetty aika muita koealoja selvästi pienempi.



Kuva 2. Prosessoinnin ajanmenekit työvaiheittain.

#### Haketuksen käyttötuntituotos ja haketuskustannukset

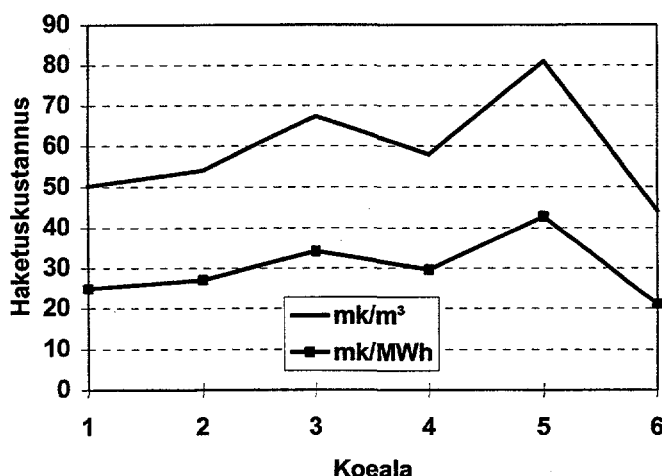
Haketuksen käyttötuntituotokset koealoittain olivat:

| Koeala                            | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Käyttötuntituotos, m <sup>3</sup> | 7,7 | 7,1 | 5,7 | 6,6 | 4,8 | 8,7 |

Suurin käyttötuntituotos saavutettiin koealalla 6 ja pienin koealalla 5. Koealojen 1 ja 2 tuotokset suhteessa koealoihin 3, 4 ja 5 ovat odotetun kaltaiset, koska niillä kertymät olivat lähes kolminkertaiset muihin koealoihin nähden. Koealan 6 korkein tuotos on odotetusta poikkeava. Koealan kertymä oli samaa tasoa koealojen 3, 4 ja 5 kanssa, mutta tiheys oli selvästi suurempi ja siten rungon koko huomattavasti pienempi. Lisäksi koeala 6 oli epähomogeeninen. Sen alkuosa oli koealan 5 tyyppistä ja loppuosa hyvin tiheätä ja koivu-

valtaisempaa. Näin kertymä painottui koealan loppuosalle, joten taakkojen keskikoko kasvoi ja lisäksi puut olivat hakeharvesterille kokonsa puolesta helppoja hakettaa.

Hakeharvesterin käyttötuntikustannukset määritettiin Riepon ja Poikelan tutkimuksessa laaditulla mallilla, joka päivitettiin ajan tasalle kustannustekijöiden ja muiden Chipsetistä kertyneiden tietojen perusteella (Chipset-hakeharvesterin demonstrointi D 109). Käyttötuntikustannukseksi muodostui kaksivuorotyössä (16 h/pv) 75 %:n käyttöasteella siirtoineen 385 mk. Käyttötuntikustannuksen ja tuottavuuslukujen perusteella määritettiin haketuskustannukset 250 metrin lähikuljetusmatkalle (kuva 3). Edullisimmat haketuskustannukset olivat kohteella 6 noin 21 mk/MWh. Kohteilla 1 ja 2 päästiin 25 - 27 markkaan megawattituntia kohden. Kohde 5 oli haketuskustannuksiltaan kallein, 43 mk/MWh.



Kuva 3. Haketuskustannukset 250 metrin lähikuljetusmatkalla Chipset-hakeharvesterilla.

Tässä tutkimuksessa prosessointiajasta käytettiin suhteellisesti vähemmän kuin aiemmassa Riepon ja Poikelan selvityksessä sellaisiin työvaiheisiin, jotka riippuvat ensisijaisesti koneen ja hakkurin tehokkuudesta (siirtyminen, hakkuriosan kääntö, syötön auttaminen, haketuksen odotus). Joko koneen tehokkuus on tältä osin lisääntynyt tai kuljettajan nosturin käyttötaito oli heikompi kuin aiemmassa tutkimuksessa.

Haketuskustannuksista lienee mahdollista pudottaa kuljettajan kokemuksen karttuessa ja työtekniikan kehittyessä ehkä 10 - 15 %. Tällöin päästäisiin 250

metrin lähikuljetusmatkalla parhaimmillaan noin 18 mk/MWh haketus-  
kustannukseen.

#### 4.3 MENETELMÄN KOKONAISKUSTANNUKSET

Korjuun kokonaiskustannukset tienvarressa (hakkeena) olivat 80 - 106 mk/kiintokuutiometri. Kun kuljetus- ja yleiskustannuksiksi oletettiin yhteensä 32 mk/m<sup>3</sup>, päädyttiin 112 - 144 mk:n kustannuksiin käyttöpaikalla. Kun lisäksi otettiin huomioon taimikonhoitoon ja energiapuun korjuuseen myönnettävät tuet - noin 30 mk/m<sup>3</sup> - kustannukset olivat 80 - 106 mk/m<sup>3</sup> eli 40 - 56 mk/MWh.

*Taulukko 3. Siirtelykaatoon ja Chipset-hakeharvesteriin perustuvan hankintaketjun kokonaiskustannukset.*

| Koeala | Korjuu<br>mk/m <sup>3</sup> | Kuljetus- ja yleis-<br>kustannukset<br>mk/m <sup>3</sup> | Yhteensä<br>mk/m <sup>3</sup> | Yhteensä<br>mk/MWh | Yhteensä -<br>mp-tuet<br>mk/MWh |
|--------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1      | 80                          | 32                                                       | 112                           | 56                 | 40                              |
| 2      | 80                          | 32                                                       | 112                           | 56                 | 41                              |
| 3      | 106                         | 32                                                       | 138                           | 70                 | 53                              |
| 4      | 95                          | 32                                                       | 127                           | 65                 | 46                              |
| 5      | 106                         | 32                                                       | 138                           | 73                 | 56                              |
| 6      | 112                         | 32                                                       | 144                           | 69                 | 51                              |

#### 4.4 MENETELMÄN VAIKUTUKSET ENSIHARVENNUKSEEN

Taimikonhoidon puuntuotannollinen seurausvaikutus on, että puuston kasvu nopeutuu ja kasvu kohdistuu selvästi pienempään puunjoukkoon kuin sellaisessa metsikössä, jossa taimikonhoitoa ei ole tehty. Taimikonhoidon avulla voidaan siten vaikuttaa merkittävästi rungon keskikoon kehittymiseen ja suuruuteen ensiharvennusmetsikössä.

Tutkimuksessa tehtiin analyysi myös siitä, kuinka nyt tehdyissä kokeiluissa taimikonhoidon vaikutukset näkyvät ensiharvennusvaiheessa. Analyysi tehtiin koealoille 3 ja 4, jotka olivat lähimpänä sitä kohdetyyppeä, jossa nykyisin tehdään taimikonhoito.

Kokeilussa oli mukana sekä manuaalinen että koneellinen taimikonhoitomenetelmä. Ensiharvennuksen kannalta tarkastellen niiden keskeinen ero on, että koneellisessa taimikonhoitomenetelmässä avataan ajourat metsikköön, jotka

ovat sitten käytettävissä ensiharvennusvaiheessa. Se merkitsee ensiharvennuksessa kertymän pienenemistä ajourilta saatavan hakkuukertymän verran. Kertymän pienetessä myös esimerkiksi metsäkuljetuksen tuotos hiukan pienenee. Hakkuun tuotokseen avatuilla ajourilla voi olla kahdenlaisia vaikutuksia. Avatut ajourat helpottavat toisaalta työntekoa, mutta myös hakkuussa työpisteeltä saatavien runkojen määrä laskee.

Ensiharvennusvaiheen korjuulaskelmat tehtiin korjuumallien avulla, joissa on aikatutkimustiedon pohjalta tehdyt korjuun tuotosfunktiot sekä koneellisen korjuun kustannustiedon pohjalta rakennetut kustannusmallit.

*Taulukko 4. Taimikonhoitomenetelmän vaikutus ensiharvennusolosuhteisiin ja -kustannuksiin.*

| Taimikonhoitomenetelmä | Puusto ensiharvennusvaiheessa<br>m <sup>3</sup> /ha | Ensiharvennuksen hakkuukertymä<br>m <sup>3</sup> /ha | Hakatun rungon keskikoko<br>dm <sup>3</sup> /r | Korjuukustannus<br>mk/m <sup>3</sup> |
|------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Manuaalinen            | 154                                                 | 52                                                   | 42                                             | 92                                   |
| Koneellinen            | 134                                                 | 43                                                   | 39                                             | 96                                   |

Taimikonhoidon yhteydessä avatut ajourat vähentävät metsikön puuston määrää ensiharvennusvaiheessa. Se näkyy myös hakkuukertymän määrän alenemisena. Hakkuukertymä aleni analysoiduilla koealoilla 9 m<sup>3</sup>/ha. Rungon keskikokoon käytetyillä taimikonhoitomenetelmillä ei ollut juuri vaikutusta, koska ajouralta saatu puusto ei vaikuttanut kovinkaan paljon koko kertymän keskikokoon.

Kaikkiaan taimikonhoitomenetelmien vaikutus ensiharvennuksen kustannuksiin tulee esiin korjuutyön tuotoksen kautta. Tutkituilla kohteilla korjuun talous oli manuaalisen taimikonhoidon jäljiltä hiukan parempi kuin koneellisen taimikonhoidon jälkeen. Ero oli 4 markkaa hakattua kuutiometriä kohden eli vajaat 5 %. Jos taimikonhoito olisi jätetty kokonaan tekemättä, tulisi ensiharvennus olennaisesti kalliimmaksi.

## 5 TARKASTELUA

Siirtelykaatoon ja Chipset-haketukseen perustuvalla ketjulla päästiin varsin kohtuullisiin korjuukustannuksiin siitä huolimatta, että kertymä oli useimmilla koealoilla melko pieni ja koostui keskimäärin vain muutaman dm<sup>3</sup>:n rungoista. Menetelmä osoittautui kilpailukykyisemmäksi taimikon käsittelyssä

kuin aiemmin kokeiltu, kaatokouralla varustettu yhdistelmäkone (Metsätehon Katsaus 7/1996). Korjuun kannattavuutta tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ylimääräinen pienpuusto on koetyömaiden kaltaisilla kohteilla joka tapauksessa poistettava. Maahan kaato maksaa raivaussahatyönä noin 700 - 1700 mk/ha, eli tässä korjattua puumäärää kohti laskettuna noin 15 - 35 mk/m<sup>3</sup>.

Koneellinen taimikonhoito huonontaa tehdyn esimerkkilaskelman mukaan myöhemmin tehtävän ensiharvennuksen olosuhteita ja nostaa sen kustannuksia. Erot manuaaliseen taimikonhoitoon olivat kuitenkin melko pieniä, joten edellytykset nuorten metsien käsittelymenetelmien kehittämiseen vaikuttavat lupaavilta.

Varttuneimman kohteen käsittelyssä ajourilta tuli haketettavaksi myös kuitupuukokoista puuta. Sellaisissa, ensiharvennusvaihetta lähestyvissä metsissä pitäisi jalostukseen kelpaava puu saada talteen, ja kiinnostava kysymys onkin, voitaisiinko varsinainen ensiharvennus tehdä samalla kertaa. Metsäteho on tehnyt aiheesta jatkoprojektiehdotuksen Bioenergia-ohjelmaan yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Tavoitteena on selvittää viivytetyn taimikon harvennuksen ja ensiharvennuksen yhdistämisen teknisiä, taloudellisia ja puuntuotannollisia edellytyksiä.

# HARVENNUSPUUN AUTOMAATTISEN NIPPUKOR- JAUSHARVESTERIN KEHITTÄMINEN - Y113

Kari Koponen  
Eko-Log Oy  
Ukkokodintie 16  
70600 Kuopio

Puh. (017) 2825 055  
Matkapuh. 0400 679 194  
Fax (017) 3644 941

## **Abstract: Bundling harvester**

The starting point of the project was to design and construct, by taking the silvicultural point of view into account, a harvesting and processing system especially for energy-wood, containing manually driven bundling harvester, automatizing of the harvester, and automatized loading. The equipment forms an ideal method for entrepreneur's-line harvesting. The target is to apply the system also for owner's-line harvesting. The profitability of the system promotes the utilization of the system in both cases. The objectives of the project were: to construct a test equipment and prototypes for all the project stages, to carry out terrain and strain tests in order to examine the usability and durability, as well as the capacity of the machine, to test the applicability of the Eko-Log system in simultaneous harvesting of energy and pulp woods, and to start the marketing and manufacturing of the products. The basic problems of the construction of the bundling harvester have been solved using terrain-tests. The prototype machine has been shown to be operable. Loading of the bundles to form sufficiently economically transportable loads has been studied, and simultaneously, the branch-biomass has been tried to be utilized without losing the profitability of transportation. The results have been promising, and will promote the profitable utilization of wood-energy.

## 1 PROJEKTIN LÄHTÖKOHTA

Projektin lähtökohtana on suunnitella ja valmistaa metsänhoidolliset näkökohdat huomioon ottaen puun, etenkin energiapuun korjuu- ja käsittelyjärjes-

telmä, joka sisältää manuaaliohjatun nippuharvesterin, edellisen automatisoinnin ja automatisoidun lastauksen.

Projektin laitekokonaisuus muodostaa ihanteellisen urakoitsijalinjan korjuumenetelmän. Myös soveltamista isännänlinjalle pidetään tavoitteena. Kustannusedullisuus edesauttaa järjestelmän käyttöä molemmissa tapauksissa ja myös kone yhtymissä.

## 2 PROJEKTIN TAVOITTEET

- Valmistaa kokeilulaitteet ja prototyypit kullekin projektivaiheelle.
- Suorittaa maasto- ja rasituskokeet kyseisten laitekokonaisuuksien käytettävyyden ja kestävyiden parantamiseksi sekä suorituskyvyn kartoittamiseksi.
- Testata Eko-Log-järjestelmän soveltuvuutta samanaikaisessa energiapuun ja sellupuun talteenotossa.
- Käynnistää tuotteiden markkinointi- ja tuotantotoiminta.

## 3 EKO-LOG NIPUTUSHARVESTERI

Niputusharvesterilla pystytään tekemään korjuutyö tehokkaasti, koska samalla metsässä käynnillä saadaan korjattua moneen eri tarkoitukseen soveltuvaa puuta. Harvesteri soveltuu erityisesti harvennushakkuille, joissa puiden läpimitat ovat pääosin 6 - 20 cm.

Nippukorjaaminen aloitetaan ajouralta katsoen kauimmaisista korjattavista puista ja nipun kasvaessa poimitaan lämpää ajouraa. Näin säilytetään paras näkyvyys työkohteeseen ja varmistetaan voiman riittävyys puiden käsittelyssä.

Kouriin kerätään noin Ø 400 - 500 mm nippu, jonka jälkeen nippu voidaan käsitellä esimerkiksi murtamalla puiden oksat ”luimuun”, siten että ne kuitenkin ovat pääasiallisesti kiinni puissa. Näin saadaan entistä suurempi materiaalmäärä sopimaan kuormaan ja parannetaan kuljetusten taloudellisuutta. Myös karsiminen, joko nipussa tai yksin kappalein on haluttaessa mahdollista.

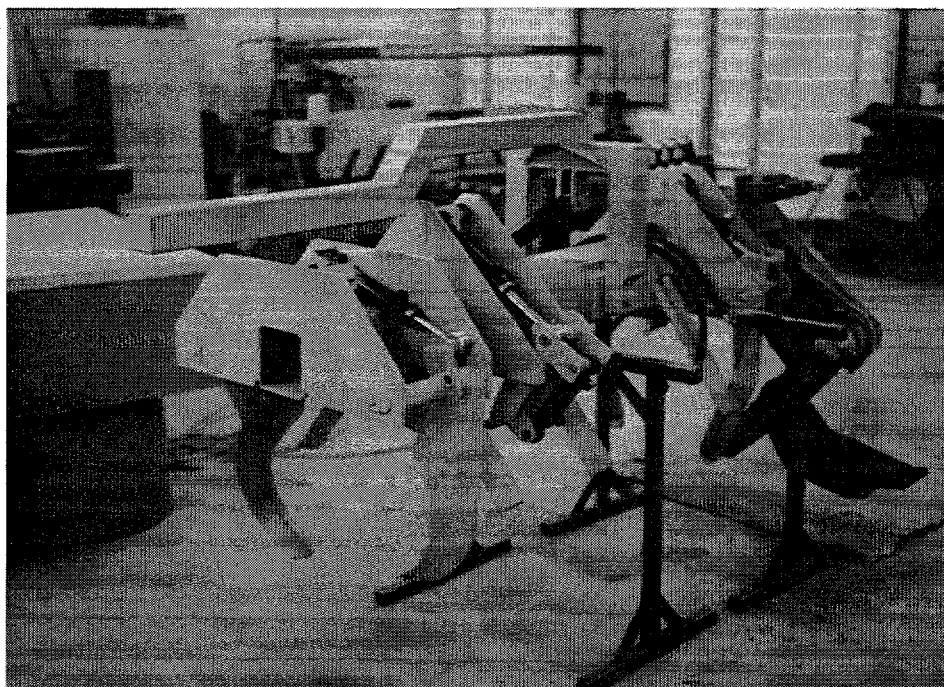
Harvesterilla voidaan myös sahata nippuja tai yksittäisiä puita halutun pituiseksi 0,5 metrin pituudesta ylöspäin.

## 4 PROJEKTIN TOTEUTUS

Prototyypin suunnittelua on jatkettu onnistuneiden maastokokeiden jälkeen, joissa pystyttiin havaitsemaan nippuharvesterin rakenteen oleelliset ongelmat.

Nippujen kuormaamista riittävän taloudellisesti kuljetettaviksi kuormiksi on selvitetty ja pyritty saamaan myös oksien sisältämä biomassa hyödynnettäväksi kuormaamistaloudellisuuden kärsimättä. Tulokset ovat rohkaisevia ja omalta osaltaan edistävät puuenergian taloudellisen käytön mahdollistamista.

Prototyyppi on muuttumassa tuotantomalliksi, oheisessa kuvassa 1 on nolla-sarjan ensimmäinen laite kokoonpanovaiheessa. Patentointi on edistynyt, kaksi patenttia on projektiin liittyen myönnetty. Neuvotteluja maastokelpoisten peruskoneiden valmistajien kanssa on aloitettu.



*Kuva 1. Niputusharvesterin 0-sarjan ensimmäinen laite kokoonpanovaiheessa.*



# YHDISTELMÄKONEEN KEHITTÄMINEN PIENPUUN KORJUUSEEN SEKÄ ENSI- HARVENNUKSEEN - Y115

Pekka Nevalainen  
Outokummun Metalli Oy  
PL 8  
83501 Outokumpu

Puh. (013) 555 111  
Fax (013) 550 308

**Abstract: Development of a machine compination for harvesting of small wood first thinnings**

The aim of the project is to build combined machine for the harvesting of the first thinning, which makes both harvesting and forwarding. Original purpose has been extended to concern also the harvesting head itself, which is connected to the base machine and which is able to perform cutting, delimbing and transportation.

This method is only ment to be used to harvest energytimber. It should be developed the crown-cutting method for this device. The basic idea of this harvesting head is usable, but technical solutions of functions should be reconsidered. The "guillotin-cutting" is usable. The diameter of cutted stem should be 250 - 300 mm. In the future we will try to develop a device, which is able to make also delimbing if needed. This head is proper for first thinning harvesting.

## 1 TAVOITE

Projektin tavoitteena on rakentaa yhdistelmäkone pienpuun korjuuseen, mikä yhdistelmäkone tekee sekä hakkuun että metsäkuljetuksen. Alkuperäistä tavoitetta on laajennettu koskemaan myös pelkkää korjuupäätä, mikä liitetään peruskoneeseen ja millä suoritetaan katkaisu, karsinta ja kuljetus.

## 2 RESURSSIT

Projektin tuotekehitystyö on aloitettu syyskuussa 1995. Kehitystyön lähtökohtana on ollut tuoteoikeudet kahteen erilaiseen giljotiiniperusteiseen katkaisu- ja kaatolaitteeseen. Suunnittelu- ja kehitystyön vastuuhenkilönä on toiminut Kari Kinnunen yrityksemme kouraharvesterien tuotekehityksestä. Kehitys- ja kokeilutoiminnassa on mukana laitteen keksijä Markku Immonen. Kehitystyössä on mukana sekä puun korjuun asiantuntijoita sekä metsäyhtiöiden että tutkimuslaitoksen puolelta.

## 3 LAITTEEN RAKENNE JA TYÖMENETELMÄ

Kaaviokuva 1 esittää laitteen perusratkaisua. Lokomo 910 metsätraktoriin on asennettu puutavarakouran paikalle giljotiinikatkaisulaitteella varustettu koura. Varsinainen hakkuu tapahtuu kokeiluvaiheessa yksi runko kerrallaan. Runko voidaan viedä heti katkaisun jälkeen kuormaan tai jättää paikoilleen, hakea uusia runkoja edellisen viereen ja viedä kaikki yhdessä kuormaan. Korjattuja runkoja käsitellään siirtovaiheessa parhaiten aina pystyasennossa ja "kaadetaan" vasta kuormatilaan. Tällöin tilantarve on pieni ja jäljelle jäävän puuston vauriot saadaan minimoitua.

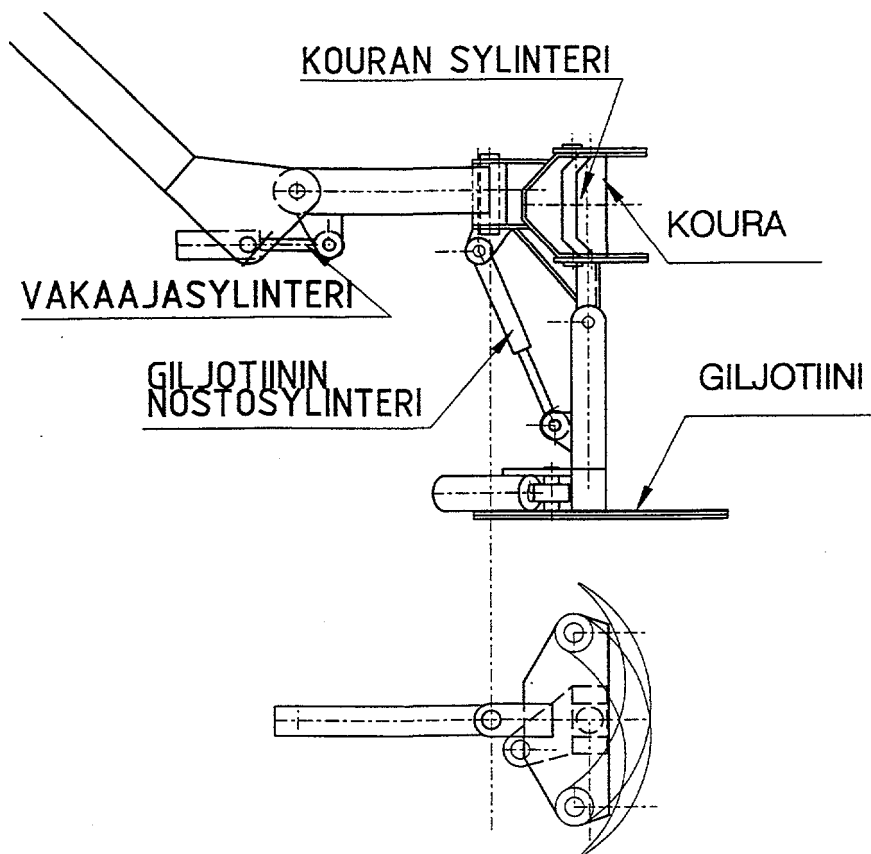
Ajoura tehdään takaperin ajaen kaataen puut ajouralta uran sivuun ja keräämällä palatessa kuormaan. Korjatut rungot kuljetetaan karsimattomina varastoalueelle, jossa ne voidaan puida monitoimikoneella tai hakettaa, kun koko harvennustyö on suoritettu. Katkaisulaite voidaan kääntää sivuun kuormainkouraa käytettäessä, jolloin työskentely on samanlaista kuin normaalilla puutavarakuormaimella.

## 4 LAITEKOEET JA TULOKSET

Laitteen ensimmäinen prototyyppi valmistui maaliskuussa 1996 ja kokeiluihin päästiin heti valmistumisen jälkeen. Korjuupää asennettiin Timberjackin Lokomo 910 metsätraktoriin. Koeajoja ja laitetestauksia tehtiin 2 viikon ajan. Kokeilut sattuivat ajankohtaan, jolloin puunhankintaan liittyvät korjuutyöt keskeytettiin lähes kokonaan ja kokeilut oli lopetettava. Saatujen kokemusten perusteella kokorunkokorjuu on menetelmänä sellainen, mitä ei mielellään nähdä kilpailukykyisenä eikä laadukkaana korjuutapana. Vaurioita tulee harvennuksissa jäävälle puustolle varsinkin kokeilujen yhteydessä herkästi. Nii-

hin suhtaudutaan ymmärrettävästi kovin kriittisesti. Kokeiluissa ei myöskään latvan katkaisu onnistunut kehitetyllä laitteella ja korjuujälki oli huono.

Kokeilujen aikana korjattu puumäärä oli pieni eikä sen perusteella voida tehdä mitään johtopäätöksiä. Puuta korjattiin keskimäärin 3,1 kiintokuutiota tunnissa, kun ajomatka oli 1 km. Runkojen keskikoko oli n. 90 litraa.



*Kuva 1. Laitteen perusratkaisu.*



*Kuva 2. Korjuupään rakenne.*

## 5 YHTEENVETO

Menetelmän mukainen korjuutapa soveltuu vain energiapuun tuotantoon. Laitteeseen olisi kehitettävä latvankatkaisu. Korjuupään perusratkaisu toimintoiltaan on käyttökelpoinen, mutta tekniset toimintoihin liittyvät ratkaisut on tehtävä uudelleen. Katkaisuna "giljotiini" on käyttökelpoinen. Katkaistavan rungon läpimitta tulisi olla 250 - 300 mm.

Kehitystyö suunnataan laitteeseen, jolla saadaan myös karsinta tarvittaessa suoritettua, jotta voidaan korjata kuitupuuta harvennuksilta.

# PYSTYPUUSTON KATKAISUHAKETTIMEN PROTO - Y118

Pentti Polus  
Tmi P. Polus  
Junnilantie 8  
92150 Raahe

Puh. (08) 299 2537, (08) 223 6600

## **Abstract: Development of a cutter-chipper prototype for tree stands**

Collection of chips and energy wood with conventional methods involves too many operations and hence results in a too high price of chips. The aim of the project was to develop a cutter-chipper suitable for chipping energy and pulp wood from tree stands. This equipment cuts and chips growing trees with branches and tops at site. Many stages involved in chipping would be eliminated and hence the price of chips would be more competitive, for example, with that of peat. In preliminary experiments, the prototype operated as expected. The product chips were homogeneous, did not contain long fractions or branch bits, and the chip size was. The chips were moved into the container by a conveyor. The sale of manufacturing rights for the equipment is under consideration.

## 1 TAUSTA

Hake- ja energiapuun keruu on nykyisellään liian monivaiheista (puun kaato, karsinta, kuljetus tienvarteen, haketus ja kuljetus käyttökohteeseen) ja aiheuttaa liian korkean hinnan lopputuotteelle eli hakkeelle.

Projektin tarkoituksena on ollut suunnitella, kehittää ja valmistaa metsänhoidolliset näkökohdat huomioon ottava energia- ja kuitupuuhakkeen valmistukseen soveltuvan laitteen prototyyppi.

Lähtökohtana on ollut valmistaa mahdollisimman pelkistetty halpa laite/metelmä, jolla suoritetaan pienpuuston haketus metsässä suoraan pysty- puusta ja hake kuljetetaan siirtolavakontilla tienvarteen. Lisäarvona on laitetta

suunniteltaessa pidetty sitä, että laite soveltuisi pienpuuston integroituun joukkokäsittelyyn.

## 2 PROJEKTIN TAVOITE

Projektin ensisijaisena tavoitteena on valmistaa metsässä pystypuuston haketukseen soveltuva kokeilulaitteen prototyyppi, joka toissijaisesti soveltuisi myös päätehakkuille kaadetun puun haketukseen.

Projektin tarkoituksena on eliminoida perinteisissä hakkeen valmistusmenetelmissä esiintyvät tarpeettomat ja päällekkäiset mies- ja konetyövaiheet.

Lähtökohtana on se, että saadaan aikaan kustannussäästöjä hakkeen korjuu-, käsittely- ja valmistuskustannuksissa ja sitä kautta hakkeen yksikköhintaa alemmas ja siten kilpailukykyisemmäksi.

Tavoitteena on kehittää laite, joka on hinnaltaan kohtuullinen ja joka soveltuu niin metsäkoneurakoitsijoiden kuin isäntälinjankin jo olemassa oleviin peruskoneisiin. Oletuksena on ollut se, että myös isäntälinjan omatoiminen energiapuun korjuu ja haketus yhä lisääntyy. Paitsi em. tarpeettomien hukkatyövaiheiden poistaminen, tavoitteena on kustannussäästöjen aikaansaaminen myös konehankinnoissa ja mies- ja konetyökustannuksissa. Samalla vajaakäytöllä olevien koneiden käyttöastetta voidaan nostaa mikä sekin on omiaan pudottamaan hakkeen hintaa.

## 3 TOTEUTUS

Laitteen valmistus on aloitettu vuonna 1995 TEKES:in myönnettyä avustusta prototyyppin valmistukseen. Kehitystyön tavoitteena on ollut toimivan pystypuustonkatkaisuhaketin menetelmän kehittäminen ja tuoteoikeuksien saaminen laitteelle/metelmälle.

Laitteen ensimmäistä prototyyppiä on jo alustavasti kokeiltu käytännössä.

Kokeilua varten on hankittu peruskoneeksi Valmet 702 varustettuna etu- ja hydraulikuormaajalla. Välillisen käyttövoimansa haketin ja sen eri toiminnot saavat traktorin 110 litran hydraulikka pumpusta. Haketinta pyörittää 78 litran hydraulikka moottori, joka on osoittautunut yli Ø150 mm puille liian pieni tehoiseksi.

Nimensä mukaisesti pystypuustonkatkaisuhaketin (proto) katkaisee ja hakettaa puut kasvupaikalleen oksineen ja latvustoineen, sekä siirtää hakkeen siirtolaitteen avulla siirtolavakonttiin peräkärriin, jolla hake kuljetetaan tienvarseen.

Projektivastaavana on toiminut keksijä Pentti Polus.

## 4 TULOKSET

- Alustavissa käyttökokeissa proto on toiminut odotetulla tavalla.
- Puun katkaisu tapahtuu nopeasti lähinnä paukahduksen omaisesti.
- Hake on aika tasalaatuista (ei pitkiä jakeita eikä oksanpätkiä) ja raekokoa voidaan säädellä.
- Hakkeen siirto hakettimesta peräkärriin tapahtuu siirtolaitteen avulla.
- Peruskone, hydraulinen kuormaaja ja hydraulikkamoottori osoittautuneet halkaisijaltaan yli 150 mm puille liian pienitehoiseksi.

## 5 JATKOKEHITYSTARPEET JA TOIMENPITEET

- Ainakin hydraulikkamoottorin ja -kuormaajan tehoa on suurennettava.
- Kun tehoa saadaan lisää, kannattaa laitetta kehittää monipuukäsittelytoimintojen suuntaan.
- Automatiikkaa kehitettävä / työkoneen kuljettajalta edellytettävä ajokoke-musta.

Laitteen tuotteistamiseksi myyntituotteeksi eivät laitteen kehittäjän omat resurssit ole riittäviä. Laitteen valmistusoikeuksien myynti tulee kysymykseen, jotta laite saadaan valmistukseen. Toiminta-, kestävyys- ja laitekokeilujen jälkeen tehdään aikatutkimus ja aikatutkimusanalyysi. Tulosten valmistuttua tehdään lopulliset johtopäätökset.

## 6 RAPORTIT

Ensimmäinen väliraportti 13.8.1995.

Toinen väliraportti 30.4.1996.



INTEGROIDUT MENETELMÄT  
HARVENNUSHAKKUUSSA



## ENSIHARVENNUSPUUN HYÖDYNTÄMINEN - 133

Raimo Alén, Marian Marttina, Jaakko Toivanen

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

Soveltavan kemian osasto

PL 35

40351 Jyväskylä

Puh. (014) 602 500

Fax (014) 602 501

ralen@jyjk.jyu.fi, umartti@tukki.jyu.fi, tjto@kanto.jyu.fi

### **Abstract: Utilization of raw material from early thinnings**

Wood material from early thinnings is one of the most potential new material reserves (4 - 6 million m<sup>3</sup>) for industrial purposes. However, the prerequisites for an enhanced utilization of this reserve would be, besides more efficient logging, debarking, and chipping, an optimal fractionation of wood material into energy and fiber production.

The aim of this project was to promote the use of first-thinning wood as a competitive raw material for energy production by increasing the potential utilization of the corresponding wood resource for chemical pulping. During the year 1996 the variation of fiber length distribution within the stem and top (total height of 12 m) of a 27-years-old pine wood (*Pinus sylvestris*) was determined. Tentative calculations indicated that about 67 % of the wood dry matter consists of fibers having an average fiber length more than 2 mm. It was considered that most of this fraction with high quality fiber properties could be recovered and used for pulping. In addition, the detailed FTIR analysis of different samples from the same pine wood showed that there was an adequate correlation between the FTIR spectrometric data and the fiber length averages.

## 1 TAUSTA

Ensiharvennushänky on merkittävä teollisuuden raaka-ainevarasto (4 - 6 milj. m<sup>3</sup> vuodessa). Puunkäytön lisästarve Suomessa edellyttää ensiharvennushakkuista saatavan puumateriaalin tehokkaan käyttöönoton. Kyseisen puuvarrannon hyödyntäminen merkitsee kuitenkin korjuumenetelmien tehostamista sekä välitöntä tarvetta selvittää harvennuspuun soveltuminen sekä teollisen energiatuotannon että selluloosamassan valmistuksen raaka-aineeksi. Viimeksi mainitussa tapauksessa on merkittävää tutkia erityisesti ensiharvennuspuun ja nykyisin käytettävän teollisen kuitupuun välisiä ominaisuuseroja. Lisäksi ensiharvennuspuun optimaalinen hyödyntäminen edellyttää kyseisen puumateriaalin tehokkaan ja tarkoituksenmukaisen fraktionoinnin.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena on parantaa ensiharvennuspuun energiaosoitetta ja sen kilpailukykyä kehittämällä kyseisen puumateriaalin käyttökelpoisuutta teollisuuden raaka-aineena.

## 3 TOTEUTUS

Tutkimushanke on aloitettu vuoden 1996 syksyllä ja se on suunniteltu kolmi-vuotiseksi. Hanke tehdään Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen soveltavan kemian osastolla kiinteässä yhteistyössä Jyväskylän Teknologikeskus Oy:n kanssa ja tutkimuksen alihankkijana toimii VTT Energia, (erikoistutkija Veli Seppänen, Jyväskylä).

## 4 TEHTÄVÄT

Tutkimuksen tehtävät vuonna 1996 olivat:

- Selvittää ensiharvennushännyn (*Pinus sylvestris*) kuidunpituusjakauma rungossa ja latvuksessa säteen ja rungonsuuntaisesti,
- määrittää kyseiselle puulle ja puun kemiallisille pääkomponenteille FTIR- ja VIS-spektrit puun eri osissa sekä
- löytää FTIR-spektritiedon ja keskimääräisen kuidunpituuden välisiä korrelaatioita.

## 5 RAHOITUS 1996

| Rahoittaja              | mk  | %   |
|-------------------------|-----|-----|
| TEKES / Bioenergia      | 540 | 78  |
| VTT Energia / Jyväskylä | 150 | 22  |
| Yhteensä                | 690 | 100 |

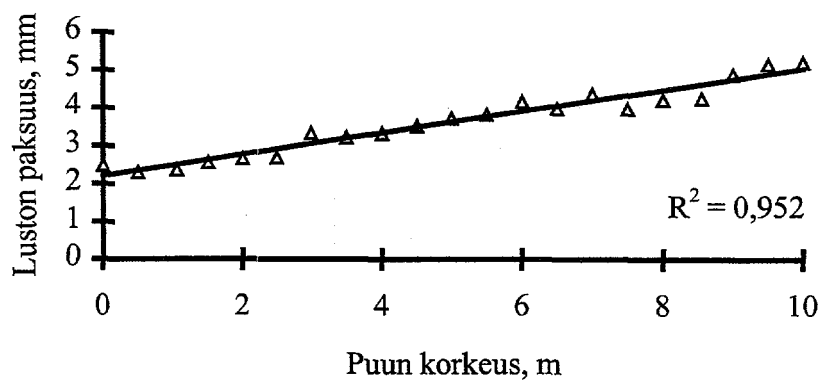
## 6 TULOKSET

### 6.1 YLEISTÄ

Tutkimuksen yleistavoite on selvittää ensin puukohtaisesti ensiharvennuspuun hyödyntämisen kannalta olennaisten ominaisuuksien (esim. kuidunpituus) muuttuminen puurakenteessa sekä pyrkiä kehittämään nopeita menetelmiä kyseisten muutosten havaitsemiseksi. Seuraavassa vaiheessa siirrytään tarkastelemaan kasvutaustasta johtuvia yksittäisten puiden välisiä eroja. Tutkimus aloitetaan ensiharvennusmännillä ja sitä laajennetaan myöhemmin muihin puulajeihin.

### 6.2 PUUNÄYTTEET

Tutkittavana ensiharvennuspuuna (ikä 27 vuotta, korkeus 12 m) käytettiin puolukkatyyppisellä paikalla kasvanutta mäntyä (*Pinus sylvestris*). Kaadetun puun rungosta otettiin 21 kappaletta 5 cm paksuisia näytekiekkoja puolen metrin välein (näytteet nimettiin kirjaimilla A, B, jne., vrt. taulukko 1). Vuosirenkaiden numerointi tehtiin lähtemällä puun tyven (kiekko A) ytimestä (vuosiluston numero 1) puun ulkokuoreen päin (nilaa edeltävä vuosilusto 27). Menettelyn seurauksena esim. kiekossa X esiintyvät vuosilustot olivat numeroiltaan 24, 25, 26 ja 27. Näytekiekkojen ominaisuudet esitetään taulukossa 1 ja luston keskimääräinen paksuus puun korkeuden funktiona kuvassa 1. Lisäksi näytteitä otettiin puun oksista, kuoresta ja neulasista.



Kuva 1. Luston keskimääräinen paksuus puun korkeuden funktiona.

Taulukko 1. Ensiharvennusmännystä (*Pinus sylvestris*) valmistettujen näytekiekkujen ominaisuudet.

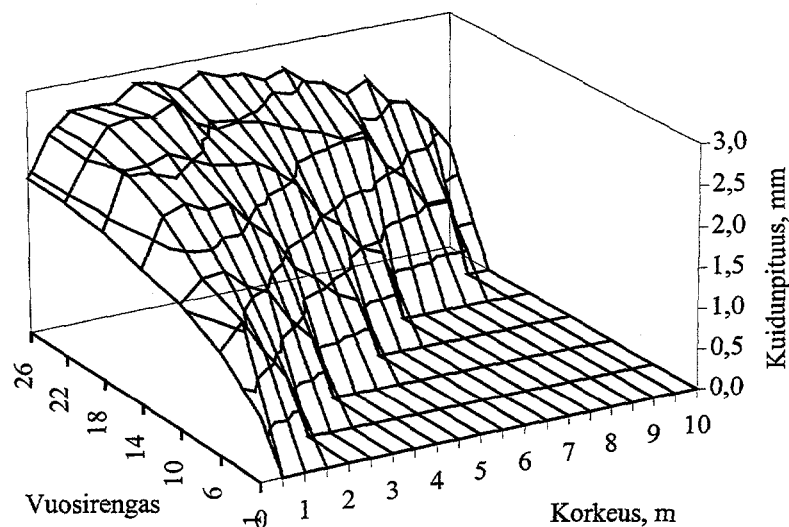
| Korkeus /m | Kiekkko | Vuosirenkaita | Halkaisija /cm | Luston paksuus /mm |
|------------|---------|---------------|----------------|--------------------|
| 10,0       | X       | 4             | 4,2            | 5,25               |
| 9,5        | W       | 5             | 5,2            | 5,20               |
| 9,0        | U       | 6             | 5,9            | 4,92               |
| 8,6        | T       | 7             | 6,0            | 4,29               |
| 8,0        | S       | 8             | 6,8            | 4,25               |
| 7,5        | R       | 9             | 7,2            | 4,00               |
| 7,0        | P       | 9             | 7,9            | 4,39               |
| 6,5        | O       | 11            | 8,8            | 4,00               |
| 6,0        | N       | 11            | 9,2            | 4,18               |
| 5,5        | M       | 12            | 9,2            | 3,83               |
| 5,0        | L       | 13            | 9,7            | 3,73               |
| 4,5        | K       | 14            | 9,9            | 3,54               |
| 4,0        | I       | 15            | 10,0           | 3,33               |
| 3,5        | H       | 16            | 10,3           | 3,22               |
| 3,0        | G       | 16            | 10,7           | 3,34               |
| 2,5        | F       | 20            | 10,8           | 2,70               |
| 2,0        | E       | 20            | 10,7           | 2,68               |
| 1,5        | D       | 22            | 11,3           | 2,57               |
| 1,1        | C       | 24            | 11,4           | 2,38               |
| 0,5        | B       | 25            | 11,5           | 2,30               |
| 0,0        | A       | 27            | 13,4           | 2,48               |

### 6.3 KUIDUNPITUUSMÄÄRITYKSET

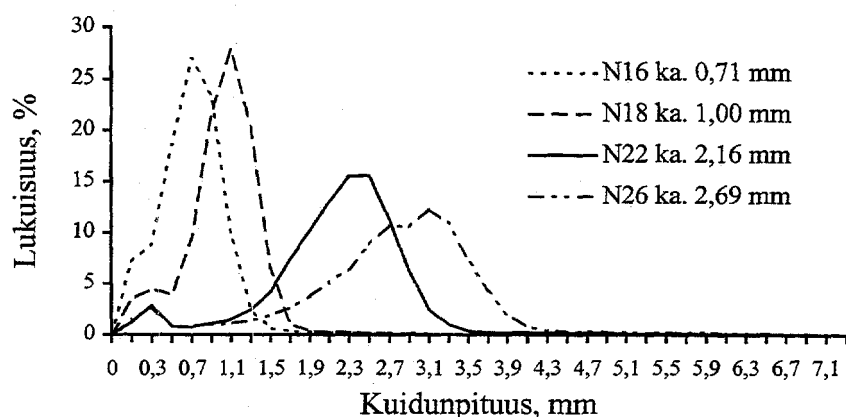
Ilmakuivatut puunäytteet (yhteensä 106 kappaletta) kuidutettiin käsittelemällä puuta etikkahapon (100 %) ja vetyperoksidin (30 %:nen vesiliuos) seoksella (tilavuussuhde 1/1) 60 °C:ssa 24 tunnin ajan Hakkilan *et al.* 1995 mukaan. Kuidut erotettiin varovasti toisistaan lasisauvalla. Kuidunpituusmääritykset tehtiin Kajaani FS-200-laitteella (yhdessä määrittäyksessä mitattiin keskimäärin 15000 yksittäistä kuitua, mittausalue 0 - 7,2 mm) ja pituuspainotetut tulokset laskettiin kaavalla:

$$L_w = \frac{\sum n_i l_i^2}{\sum n_i l_i}$$

missä  $n$  on tietyn pituisten kuitujen lukumäärä ja  $l$  vastaava pituus. Kuvassa 2 esitetään pituuspainotteinen kuidunpituuskeskiarvo tutkittavassa ensiharvennuspöydässä. Tulokset osoittavat, että keskimääräinen kuidunpituus kasvaa puun ytimestä pintaan päin ja saavuttaa rungonsuuntaisen maksimiarvonsa puun keskivaiheilla (puun korkeudella 3 - 8 m). Tarkastelussa ei toistaiseksi ole otettu huomioon yksittäisessä mittauksessa esiintyvää kuidunpituusjakamaa (kuva 3).

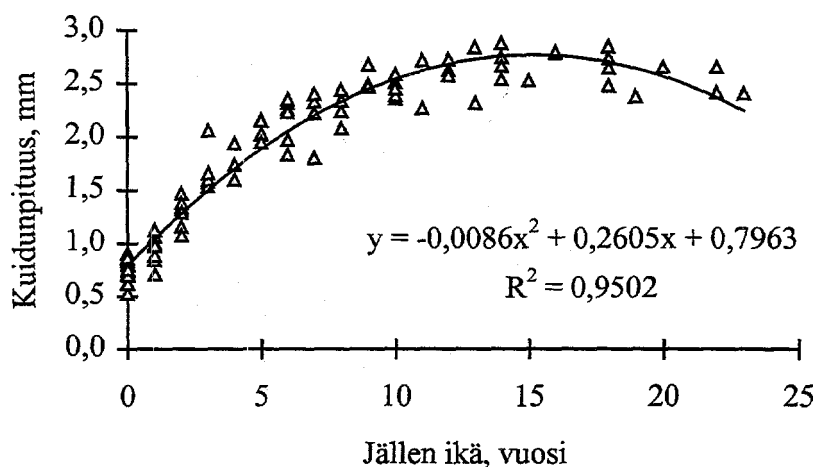


Kuva 2. Keskimääräinen kuidunpituus (z-akseli) puun rungossa korkeuden (x-akseli) ja vuosiluston (y-akseli) suhteen.



Kuva 3. Kuidunpituusjakaumat näytekiekossa N (vrt. taulukko 1) vuosilustoissa 16, 18, 22 ja 26.

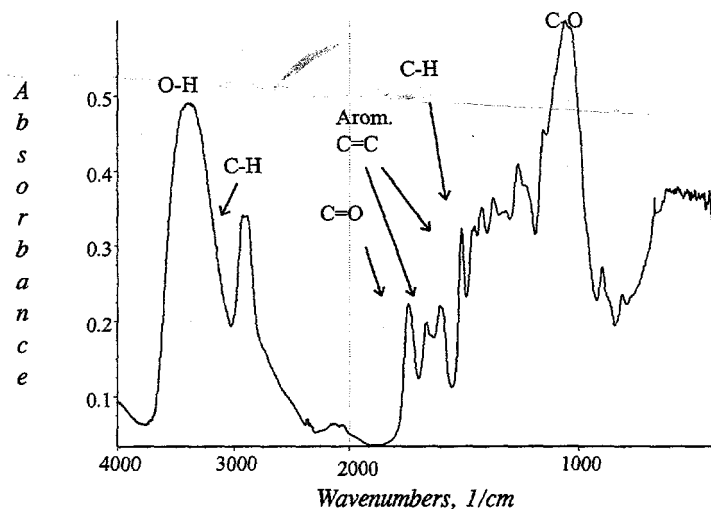
Kuidunpituusmäärittysten perusteella laskettiin, että 72 % ( $50 \text{ dm}^3$ ) rungon (latvus mukana) tilavuudesta on puuainesta, jonka pituuspainotteinen kuidunpituuskeskiarvo on yli kaksi millimetriä. Mikäli rungon sisäisen oksapuun osuus on 5 %, vastaavan puuaineksen (kuidunpituus > 2 mm) osuus on 67 %. Kuidunpituuden ja jälleen iän välinen korrelaatio (kuva 4) osoittaa tässä tapauksessa kuidunpituuden saavuttavan maksimiarvonsa jälleen iän ollessa 15 vuotta.



Kuva 4. Keskimääräinen kuidunpituus jälleen iän funktiona tutkitussa ensiharvennusmännnyssä.

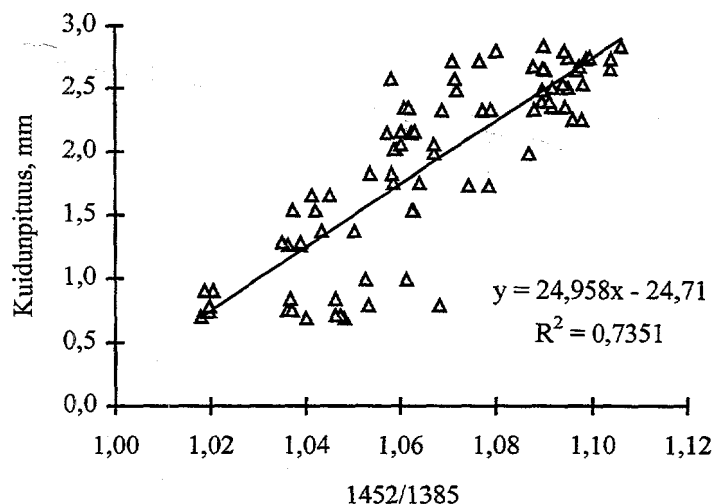
### 7.3 INFRAPUNASPEKTROSKOPIA

FTIR(fourier transform infrared spectroscopy)-mittaukset tehtiin sekä kesä- että kevätpuusta valmistetuilla näytteillä (120 kappaletta). Näytteet pakastettiin ennen määrittäystä puun alkuperäisen koostumuksen säilyttämiseksi. Spektrit mitattiin DRIFT- eli diffuusiheijastusperiaattella käyttäen Nicolet Magna IR 550 spektrofotometriä. Lisäksi erillisesti mitattiin puun kemiallisten pääkomponenttien (selluloosa, hemiselluloosat, ligniini ja erilaiset uuteainefraktiot) FTIR-spektrit myöhemmin tehtävää pääkomponenttitarkastelua varten. Kyseisessä tarkastelussa pyritään kehittämään menetelmä pääkomponenttien nopeaksi määrittämiseksi. Kuvassa 5 esitetään tyypillinen FTIR-spektri puun keskiosan näytteestä. Mielenkiintoisin aaltolukualue on 1900 - 750  $1/\text{cm}$  (aallonpituus 5,3 - 13,3  $\mu\text{m}$ ). Tuloksia käsiteltiin tilastollisesti erilaisten korrelaatioiden havaitsemiseksi.

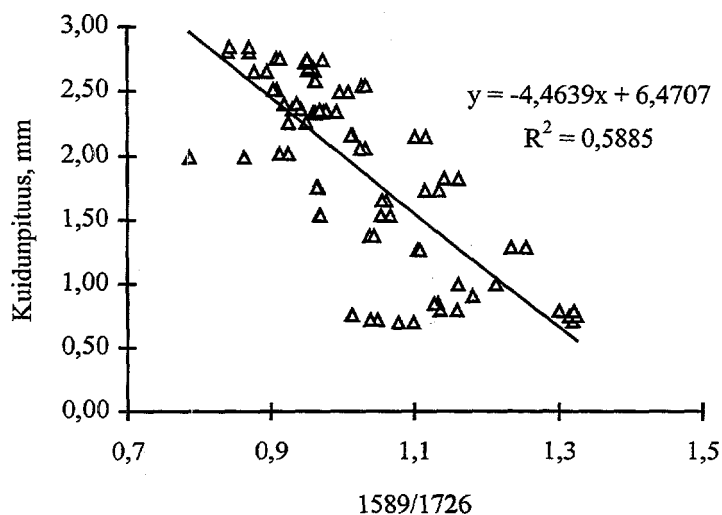


Kuva 5. Tyypillinen ensiharvennuspuun FTIR-spektri. Näytekiekko I, 18. vuosilusto, kesäpuu.

Koetyöskentelyn yhteydessä havaittiin, että spektritiedon ja keskimääräisten kuidunpituusarvojen välillä vallitsi merkittävä korrelaatio. Kuvissa 6 ja 7 esitetään esimerkkejä kyseisistä korrelaatioista.



Kuva 6. Pitäuspainotteinen kuidunpituuskeskiarvo FTIR-saattolukujen 1377 1/cm ja 1458 1/cm suhteen funktiona.



Kuva 7. Pitäuspainotteinen kuidunpituuskeskiarvo IR-spektrin aaltolukujen 1589 1/cm ja 1726 1/cm suhteen funktiona.

Kuvien 6 ja 7 tuloksissa ei vielä ole otettu huomioon mitattujen näytteiden 'painoarvoja' ja läheltä ydintä olevien näytteiden osuus on hieman korostunut.

## 7 VUODEN 1997 JATKOSUUNNITELMAT

Tutkimuksen tehtävät vuonna 1997 ovat:

- Puun kuivatuoretiheyden vaihtelut ensiharvennusmännnyssä,
- kyseisen puun kemiallisen koostumuksen selvitys (erityisesti uuteaineiden jakautuminen),
- spektritiedon (FTIR ja VIS) vahvistaminen ja korrelaatiotarkastelun laajentaminen,
- puiden välisten erojen selvittäminen,
- puufraktioiden kuiduttaminen sulfaattimenetelmällä ja muodostuvien kuitutuotteiden analysointi sekä
- tutkimuksen osittainen laajentaminen ensiharvennuskoiivuun (*Betula verrucosa*).

## 8 KIRJALLISUUSVIITTEET

*Hakkila, P., Kalaja, H. ja Saranpää, P.* 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582.



# KAUKO-OHJATTAVAN HARVENNUSHAKKUUKONEEN KEHITTÄMINEN - 122

Juha Kerva  
VTT Automaatio  
PL 13023  
90571 Oulu

Puh. (08) 5512 230  
Fax (08) 5512 320  
juha.kerva@vtt.fi

## **Abstract: Development of remote-controlled forest machine**

The aim of the project is to develop forest machine for first state thinning. The machine will be light and it will reduce damages of the ground compared to damages caused by normal forest machines. The machine will be operated by wireless remote controller and there is not going to be any cabinet. To improve driving in the forest anti-slip wheel control system will be used. To make working with the machine more efficient and easy, automatic and semi-automatic operations in workboom control will be included.

## 1 TAUSTA

Nykyisin käytössä olevat hakkuukoneet ovat pääsääntöisesti järeisiin pääte-hakkuihin soveltuvia ja näiden käyttötuntikustannukset ensiharvennuksissa hakkuun tuottavuuteen nähden ovat korkeat. Ensiharvennuskohteessa myös maaston vaurioituminen suurilla hakkuukoneilla työskenneltäessä on eräs haittatekijä.

Yhteistyössä eri osalaitevalmistajien kanssa on VTT Automaatio laatinut alustavat suunnitelmat kauko-ohjaukseen perustuvan pienikokoisen ja kevyen hakkuukoneen kehittämisestä ja prototyypin rakentamisesta. Kehitettävän hakkuukoneen ensisijaiset käyttökohteet tulevat olemaan ensiharvennusleimikot. Hakkuukoneen ohjaaminen suoritetaan koneen ulkopuolelta kauko-ohjauspaneelia käyttäen, jolloin ohjaamo voidaan jättää pois. Tämä mahdol-

listaa osaltaan koneen hankintahinnan jäämisen riittävän alhaiselle tasolle tuottavuuteen nähden.

## 2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on kehittää harvennusolosuhteisiin soveltuva kauko-ohjaukseen perustuva hakkuukone prototyyppiasteelle. Koneella suoritetaan sekä puun kaato ja karsinta että puiden kuljetus suurempien ajourien viereen. Kehitettävässä koneessa sovelletaan mm. automaattista luistonestojärjestelmää maan vaurioitumisen vähentämiseksi ja etenemiskyvyn parantamiseksi. Työpuomin ohjauksessa tullaan soveltamaan mikroprosessoriohjauksen mahdollistamia automaattisia ja puoliautomaattisia toimintoja koneella tehtävän työn helpottamiseksi ja tehostamiseksi.

## 3 TOTEUTUS

Projekti toteutetaan yhteistyössä VTT Automaation ja VTT Energian kanssa. Projektiin osallistuvia yrityksiä ovat mm. Valmet Hydraulics Oy, Laimu Oy ja Konemeskus.

## 4 TEHTÄVÄT

Projekti käynnistyi vuoden 1996 viimeisellä neljänneksellä. Vuoden 1996 keskeisimmät tehtävät olivat alustava työskentelymenetelmä- ja korjuuketju-analyysi, laitteen toiminnan ja rakenteen vaatimusmäärittely sekä hydrauliikka- ja mekaniikkasuunnittelun aloitus.

## 5 RAHOITUS

Vuoden 1996 budjetti oli 502 kmk, josta Tekesin myöntämä rahoitusosuus on 300 kmk. Projektin käynnistyminen viivästyi hieman ja kustannusten toteutuma vuonna 1996 oli budjetoitua pienempi, koska mm. projektiin sisältyviä laitehankintoja ei vielä toteutettu.

## 6 VUODEN 1996 TULOKSET

Koneeseen tuleva alusta ja harvesteripää on valittu ja puomin vapausasteet ja toimintaperiaate on päätetty. Myös hydrauliiikan suunnittelua ja komponenttivalintaa on tehty. Koska kehitettävä kone sekä kaataa, että lastaa kaatamansa puun omalle lavalle, tuo tämä omat vaatimuksensa puomin toiminnalle. Puomiin on päätetty rakentaa neljä vapausastetta, minkä lisäksi alustan keskinivelen kulmaa ohjaamalla voidaan suunnata puomia sivusuunnassa kohti kaadettavaa puuta. Puuhun tarttuminen ja puun kaataminen kyseisellä puomilla vaatii usean nivelen samanaikaista ohjaamista, jolloin pelkästään suoralla nivelkohtaisella ohjauksella toteutettuna työnteko vaatii tarkkuutta ja huolellista keskittymistä. Projektissa onkin päätetty ottaa käyttöön mikroprosessori-ohjauksen tuomia helpotuksia työpuomin ohjauksessa. Tällaisia ovat mm. useamman nivelen yhtäaikainen liikkuminen synkronoituna yhden nivelen ohjauksen perusteella. Tämä tarkoittaa sitä, että mm. puuhun tartuntavaiheessa ja puun kaatovaiheessa saadaan yhtä puomin niveltä ohjaamalla puomin muut nivelet liikkumaan siten, että puomi kokonaisuudessaan liikkuu työtävään vaatimalla tavalla. Edellisen lisäksi myös täysin automaattisia toimintoja on tarkoitus toteuttaa esim. puun kaatovaiheessa, jolloin yhdestä kytkimestä käynnistettynä suorittaa puomi täysin tietokoneen ohjaamana puun kaadon ja puun noston ylös lavallelastausasentoon.

Koneen työsekvenssin ja koneen ohjaamisen vaatimien signaalien perusteella on määritetty kauko-ohjaimessa tarvittavat toiminnot ja on todettu VTT:llä kehitetyn langattoman tiedonsiirtoratkaisun olevan sopiva kyseiseen tehtävään.

## 7 JATKOSUUNNITELMAT

Projekti jatkuu koneen ja puomin suunnittelulla ja rakennuksella, elektronii-kan suunnittelulla ja asennuksella, sekä ohjausjärjestelmän ohjelmiston teolla. Tavoitteena on päästä käytännön kenttäkokeisiin syyskuussa 1997.



## KETJUHARJA-MENETELMÄ PUUN KARSINNASSA JA KUORINNASSA - 120

Veli-Juhani Aho, Lauri Nikala, Heikki Laitinen  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 672 611  
Fax (014) 672 799  
veli-juhani.aho@vtt.fi

### **Abstract: Chain-brush method in delimbing and debarking of wood**

The objective of this project is to study, develop and make an integrated method for production of food fuels and industrial raw material, promoting the competitiveness of the refining and energy usage of felling residues based on chain-brush delimbing-debarking technology, operational.

VTT Energy has tested different brush constructions and chain thicknesses using varying feeding speeds and rotation speeds of the brush-delimber. First thinning pine, spruce and birch have been tested as single trees. Different temperatures have been used in the summer, and frozen timber in the winter.

A method has been developed for estimation of the bark content and the wood losses for pine. The method is based on the measurement of the areas covered by bark and the debarked areas of the timber, on the bark thickness values and dry substance content of the wood obtained from the literature, as well as on the calculation formulas obtained from these.

Unscrambler software will be used to assist the planning of the tests, and for analyzing of the results. The utilization of the chain-brush method for different wood-species, and the effect of different chain adjustments will be simulated by the software.

The chain-brush delimbing will be studied using the high-speed camera acquired to VTT Energy.

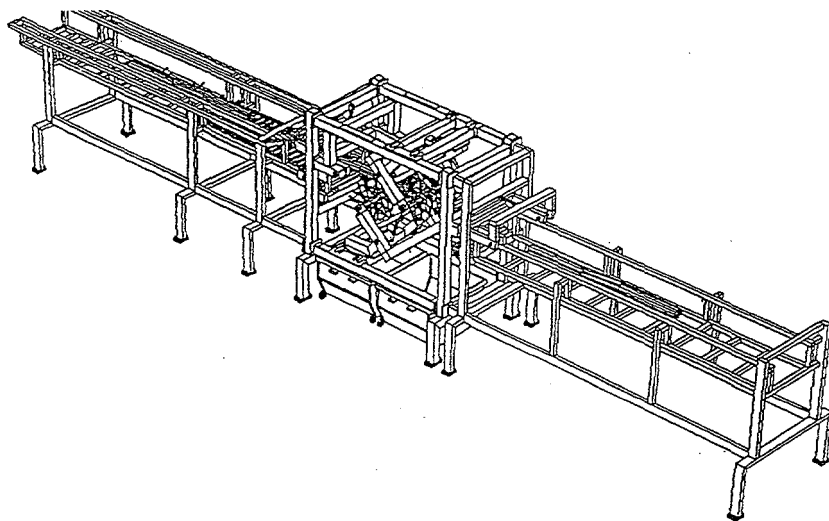
# 1 TAUSTA

Suomessa on käytössä Pohjois-Amerikasta tuotu ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikkö, Peterson Pacific DDC 5000, kaksi kiinteää yksikköä sekä Hooli Oy:n kotimainen ketjukarsinta-kuorintayksikkö. Ketjukarsinta-kuorinnan on myös Suomessa ennustettu yleistyvän teollisuuden integroidussa aines-energiapuun hankinnassa.

Bioenergian tutkimusohjelmassa on tutkittu ketjukarsinta-kuorintamenetelmän tuottavuutta ja kustannuksia, raaka-ainetasetta sekä selluhakkeen ja karsintamurskeen kertymiä ja ominaisuuksia sekä kehitetty menetelmää yleisesti Suomen olosuhteisiin soveltuvaksi. Tavoitteena on ollut kehittää ja saada tuotantokäyttöön ketjukarsinta-kuorintatekniikkaan perustuva integroitu korjuumenetelmä, jolla voidaan tuottaa kilpailukykyiseen hintaan sekä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta että selluteollisuuden käyttöön hyvälaatuista kuoretonta haketta. Tavoitteena on ollut päästä selluhakkeella alle 1 % kuoripitoisuuteen ja syntyvän polttojakeen tavoitehintana on ollut 45 mk/MWh.

Ketjukuorinnan tulos riippuu raaka-aineen ominaisuuksista, prosessiteknisistä tekijöistä ja sääoloista. Hyvissä sulan maan oloissa yksiköllä päästään alle teollisuuden vaatiman hakkeen kuoripitoisuusrajan (alle 1 % kuivamassasta). Ketjukarsinta-kuorinnan tulokset eivät kuitenkaan vielä ole vastanneet vaadittuja tulostavoitteita. Kuoripitoisuusraja ylittyy varsinkin talvella. Lisäksi kuorintatulos on edelleen epätydyttävä, jos puut ovat hyvin pieniä, tai ne ovat päässeet kuivahtamaan. Mäntyhakkeen kuoripitoisuus on ollut yleensä tasolla 1 - 2 %. Toisaalta 10 - 30 °C pakkasessa tuotetun hakkeen kuoripitoisuus nousee jo 3 %:n tasolle (Rieppo ym. 1995).

Kuorintatuloksen kannalta ehkä vaikein kaikista puuraaka-aineista on jäänyt karsimaton kuusi. Tutkimusten mukaan 13 - 20 °C pakkasessa kuorta jäi peräti 6,9 % hakkeen kuivamassasta, joten menetelmä ei sovellu nykytekniikkaa käyttäen kuusiosapuulle ainakaan talvella. Koivua ja sekapuulajeja koskevat tutkimukset ovat lisäksi vielä kesken.



*Kuva 1. Ketjuharjakarsinta-kuorintatekniikan VTT Energiassa oleva tutkimuslaite.*

Ketjukarsinta-kuorintatekniikan tutkimus- ja kehitystyöhön liittyen on VTT Energiassa kehitetty ja rakennettu puunkäsittelyn tutkimuslaitteisto. Sillä pystytään tutkimaan mm. ketjukarsinnassa ja -kuorinnassa tapahtuvia iskemis- ja leikkausilmiöitä sekä harjaustekniikan soveltamista puun kuorinnan tehostamiseksi. Tutkimuslaitteisto antaa mahdollisuudet kehittää ketjukarsinta-kuorintatekniikkaa ja siihen liittyvää harjaustekniikkaa siten, että menetelmällä tuotettavan kuorinnan laatu saadaan kaikissa olosuhteissa hyväksyttävälle tasolle.

## 2 TAVOITE

Hankkeen tavoitteena on tutkia, kehittää ja saada tuotantokäyttöön ketjuharjakarsintakuorintatekniikkaan perustuva, harvennuspuun jalostus- ja energiakäytön kilpailukykyä edistävä puupolttoaineen ja teollisuuden ainespuun tuottamiseen tarkoitettu integroitu menetelmä. Edelleen hankkeen tavoitteena on kehittää pienten puiden joukkokäsittelyyn soveltuva karsintakuorintatekniikka, jolla voidaan tuottaa kilpailukykyisin kustannuksin sekä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta että selluteollisuuden käyttöön hyvälaatuista haketta. Tavoitteena on päästä alle 1 %:n kuoripitoisuuteen ennen haketusta, päästä saannossa ensiharvennusmännnyllä yli 65 %:n ja koivulla yli 75 %:n sekä pienentää hakkurille menevien tikkujen ja epäpuhtauksien määrää. Asetettuun tavoitteeseen pyritään pääsemään männyllä, kuusella ja koivulla sekä kesä- että talviolosuhteissa.

Projektin kokonaistavoitteena on tuotteistaa tutkimuksissa saadut tulokset siten, että olemassaoleviin karsijoihin siirretään vuosina 1996 ja 1997 tutkimuksissa saatu tieto ja vuonna 1998 olisi valmiina uuden sukupolven karsijakuorija-prototyyppi suomalaisten koneyrittäjien ja metsäteollisuuden käytössä. Vuoden 1996 tavoitteena on kehittää ketjujen ja harjojen parempia muotoja ja materiaalien laatuja sekä puiden hallittua syöttönopeutta.

### 3 TOTEUTUS

Projekti toteutetaan VTT Energian toimesta käyttäen hyväksi rakennettua tutkimus- ja mittausvälineistöä.

### 4 TEHTÄVÄT

Projektin alkuperäisistä tehtävistä poiketen on jouduttu alkuvaiheessa keskittymään paremman mittaus- ja analyysimenetelmän kehittämiseen, jotta kyettään saavuttamaan riittävän luotettavia tuloksia kuorinnan eri kehitysvaiheista. Erilaisten ketjujen ja harjojen kehityskokeet ovat parhaillaan menossa ja suurnopeuskameraa sovelletaan kuorintatapahtuman tutkimiseen.

Vuoden 1996 tehtävät ovat:

1. Mittaus- ja analyysimenetelmien kehittäminen
2. Tutkimuskokeet
  - karsinta- ja kuorintakokeet ensiharvennusmännillä (ketjut ja harjat)
  - karsinta- ja kuorintakokeet kuusella ja koivulla
  - kuoripitoisuuden ja puuhäviön riippuvuuden alustava tutkiminen (ketjun iskun vahingoittava vaikutus ainespuuhun)
3. Käytännön sovellukset
  - laboratoriossa saatujen tietojen soveltaminen olemassa oleviin koelaitteisiin (ketjukonstruktioita)
4. Käytännön kokoluokan tutkiminen
  - käytäntöön sovelletun tiedon soveltuvuuden selvittäminen (ketjujen osalta)
5. Raportointi

## 5 RAHOITUS

| Rahoitusuunnitelma (1 000 mk) | 1996 | 1997 | Yhteensä |
|-------------------------------|------|------|----------|
| Yksityinen                    | 100  | 170  | 270      |
| TEKES                         | 595  | 680  | 1 275    |
| VTT Energia                   | 300  | 300  | 600      |
| Yhteensä                      | 995  | 1150 | 2 145    |

Lisäksi VTT Energia rakennetaan täysimittainen puunkäsittelyn tutkimuksen ja tuotteistamisen laiteympäristö Jyväskylän Seudun osaamiskeskusprojektina, jossa kokonaisinvestointi on noin 6 miljoonaa markkaa. Osaamiskeskusprojektin investointia rahoittavat VTT Energia, Jyväskylän kaupunki, Keski-Suomen Liitto ja alan teollisuus.

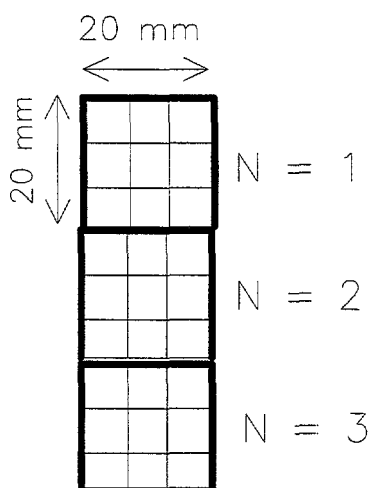
## 6 TULOKSET

Projektin talvikoeajot ovat parhaillaan käynnissä ja niistä saadaan tulokset myöhemmin keväällä. Projektin alkuvaiheessa jouduttiin aikaisemmista suunnitelmista poiketen kehittämään huomattavasti enemmän mittausmenetelmää ja niihin liittyviä näytteiden ottoja, koska muuten koeajoissa tarvittavat puumäärät olisivat nousseet niin suuriksi, ettei koeajoja olisi voitu toteuttaa luotettavasti. Seuraavissa tuloksissa on esitetty tutkimuksissa käytettävää koesuunnittelua sekä tehtyjä koeajoja.

### 6.1 KUORIPITOISUUS- JA PUUNHÄVIKKIMITTAUS-MENETELMÄN KEHITTÄMINEN

Kuoripitoisuuden ja puunhävikin määrittämiseksi kehitettiin VTT Energiassa menetelmät, jotka perustuvat kuoren tai rikkoutuneen puun pinta-alan määrittämiseen. Kuoripitoisuus lasketaan puun kuoripinta-alasta, joka muutetaan kirjallisuudesta saadun kuorenpaksuusarvon avulla tilavuudeksi ja tämä suhteutetaan koko puun tilavuuteen. Saatu kuoripitoisuus muutetaan kirjallisuudesta saadun arvon mukaan kuiva-aineprosentiksi. Puun rikkoutuminen lasketaan vastaavalla tavalla, mutta rikkoutumissyvyys arvioidaan ja rikkoutuminen lasketaan tilavuusprosentteina.

### *Laskukaavat ja mitta-asteikko*



$N$  = mitattujen ruutujen lukumäärä ja mitta-asteikon kukin ruutu on  $20 \times 20$  mm<sup>2</sup>.

Mitta-asteikon ruutu on jaettu yhdeksään pienempään ruutuun, joiden avulla arvioidaan, kuinka monta pientä ruutua on kuorellista (0 - 9), kukin lukuarvo merkitään taulukkoon. Näistä lasketaan kuoren pinta-alan keskiarvo sekä pinnan rikkoutumisen keskiarvo.

Kuoren kehä =  $2 \cdot \pi \cdot R$ , missä  $R$  on puun säde eli se on  $N \cdot 20 / (2 \cdot \pi)$

$d$  on taulukosta saatu keskimääräinen kuorenpaksuus ja sillä on mm. seuraavat arvot:

- $d = 8$  mm 1 metrin korkeudella maanpinnasta
- $= 4$  mm 2 metrin korkeudella maanpinnasta
- $= 3$  mm 3, 4, 5 tai 6 metrin korkeudella maanpinnasta

/Hakkila P., Kalaja H., Sarapää P., Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Vantaa 1995. s 18./

Kuoritulavuus -% = kuoren pinta-ala %  $\cdot 100 \cdot 2 \cdot \pi \cdot d / (20 \cdot N)$

Kaava saadaan laskemalla suhde kuorellisen sylinterin tilavuus verrattuna koko puun mittausalueen tilavuuteen.

$$\text{Kuoren pinta-ala \%} = 100 \cdot \text{keskiarvo} / 9$$

Kuoripinta-ala = laskettun kuorellisen pinta-alan suhde koko pinta-alaan prosentteina.

$$\text{Puunhävikki \%} = \text{pinnan rikkoutumisen keskiarvo} \cdot 100 \cdot 2 \cdot \pi \cdot h / (20 \cdot N)$$

h = pinnan rikkoutumisen keskiarvo, arvioitu niistä ruuduista missä ei ole kuorta, puun rikkoutumisen keskisyvyytenä koko arvioruudun alalla (mitta-asteikon ruutu  $20 \cdot 20 \text{ mm}^2$ ).

$$\text{Kuoren kuiva-aineprosentti} = 2/3 \text{ osaa kuoritulavuus prosentista. /Hakkila s. 19./}$$

Kuoripitoisuutta arvioitaessa vaajaat osaruudut ( $20 \cdot 20 \text{ mm}^2$  ruuduissa) pyritään yhdistämään kokonaiseksi osaruudeksi. Kuoripitoisuus arvioidaan aina pinta-alan mukaan eli kuoren paksuutta ei tässä huomioida. Tällöin kokonaiskuoripitoisuus on lieene arvioitua pienempi, koska ketjut irrottavat kuoritaessa puusta myös pintakuorta. Puun rikkoutumista arvioitaessa arvioidaan kokonaisen  $20 \cdot 20 \text{ mm}^2$  ruudun keskimääräinen rikkoutumissyvyys.

Kuoren paksuus (d = 8, 4, 3 jne) muutettiin kaikkiin mittauskohtiin 3 mm:ksi, koska tällä kuoren paksuudella laskettaessa (kuoren kuiva-aineprosentti) ja laboratoriomittauksilla kuoripitoisuudet olivat lähimpänä toisiaan. Edellinen johtunee siitä, että vaikka kuori ei kokonaan irtoakaan puusta, niin se ohenee kuorinnan vaikutuksesta selvästi.

Joulukuussa 1996 tehtiin koeajosarja, missä verrattiin laboratorio- ja arviomittautuloksia sekä arvioitiin tulosten perusteella arviomittauksen sopivuutta ketjuharja-menetelmän koeajoissa. Ero arviomittauksen ja laboratoriomäärityksien puukohtaisten keskiarvojen välillä on suurimmillaan (koe 005 ja 004) noin puoli prosenttiyksikköä. Ero voi johtua puun kuoren paksuusvaihteluista, mitä pinta-alaa mittaava arviomittaus ei voi ottaa huomioon. Arviointimittaus näyttää antavan hiukan pienempiä kuoripitoisuuksia kuin laboratoriomittaus.

Yksittäisten laboratorio- ja arviomittausten tulosten erot ovat yleensä alle puoli prosenttiyksikköä, paitsi ajonumero 005 viiden metrin ja kolmen metrin kohdan mittautuloksien ero on yli yhden prosenttiyksikön. Vertailumittauksissa (448) puukohtaiset poikkeamat keskiarvosta (3, 4 ja 5 m:n kohdat) olivat alle puoli prosenttiyksikköä.

Näiden vertailutulosten perusteella voidaan arviomittausmenetelmää pitää kohtuullisen luotettavana käytettyyn laboratoriomittaukseen verrattuna ja soveltuvan kuoripitoisuuden mittaukseen koeajoissa, joissa pyritään löytämään laiterakenteita, -asetuksia ja ajoarvoja alhaisen kuoripitoisuuden saavuttamiseksi ketjuharjamenetelmää käyttävässä kuorinnassa.

## 6.2 KETJUHARJAMENETELMÄN KOESUUNNITTELU

Tässä kuvataan lyhyesti, miten käytetään hyväksi koesuunnittelua ja Unscrambler-ohjelmistoa ketjuharjamenetelmässä. Koesuunnittelun tärkeimmät tavoitteet ovat seuraavat:

- Tehokkuus - saadaan enemmän informaatiota vähemmillä kokeilla.
- Kohdistaminen - kerätään sitä tietoa, jota todella tarvitaan.

Koesuunnitelman rakentaminen käsittää huolellisesti valittuna pienen määrän kokeita, jotka suoritetaan kontrolloiduissa olosuhteissa. Suunnitelman rakentamisessa on neljä toisistaan riippuvaa askelta:

- Määritellään kokeelle tavoite.
- Määritellään muuttujat, joita kontrolloidaan kokeen aikana (eli suunnittelumuuttujat) ja niiden tasot eli vaihteluvälit.
- Määritellään muuttujat, joita mitataan koeajojen tulosten kuvaamiseksi (eli vastemuuttujat).
- Valitaan käytettävissä olevista standardikoesuunnitelmista se, joka on yhteensopiva tavoitteen kanssa sekä jolla on järkevät kustannukset.

Lisäksi määritellään:

- Vakiomuuttujat eli muuttujat, joilla voi olla vaikutusta kokeiden tuloksiin ja jotka pidetään vakiona, jotta ne eivät häiritse suunnittelumuuttujia.
- Kontrolloimattomat muuttujat eli muuttujat, joilla voi olla vaikutusta kokeiden tuloksiin ja joita ei voida kontrolloida. Jotta olisi mahdollista ottaa ne huomioon myöhemmissä analysoinneissa, niin voidaan merkitä ylös niiden havaitut arvot kokeiden aikana.

Seuraavassa esitetään case-esimerkin muodossa, miten koesuunnittelua ja Unscrambler-ohjelmistoa käytetään ketjuharjamenetelmän yhteydessä.

Tarkastellaan yksittäisten mäntyrunkojen kuorintaa. Silloin vakiomuuttujia ovat mm. puulaji, karsittu runko, rumpujen varustelu, rumpujen paikat, yksi-

vaiheinen kuorinta. Kontrolloimaton muuttuja on mm. lämpötila. Suunnittelumuuttujat ovat rungon syöttönopeus ja rumpujen pyörimisnopeus. Vastemuuttujina ovat kuoripitoisuus ja puunhävikki.

Käytetään Unscramblerin yhdistelmäsuunnitelmaa (central composite design), jossa syötön vaihteluväli on [20,35] m/min ja rumpujen pyörimisnopeuden vaihteluväli on [300,600] r/min. Satunnaisessa koejärjestyksessä oleva koesuunnitelma voi olla kuvassa 2 esitetyn mukainen. Siinä on (syöttö,rumpu)-kombinaatioita, joista (20,300), (35,300), (20,600) ja (35,600) ovat ns. kuutiopisteet, lisäksi on otettu mukaan 5 keskipistettä (27.5,450) sekä 4 ns. tähtipistettä (16.9,450), (27.5,238), (38.1,450) ja (27.5,662).

|          |     | syöttö  | rumpu    | kuori | hävikki |
|----------|-----|---------|----------|-------|---------|
|          |     | 1       | 2        | 3     | 4       |
| Cube004a | 11  | 35.0000 | 600.0000 | m     | m       |
| Cube003a | 21  | 20.0000 | 600.0000 | m     | m       |
| Cent-e   | 31  | 27.5000 | 450.0000 | m     | m       |
| *H:B-a   | 41  | 27.5000 | 662.1320 | m     | m       |
| Cube001a | 51  | 20.0000 | 300.0000 | m     | m       |
| Cent-d   | 61  | 27.5000 | 450.0000 | m     | m       |
| *H:A-a   | 71  | 38.1066 | 450.0000 | m     | m       |
| Cent-b   | 81  | 27.5000 | 450.0000 | m     | m       |
| *L:B-a   | 91  | 27.5000 | 237.8680 | m     | m       |
| *L:A-a   | 101 | 16.8934 | 450.0000 | m     | m       |
| Cent-c   | 111 | 27.5000 | 450.0000 | m     | m       |
| Cube002a | 121 | 35.0000 | 300.0000 | m     | m       |
| Cent-a   | 131 | 27.5000 | 450.0000 | m     | m       |

Kuva 2. Esimerkki yhdistelmäsuunnitelmasta.

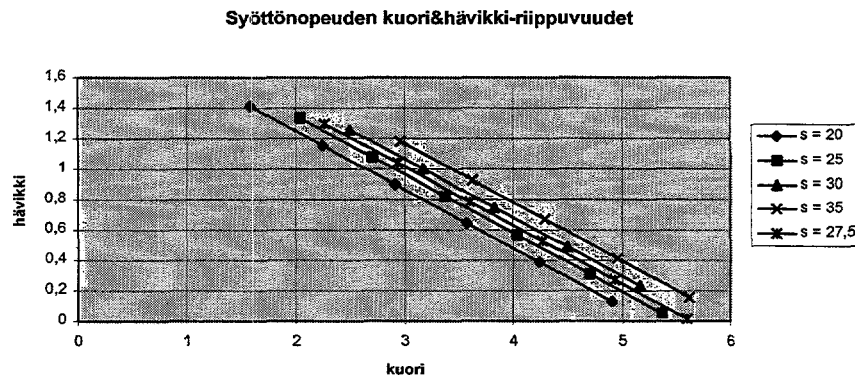
Koesuunnitelman mukaiset koeajot suoritetaan ja pikamittauksista saatujen kuoripitoisuuden ja puunhävikin keskiarvot kullekin rungolle sijoitetaan koesuunnitelmaan niille varatuille paikoille. Näiden kokeiden perusteella saadaan luotettava kuva kuoripitoisuuden ja puunhävikin vaihtelusta suunnittelumuuttujien rajaamalla koalueella. Unscrambler antaa kaksi vastepinnan kuvaa, joista toinen on kolmiulotteinen kuva kuoripitoisuudesta tai hävikistä syöttö×rumpu-koordinaatissa ja toinen on tasa-arvokäyräviivasto. Voidaan valita joko lineaarinen tai kvadraattinen malli esittämään kuoripitoisuutta tai puunhävikkiä. Lisäksi saadaan tilastollisen merkitsevyyden tarkistukset, joiden perusteella nähdään mallin hyvyys.

Kuoripitoisuudelle  $k$  ja puunhävikille  $h$  saadaan seuraavat yhtälöt, missä  $s$  on syöttönopeus ja  $r$  on rumpujen pyörimisnopeus (lisäksi mahdollinen kvadraattinen osa on merkitty sulkuihin):

$$k = k_1s + k_2r + k_3 + (k_4s^2 + k_5sr + k_6r^2)$$

$$h = h_1s + h_2r + h_3 + (h_4s^2 + h_5sr + h_6r^2)$$

Kun näissä yhtälöissä valitaan syötölle vakioarvo ja vaihdellaan rumpunopeuksia, niin saadaan (kuori,hävikki)-pareja, jotka voidaan sijoittaa  $k \times h$ -koordinaatistoon ja täten saada näkyviin kuoripitoisuuden ja puunhävikin keskinäinen riippuvuus. Kun ajetaan edellä kuvatulla tavalla koesarjoja eri tilanteissa, voidaan niistä koota sopivasti samaan kuvioon  $(k \times h)$ -riippuvuudet. Kokoamisperusteita voivat olla esimerkiksi erilaiset rummut, syöttönopeudet, lämpötilat, puulaadut yms. Kuvassa 3 on koottuna samaan kuvioon yhden todellisen koesarjan  $(k \times h)$ -riippuvuudet syöttönopeuden mukaan laskettuna; riippuvuudet ovat lineaarisia tässä tapauksessa.



Kuva 3. Esimerkki syöttönopeuden vaikutuksesta.

Kuvasta 3 voidaan havaita, että tietylle kuoripitoisuudelle (esim. 4 %) puunhävikki on pienin, kun  $s = 20$ , ja suurin, kun  $s = 35$ . Kuviosta nähdään myös, että kuoripitoisuuden pienentyessä puunhävikki kasvaa, mikä on odotettuakin. Kuitenkin käyrän sijainti koordinaatistossa sekä sen jyrkkyys kertoo hävikin suuruuden ja sen kasvunopeuden. Tämän suhteen eri tapaukset ovat erilaisia ja edellä kuvatulla yhteenvetokuviolla voidaan erilaisten tapausten keskinäistä paremmuutta arvioida. Edellisestä kuviosta nähdään, että syöttönopeuden kasvu lisää puunhävikkiä, koska rumpunopeutta on kasvatettava samaan kuoripitoisuuteen pääsemiseksi. Puunhävikin kasvu ei kuitenkaan ole kovin nopeaa, joten voidaan ilmeisesti vertailla eri tapauksia käyttäen samaa syöttönopeutta; esimerkiksi  $s = 27,5$  eli syöttö on keskiarvo.

Edellä kuvattu koesuunnittelu- ja analysointimenetelmä antaa tilastollisesti perustellun ja visuaalisesti helpon tavan verrata eri tapauksia toisiinsa sekä valita sen perusteella jatkokäsittelyyn esimerkiksi parhaat rumpurakenteet.

## 6.3 KOEAJOJEN TULOKSIA

### 6.3.1 Alustavat harjakokeet

Harjakokeet 181 - 393 tehtiin vuoden 1996 talven ja kevään aikana. Harjakokeita tehtiin männyllä, koivulla ja kuusella. Laitteistossa yläkarsijassa oli ketjut ja alakarsijassa harjat, harjamateriaalina oli jousiteräksestä taivutetut rautalankalenkit. Karsinta-kuorinta tapahtui aluksi useampivaiheisesti niin, että ensin puun yläpuoliset oksat karsittiin yläkarsijalla ja sitten puu ajettiin takaisin syöttöpäähän, käännettiin puun karsimaton alapuoli yläpuoleksi ja puu ajettiin koneen läpi yläkarsijan karsiessa yläpuolta ja alaharjan harjatessa alapuolta. Tämän jälkeen harjattiin harjaamaton alapuoli edellisen vaiheen tavoin. Myöhemmissä ajoissa puut karsittiin käsin ja harjaus voitiin suorittaa kaksivaiheisesti. Harja-ajoissa alakarsijaa pyöritettiin 250 - 300 kierroksilla, koska tällöin puu pysyi paremmin hallinnassa. Tämä tietenkin helpotti harjaustapahtumaa ja parasi tulosta.

Harjakokeissa päästiin alhaisiin kuoripitoisuuksiin männyllä pakkasolosuhteissakin (koe 206: kuoriprosentti 0,5), kuusen ja koivun tulokset ovat huonompia. Tuloksiin kuitenkin vaikuttaa jousiteräksisten harjojen katkeilusta johtunut harjapakkojen harventuminen toistuvien kokeiden seurauksena. Harja-aineena käytetty jousiteräksen karkaisu ei ollut täysin onnistunut tai se ei sellaisenaan sovellu karsijan harjakäyttöön, koska harjojen katkeileminen vaatii harjojen jatkuvaa uusimista. Toisaalta harja ei riko puun pintaa niin voimakkaasti kuin ketjut ja haketuksen jälkeen mitattu tikkuisuus hakkeessa lienee pienempi. Sahatukkien priimauksessa harjan ominaisuuksia kannattaa tutkia edelleen.

### 6.3.2 Ketjukokeet

Ketjukokeiden tarkoituksena oli testata kuoripitoisuus- ja puunrikkoutumisarviomittauksen tarkkuutta verrattuna käytettävissä olevaan laboratoriomittaukseen ja kokeilla sen käytettävyyttä koeajoissamme. Kokeita pyrimme tekemään niin, että erilaisten ketjujenasetelmien vaikutus kuoripitoisuuteen näkyisi tuloksista. Monimuuttuja ohjelmalla saatiin yhdestä ketjuasetelmasta matemaattinen malli, kun laitteistolla kuoritaan ensiharvennusmäntyä kymmenen asteen pakkaskelillä.

Varsinaiset kuorintakoeajot erilaisilla ketjuilla sekä eri asetuksilla ovat parhaillaan käynnissä.

### 6.3.3 Yhteenveto ajetuista kuorintakoeajoista

Näistä koetuloksista näkyy ketjun koolla olevan merkitystä kuoripitoisuuteen, kun verrataan koetuloksia keskenään. Tuloksissa on kuitenkin vain yhdenkahden prosenttiyksikön ero. Suurempi ketju lyö suuremman ”kolon” kuoreen. Tulevissa kokeissa on pyrittävä selvittämään, onko kokonaiskuoripitoisuutta mahdollista arvioida yhden ketjun lyöntiä arvioimalla (lyöntialueen koko ja ketjun koko, pituus, lyöntikohta puussa jne). Näiden arvioinnissa auttaa hankittava suurnopeuskamera.

Ketjun lyöntimäärällä oli kevään kokeitten mukaan selvä vaikutus. Niissä kokeissa kuoripitoisuus määriteltiin laboratorionäytteiden avulla ja nykyiset kokeet tehtiin arviomenetelmällä, joten tuloksia ei voi vertailla keskenään. Koeajojen tekijöiden arvion mukaan kevään kokeessa kuoripitoisuus oli huomattavasti pienempi ja lyöntimäärän vaikutus kuoripitoisuuteen oli suuri.

Ketjuasetelman vaikutuksen arviointia sotki puitten koon vaihtelu, mutta keväisten kokeiden mukaan asetelmalla on vaikutusta kuoripitoisuuteen. Tätä asetelman vaikutusta pyritään selvittämään monimuuttujakokeilla.

Puun hallitulla syötöllä on selvästi kokeiden mukaan vaikutusta kuoripitoisuuteen. Puun taipumat ja siirtymät karsintalinjalla huonontavat karsintatulosta.

Tarkasteltaessa yksittäisistä laboratoriomittauksissa saatuja kuoripitoisuuksia ja kuoren kosteusprosentteja näyttää kosteampi kuori irtoavan paremmin.

## 7 JATKOTOIMENPITEET

Projektissa jatketaan suunniteltuja koeajoja talviolosuhteissa ja osa tuloksista saadaan seminaariin mennessä. Erityisesti koeajoissa tullaan käyttämään suurnopeuskameraa. Myöhemmin alkukesästä valmistuu tutkimuslaitteen toinen osa, jolloin voidaan tutkia monivaiheista kuorintaa. Tällöin voidaan suorittaa ensin esikuorinta ja sen jälkeen välittömästi kuorinnan priimaus.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

*Aho, V-J.* 1996. Chain-flail simulator. IEA Bioenergy/Task XII joint meeting. Jyväskylä, Finland. 10 s.



# KETJUKARSINTA- JA PIENRUMPUKUORINTAAN PERUSTUVAN LAITTEISTON KEHITTÄMINEN TUOTANTOVALMIIKSI - 119, D102

Kaarlo Rieppo  
Metsäteho Oy  
PL 194  
00131 Helsinki

Pentti Hakkila, Hannu Kalaja  
Metsäntutkimuslaitos  
PL 18  
01301 Vantaa

Puh. (09) 132 531  
Fax (09) 659 202  
kaarlo.rieppo@metsateho.fi

(09) 857 051  
(09) 857 05361  
pentti.hakkila@metla.fi

## **Abstract: Development of chain limbing and small-drum barking equipment**

Three test series were carried out in 1996 at the chain limbing-drum barking station developed by Pertti Szepaniak Oy. The test equipment was developed during the test series. During the first experiment in February the wood used was frozen. In this test series the whipping efficiency was insignificant and consequently, the bark contents remained too large. In the second test in September the whipping efficiency was too high and was not easy to adjust, and as a consequence the wood loss was unreasonable. In the third test in November, when the wood was not yet frozen, the whipping efficiency was correct and promising results were obtained both with regard to the bark content and wood loss. Limbed pine pulpwood was used as raw material. The bark contents of the chips ranged from 0.2 to 0.4% and the wood loss in barking from 2.8 to 3.6%. The productivity also improved clearly during the tests. The experiments indicated that a separate station based on a combination of chain limbing-barking and drum-barking is able to produce high-grade pulp chips both from limbed and non-limbed first-thinning pine wood.

## 1 TAUSTA

Pienikokoisen ensiharvennuspuun korjuu ja käyttö voidaan ratkaista tehokkaimmin integroiduilla menetelmillä, joissa sekä kuitu- että energiaraaka-aine

otetaan talteen samanaikaisesti. Menetelmän kustannuskilpailukyvyyn ja kelpoisuuden kannalta keskeisen tärkeä kysymys on energijakeen ja kuituja-keen erottaminen toisistaan siten, että

- potentiaalinen kuitupuu saadaan mahdollisimman tarkoin arvokkaimpaan käyttökohteeseensa eli massateollisuuden raaka-aineeksi
- kuitupuun laatu (hakkeen palakoko ja kuoripitoisuus) on mahdollisimman hyvä
- kuitupuun lisäksi saadaan talteen mahdollisimman paljon energiapuuta
- menetelmä soveltuu mahdollisimman monelle puu- ja puutavaralajille
- menetelmä istuu puunkorjuun yleiseen logistiseen järjestelmään
- investointikustannukset eivät saa nousta laitteiston kapasiteettiin verrattuna liian korkeiksi.

Ketjukarsinta-kuorinnan osalta on aiemmissa Bioenergian tutkimusohjelmassa toteutetuissa hankkeissa osoitettu, että menetelmään perustuva aines- ja energiapuun hankintaketju on varsin kilpailukykyinen muihin toteutettavissa oleviin hankintaketjuihin verrattuna. Ketjukarsinta-kuorinta soveltuu karsimattomallekin puulle, mutta ongelmana on ollut tavoitellun alle 1 %:n kuoripitoisuuden saavuttaminen ainakin vaikeimmissa olosuhteissa.

Peterson Pacific -ketjukarsinta-kuorinta-haketuslaitteiston käytöstä saatujen kokemusten pohjalta Pertti Szepaniak Oy kehitti pieniläpimittaisen kuitupuun karsintaan ja kuorintaan uuden menetelmän, jossa sovelletaan peräkkäin sekä piiskaus- että pienrummutustekniikkaa. Piiskausvaiheessa puu karsiutuu ja menettää suuren osan kuorestaan. Piiskausta seuraa yhdensuuntaisrummutus, jolla kuorinta viimeistellään. Kun kuori on rikottu aikaisemmin piiskaamalla ja siihen on saatu murtumia ja avonaisia reunakohtia, rummutus nopeutuu oleellisesti. Runkopuun hävikki pidetään kurissa säätämällä kumpikin käsittely tavanomaista hellävaraisemmaksi.

## 2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on kehittää ja hienosäätää ketjukarsinta- ja pienrumpu-kuorintaan perustuvan laitteiston prosessitekniikkaa sekä toisaalta laitoksen puunhuollossa sovellettavaa työtekniikkaa ja toimintamalleja siten, että laitteisto saadaan tuotantovalmiiksi. Hanke toteutetaan 1996 - 1997.

### 3 TOTEUTUS

Projektin tutkimuksellisen osuuden toteuttavat Metsäntutkimuslaitos ja Metsäteho Oy yhteistyössä Pertti Szepaniak Oy:n ja Enso Oy:n kanssa. Projektia koordinoi Metsäteho. Projekti käynnistyi elokuun alussa 1996 ja vuoden 1996 osuus päättyy huhtikuun 1997 loppuun mennessä.

### 4 TEHTÄVÄT

Vuoden 1996 tehtävänä oli kehittää tekniikka männylle soveltuvaksi. Tavoitteeseen pyrittiin erilaisissa olosuhteissa tehdyin puuteknisin tutkimuksin ja työntutkimuksin.

### 5 RAHOITUS

| Rahoittaja         | Metsätehon<br>osuus | Metlan<br>osuus | Yhteensä |
|--------------------|---------------------|-----------------|----------|
| TEKES/             |                     |                 |          |
| Bioenergiaohj.     | 191 000             | 309 000         | 500 000  |
| Tutkimuslaitos     | 127 000             | 206 000         | 333 000  |
| Yritysten työpanos | 36 000              | 37 000          | 73 000   |
| Yhteensä           | 354 000             | 552 000         | 906 000  |

### 6 TULOKSET

#### 6.1 YLEISTÄ

Vuoden 1996 aikana on ketjukarsinta-rumpukuorinta-asemalla toteutettu kaikkiaan kolme 1 - 5 päiväistä koesarjaa. Näistä ensimmäinen tehtiin helmikuussa 1996 vielä tätä edeltävän bioenergia-projektin lukuun. Koska tuloksia ei ehditty raportoida edellisessä vuoden 1995 vuosikirjassa, raportoidaan ne tässä yhteydessä. Toinen koesarja järjestettiin syyskuussa 1996 ja kolmas marraskuussa 1996.

#### 6.2 TULOKSIA ENSIMMÄISESTÄ TALVIKOKKEESTA

Uudella ketjukarsinta-rumpukuorinta-asemalla toteutetun ensimmäisen koesarjan aikana 12. - 16.2.1996 lämpötila oli -10 — -15 °C. Ketjukarsija ei ollut

vielä asianmukaisessa kunnossa, sillä ketjut menettivät herkästi nopeutta puutaakkaa piiskatessaan.

Tutkimuksen kohteena oli karsittu ja karsimaton mänty-, kuusi- ja koivukuitupuu. Kaikki puutavara oli korjattu 5 cm:n latvaläpimittaohjeella ensiharvennusleimikoista. Käsitellyn kuitupuun kokonaismäärä oli 420 m<sup>3</sup>.

Raaka-ainevirta selvitettiin punnitsemalla autovaa'alla erikseen selluhake, selluhakkeesta erotettu alle 9 mm:n puru sekä karsinta-kuorintatähde. Taulukko 1 osoittaa, miten raaka-aine käsittelyprosessin läpäistyään jakaantui kuitu- ja energiaositteisiin, joista jälkimmäinen koostui kuorintatähdestä ja 9 mm:n reikäseulan läpäisseestä seulontatähdestä. Energiaositteen osuus oli pienin karsitulla koivulla ja suurin karsimattomalla kuusella. Latvusmassan määrästä aiheutuva ero heijastuu laitoksen tuottavuudessa puutavaralajien välillä, kun tuottavuus mitataan tuotetun selluhakkeen perusteella.

*Taulukko 1. Raaka-aineen jakautuminen kuitu- ja energiaositteisiin helmikuussa 1996 ensimmäisessä talvikokeessa.*

| Osite                  | Mänty<br>karsittu | Mänty<br>osapuu | Kuusi<br>karsittu | Kuusi<br>osapuu | Koivu<br>karsittu | Koivu<br>osapuu |
|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Osuus kuivamassasta, % |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Kuituosite             | 82,5              | 78,4            | 84,4              | 69,2            | 88,5              | 85,4            |
| Energiaosite           | 17,5              | 21,6            | 15,6              | 30,8            | 11,5              | 14,6            |
| Yhteensä               | 100,0             | 100,0           | 100,0             | 100,0           | 100,0             | 100,0           |

Järjestelmän kannattavuus riippuu oleellisesti siitä, miten paljon kuitukäyttöön kelpoista runkopuuta joutuu prosessitähteenä energiakäyttöön, sillä arvonmenetys on noin 200 mk/m<sup>3</sup>, kun puuta siirtyy kuituositteesta energiaositteeseen. Runkopuun hävikki jäi karsinta- ja kuorintavaiheessa vähäiseksi, 0,6 - 3,6 %:in runkopuusta. Sen sijaan reikäseulonnassa hävikki oli merkittävästi suurempi, 2,9 - 9,2 % runkopuusta. Tähän vaikutti jonkin verran tavallista suurempi 9 mm:n seulakoko.

Ketjukarsija-kuorija ei ollut vielä parhaassa toimintakunnossa, josta johtuen sen kierrosluvut putosivat etenkin alarummulla hyvinkin alhaisiksi, koneenhoitajan arvion mukaan jopa alle 200 rpm. Siksi erityisesti kuusella ja koivulla selluhakkeeseen jäi aivan liian paljon kuorta - karsitulla kuusella 5,3 % ja osapuukuusella 3,6 %; karsitulla koivulla 5,9 % ja osapuukoivulla 6,3 % hakkeen kuivamassasta. Männyllä kuorintatulos oli kuitenkin oleellisesti parempi kuin muilla puulajeilla, ketjurummun hitaaseen nopeuteen ja pakkassään

nähdessä itse asiassa melko tyydyttävä: karsittu mänty 1,5 % ja osapuunmänty 1,3 %.

Seulonnessa hyväksyttiin selluhakkeeksi 45 mm:n reikäseulan läpi mennyt mutta 9 mm:n reikäseulalle jäänyt hake. Seulontahävikki oli havupuulla 6 - 9 % ja koivulla 3 %. Palakoko oli seulonnan jälkeen hyvä. Joukkoon jäi jonkin verran myös ala- ja ylimittaisia paloja, niin että mitoiltaan hyväksyttävän hakkeen osuus oli noin 92 % selluhakkeen kokonaismäärästä. Hakkeen yliteosuus oli lähes kokonaisuudessaan ylipaksua 8 mm:n rakoseulalle jäänyttä haketta, sillä ylipitkä jae oli palautettu hakkuriin.

Ensimmäisen kokeen tulokset olivat karsitun ja karsimattoman männyn osalta kohtuullisen myönteisiä. Kuitenkin männylläkin hakkeen kuoripitoisuus (1,3 - 1,5 %) jäi selvästi yli tavoitteen. Karsinta-kuorintavaiheen runkopuunhävikki (0,8 - 1,3 %) alitti tavoitetason (2 % ilman seulontahävikkiä). Muilla puulaeilla tulokset eivät olleet tyydyttäviä.

Ketjukarsinta-rumpukuorinta-aseman kehittely- ja sisäänajovaihe näkyi myös runsaina keskeytyksinä. Suurin syy keskeytyksiin oli pölkkyjen ruuhkautuminen hakkurille johtavalle kuljettimelle. Ruuhkautumisen aiheutti kahden sopivankokoisen pölkyn jumiutuminen kuljettimen nieluun. Näin kaikki rummusta tämän jälkeen tulevat pölkkyt jäivät tähän kohtaan muodostaen suman, joka ei yleensä lauennut ilman ihmisapua. Eri puuraaka-aineista mänty oli herkin ruuhkautumaan. Kuusi meni paremmin läpi. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että mänty oli mutkaisempaa, lengompaa ja oksaisempaa kuuseen verrattuna.

Tehdyissä kokeissa tehotuntituotos oli selluhakkeena ja puruna 67 - 91 i-m<sup>3</sup>. Tuottavuus oli selvästi suurempi kuin ensimmäisen prototyypin kokeissa, mutta edelleen korkeintaan kohtuullinen. Parhaimmat tuottavuudet saavutettiin karsitulla männyllä ja kuusella ja huonoin kuusiosapuulla. Karsitun kuitupuun ja osapuun välinen tuottavuusero ei ollut kuusta lukuunottamatta kovin merkittävä.

### 6.3 TULOKSIA ENSIMMÄISESTÄ KESÄKOKEESTA

Toisen koesarjan aikana 16. - 20.9.1996 lämpötila oli +5 — +10 °C ja puutavara jäätyvätöntä. Tutkimuksen kohteena oli jälleen männyn, kuusen ja koivun karsittu ja karsimaton ensiharvennuspuu. Puutavara oli ollut määrätöntä talteen 50 mm:n latvaläpimittaan, mutta tähän oli edes lähimain päästy vain mäntykuitupuulla. Kaikkiaan käsiteltiin 480 m<sup>3</sup> kuitupuuta.

Talvikokeen ongelmana oli ollut ketjukarsijan rumpujen riittämätön kierrosnopeus. Uutta koetta varten ketjukarsijan veto oli muutettu hydraulisesta mekaaniseksi. Kierrosnopeus oli 500 rpm. Syöttörullien nopeus oli entinen 0,3 - 0,5 m/s. Piiskauskäsittelystä tuli nyt tarpeettoman raju, mikä johti kohtuuttoomaan puunhävikkiin. Laitteisto oli kuitenkin vielä tuolloin kustannussyistä siten rakennettu, että kierrosnopeuden säätely ei ollut käytännössä mahdollista kokeen aikana.

Selluhakkeen osuus syötteestä oli suurin (84 %) karsitulla koivulla ja pienin (47 %) karsimattomalla kuusella (taulukko 2). Karsimattomalla puulla karsinta-kuorintatähdettä syntyi luonnollisesti paljon, koska myös oksat olivat mukana. Karsittuun puuhun verrattuna tähteen eli energiaositteiden määrä oli männyllä 1,9-kertainen, kuusella 2,6-kertainen ja koivulla 1,3-kertainen. Laitosuunnittelussa tähdelinjan mitoitus riippuu siis ratkaisevasti siitä, käsitelläänkö karsittua vai karsimatonta puuta. Kuusen osapuulla tähdettä voi syntyä lähes yhtä paljon kuin haketta, mikä rasittaa laitoksen hakkeentuotantokapasiteettia.

*Taulukko 2. Raaka-aineen jakautuminen kuitu- ja energiaositteisiin syyskuussa 1996 toteutetussa kokeessa.*

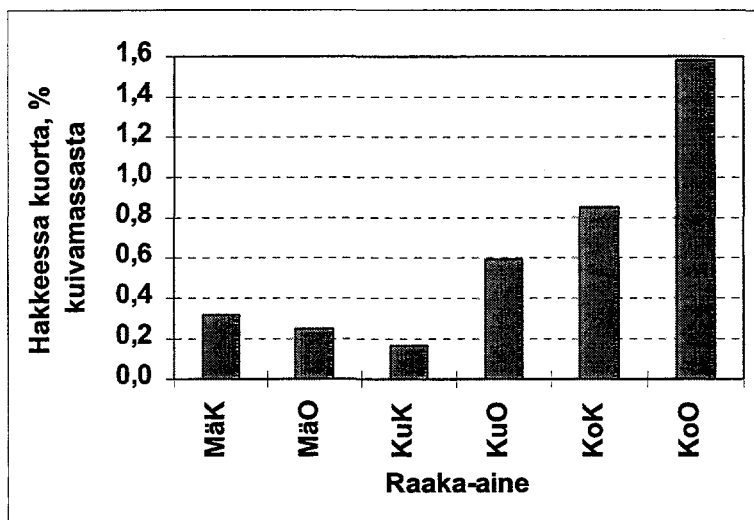
| Osio                   | Mänty<br>karsittu | Mänty<br>osapuu | Kuusi<br>karsittu | Kuusi<br>osapuu | Koivu<br>karsittu | Koivu<br>osapuu |
|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Osuus tuoremassasta, % |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Kuituosio              | 80,3              | 65,7            | 76,8              | 46,8            | 83,7              | 81,1            |
| Energiaosio            | 19,7              | 34,3            | 23,2              | 53,2            | 16,3              | 18,9            |
| Yhteensä               | 100,0             | 100,0           | 100,0             | 100,0           | 100,0             | 100,0           |

Puuta hukkaantuu piiskauksessa, rummutuksessa ja seulonnassa. Piiskaus- ja rummutushävikkiä ei voitu erottaa toisistaan, mutta silmävaraisesti oli nähtävissä, että hävikki aiheutui lähes kokonaan piiskauksesta pölkkyjen murskaantumisen ja tikkuuntumisen seurauksena. Tikkuuntumisesta seuraa puun hävikkiä myös rummutuksessa sekä tikku- ja hienojakeitten kasvun kautta hakkeen seulonnassa.

Runkopuun hävikki oli sekä männyllä (9,1 - 15,7 %) että kuusella (13,4 - 28,0 %) erittäin korkea mutta koivulla (2,7 - 4,6 %) kohtuullinen. Hävikin ensisijainen syy oli pitkäaltisteinen ja raju, hallitsematon piiskaus, kun syöttörumpujen nopeus oli hidas ja ketjurumpujen kierrosnopeus korkea. Ongelmana oli, että kierrosnopeutta ei voitu säädellä tutkimuksen aikana, vaikka liika-

piiskaus oli alusta alkaen nähtävissä. Vain kova koivupuu kesti käsittelyn. Seulontahävikki oli 3,0 - 5,5 % runkopuusta.

Rajusta piiskauskäsittelystä johtuen hakkeen kuoripitoisuus saatiin varsin alhaiseksi. Ainoastaan karsimattomalla koivulla kuorta jäi yli sallitun 1 %:n rajan (kuva 1). Karsitulla havupuulla olisi voitu sallia kaksinkertainen kuoripitoisuus hakkeen laadun vielä kärsimättä. Olisi voitu tyytyä pehmeämpään piiskaukseen, jolloin runkopuun hävikkikin olisi todennäköisesti saatu hyväksyttävälle tasolle.

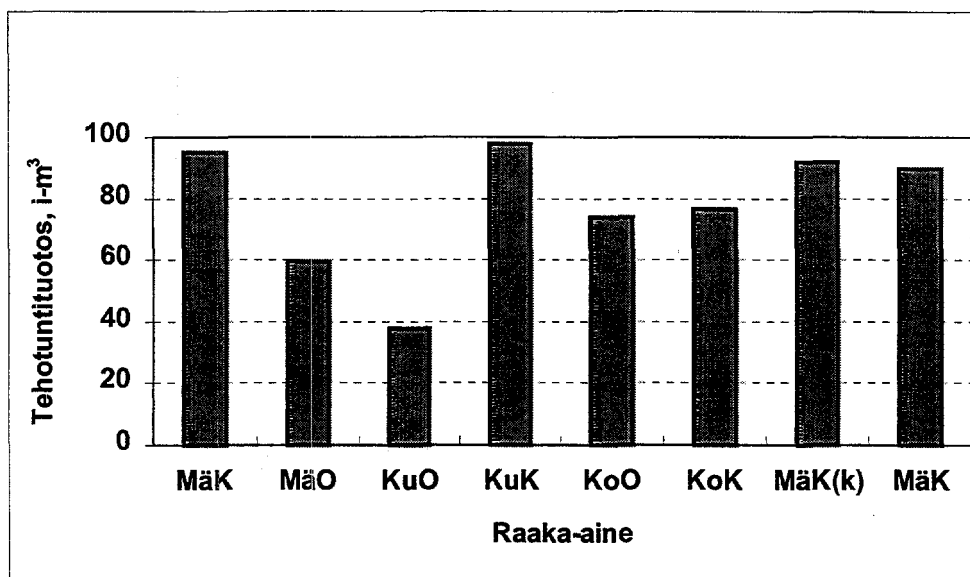


Kuva 1. Selluhakkeen kuoripitoisuus ensimmäisessä kesäkokeessa. MäK = karsittu mäntykuitupuusta, MäO = karsimaton mäntykuitupuusta l. osapuumänty jne.

Seulotun hakkeen palakokojakauma oli edelleen tyydyttävä. Hyväksyttävän jakeen osuus oli havupuulla 86 % ja koivulla 91 %. Ylitteen osuus oli kuitenkin merkittävä, ja se oli jälleen lähes kokonaisuudessaan 8 mm:n rakoseulalle jäänyttä ylipaksua jaetta. Eri laitoksilla mitatut tulokset viittaavat siihen, että menetelmästä riippumatta ylipaksun hakkeen osuus pyrkii nousemaan ensiharvennuspuulla suureksi. Tämä selittyy puun suhteellisella oksaisuudella, sillä suuri osa ylipaksuista hakepaloista koostuu oksa- ja oksanympäryspuusta. Alitejakeesta oli noin 0,5 prosenttiyksikköä sellaista (7 - 9 mm), joka usein luokitellaan keittokelpoiseksi.

Syyskuussa tehtyjen kokeiden tuottavuustulokset on esitetty kuvassa 2. Luvut esittävät tehotuntituottavuuden pelkkänä selluhakkeena. Parhaimmat tuottavuudet olivat karsitulla mänty- ja kuusikuitupuulla. Tuottavuudessa ei ollut

ehkä yllättäenkin merkittävää eroa talvikokeeseen verrattuna. Osaltaan tähän vaikuttaa suureksi noussut runkopuun hävikki, joka pienensi selluhakkeena mitattua tuottavuutta. Näin erityisesti kuusen osapuulla, jolla runkopuun hävikki oli talvikokeeseen verrattuna yli kolminkertainen. Merkittävin seikka suhteellisen vaatimattomaan tuottavuuteen oli kuitenkin kokeen aikainen turhan hidas puiden sisäänsyöttö. Tämä johtui puolestaan siitä, että alkuvaiheessa laitteistolla on pyritty tekemään mahdollisimman kuoretonta selluhaketta tuottavuuden kustannuksellakin.

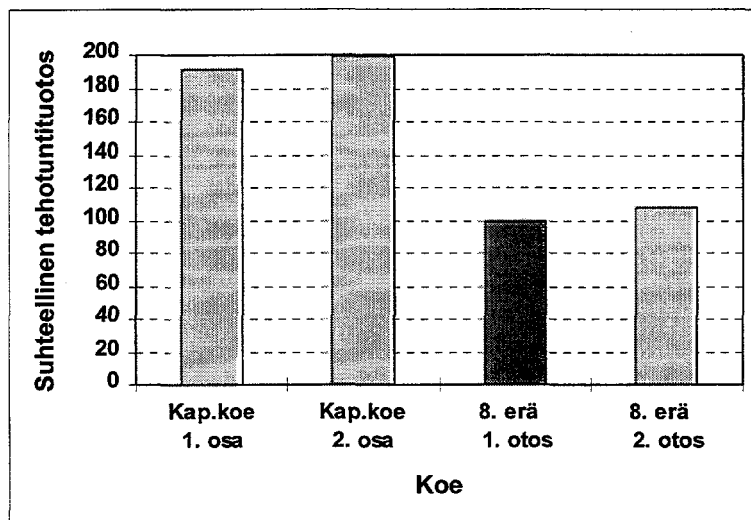


Kuva 2. Tehotuntituotokset syyskuun kokeessa. MäK (k) = kuivahtanut karsittu mäntykuitupuuh.

Koska syöttötahti näytti jo kokeiden aikana kuorintajälkeen ja puuhävikkeihin nähden hitaalta, tehtiin viimeisenä ns. kapasiteettikoe karsitulla mäntykuitupuulla. Tämän kokeen tarkoitus oli etsiä laitteiston sen hetkistä maksimikapasiteettirajaa tuottavuuden kannalta. Kapasiteettiajo jaettiin kahteen osaan. Ensimmäisessä vaiheessa rummun peräluukku laskettiin alimpaan mahdolliseen asentoon - vertailumitta 20 cm. Toisessa vaiheessa luukku oli samassa asennossa (38 cm) kuin edeltävissä kokeissa. Tästä koe-erästä selvitettiin ainoastaan selluhakkeen kuoripitoisuudet. Ne olivat 0,5 % ja 0,4 % eli hieman korkeammat kuin normaalisti ajettulla karsitulla mäntykuitupuulla. Kuorintajälki ei kuitenkaan näytä muodostavan estettä kapasiteetin nostamiselle sulalla puulla. Silmämääräisten havaintojen perusteella puuhävikit kapasiteettiajossa

olivat selvästi pienemmät kuin edeltävissä normaaleissa ajoissa. Pienemmätkin puut kestivät nyt käsittelyn murskaantumatta, eikä puiden pinta rispaantunut niin paljon kuin aiemmissa ajoissa karsitulla mäntykuitupuulla. Tämä parantaa paitsi selluhakkeen saantoa myös hakkeen palakokojakaumaa.

Ensimmäinen kokeen osa sujui teknisesti hyvin, keskeytyksiä ei ollut. Nostetulla luukun asennolla tuli hakkurille kerran tukos. Koeajat olivat 25 ja 22 minuuttia. Kapasiteettiajon suhteellinen tehotuntuotos sisäänsyötettyjen pölkkyjen määrän perusteella oli lähes kaksinkertainen tätä koetta edeltäneeseen mäntykuituerään verrattuna (kuva 3). Koneenhoitajan ja laitteistoa rakentaneen henkilön mielestä kone kestäisi nykykunnossa 90 % tästä kapasiteetista. Mikäli 90 % tästä maksimituottavuudesta saataisiin hyödynnettyä, olisi tehotuntuotos karsitulla mäntykuitupuulla noin 60 k-m<sup>3</sup>:iä selluhakkeena. Tätä voitaneen pitää tämän laitteistokokoonpanon maksimikapasiteettina hyvissä olosuhteissa karsitulla mäntykuitupuulla. Ketjukarsintalaitetta kehittämällä ja varustamalla laitteisto isommalla hakkurilla voidaan kokoonpanon kapasiteettia vielä nostaa merkittävästi.



Kuva 3. Suhteellinen tehotuntuotos kapasiteettiajossa verrattuna normaalisti ajettuun erään karsitulla mäntykuitupuulla.

#### 6.4 TULOKSIA JATKOKOKEESTA

Talvikokeen aikana ketjurrummun kierrosnopeus laski vastuksen kasvaessa liian alhaiseksi. Kesäkokeen aikana taas kierrosluku oli liian korkea 500 rpm, eikä säätömahdollisuutta ollut. Puun jäätynäisyys ja ketjurrummun alhainen

kierrosnopeus vaikuttivat talvikokeessa siten, että puun hävikki pysyi koh-  
tuullisena, mutta hakkeen kuoripitoisuus jäi liian korkeaksi. Kesäkokeessa  
tilanne oli kääntynyt päinvastaiseksi.

Syksyllä 1996 laitteistoon tehtiin aikaisempien kokeitten antaman osviitan  
mukaisesti uusia muutoksia. Alarummulla nopeus alennettiin tasolta 500 rpm  
tasolle 400 rpm. Ylärummulla taas vaihdettiin 16 mm:n ketjujen tilalle ke-  
vyemmät 13 mm:n ketjut, mutta kierrosnopeus pysyi ennallaan. Altistusaikaa  
lyhennettiin lisäämällä syöttörullien nopeutta aikaisemmasta 18 %. Kuorima-  
rummun pyörimisnopeus säilyi ennallaan (9,2 rpm). Hakkurin teräkulma loi-  
vennettiin 320°:sta 300°:een, ja puruseulan reiän läpimitta alennettiin 9 mm:stä  
7 mm:iin.

Uusi tutkimus tehtiin 26.11.1996. Seurannan kohteena ei nyt ollut raaka-  
aineen vaikutus tulokseen, vaan pyrittiin selvittämään ajoarvojen vaikutusta  
niissä säätörajoissa, kun se Kaukopään laitoksella oli mahdollista.

Kaikki raaka-aine oli 5 cm:n latvaläpimittaohjeella tehtyä karsittua tuoretta  
ensiharvennusmäntykuitupuuta. Ilman lämpötila oli kokeen aikana -1— -3°C,  
mutta puutavara ei ollut vielä jäässä. Käsitellyn puutavaran määrä oli noin  
350 m<sup>3</sup>.

Koesarjaan sisältyi 8 erillistä ajoa. Kokeissa vaihdeltiin syöttötaakan kokoa,  
jonka voidaan olettaa vaikuttavan paitsi tuottavuuteen myös tuotteen laatuun,  
sekä rummun sulkuportin asentoa, joka vaikuttaa pölkkyjen viipymään. Pie-  
nessä taakassa oli 3 - 5 pölkkyä ja isossa 7 - 8. Isoa taakkaa syötettäessä ver-  
tailtiin kahta eri työtapaa, joista ensimmäisessä peräkkäisten taakkojen väliin  
jäi selvä tauko, kun taas toisessa ei välitaukoa päästetty syntymään.

Taulukko 3 osoittaa, että nyt päästiin varsin hyviin tuloksiin. Hakkeeseen jäi  
kuorta vain 0,2 - 0,4 %, ja runkopuun hävikki karsinta-kuorintavaiheessa oli 3  
- 4 %. Kuorintaa olisi ollut mahdollista pehmentää enemmänkin, jolloin  
puunhävikkiä olisi todennäköisesti vielä saatu alas. Seulontahävikkiä ei tässä  
tutkimuksessa mitattu.

Taulukko 3. Tuloksia karsitun mäntykuitupuun jatkokeksesta.

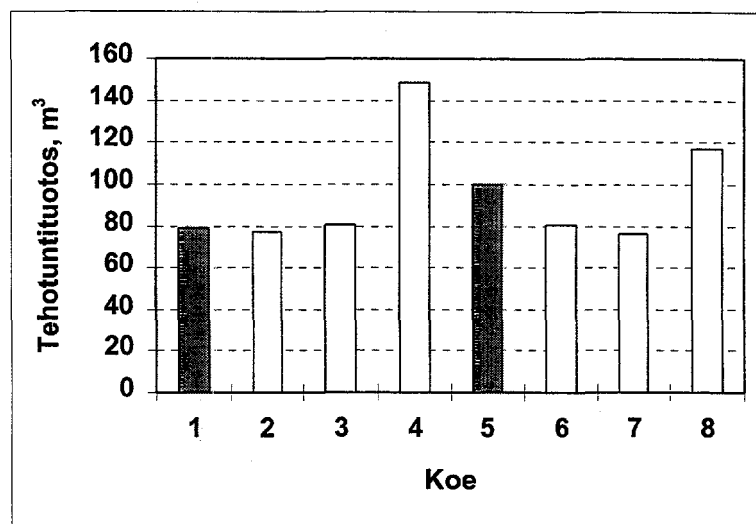
|                                | Hakkeen palakokojakauma<br>% |       |                  | Hakkeessa<br>kuorta | Puun<br>hävikki<br>kuorinnassa |
|--------------------------------|------------------------------|-------|------------------|---------------------|--------------------------------|
|                                | ylite                        | alite | hyväk -<br>sytty | %                   | %                              |
| Pieni taakka                   | 9,2                          | 6,6   | 84,2             | 0,27                | 3,6                            |
| Normaali taakka                | 9,1                          | 5,2   | 85,7             | 0,18                | 3,5                            |
| Iso taakka,<br>syöttötauko     | 7,4                          | 6,3   | 86,3             | 0,25                | 2,8                            |
| Iso taakka,<br>ei syöttötaukoa | 9,6                          | 4,7   | 85,7             | 0,36                | 3,3                            |
| Keskimäärin                    | 8,8                          | 5,7   | 85,5             | 0,27                | 3,3                            |

Rummun portin asennolla eli viipymäajalla rummussa ei tässä tapauksessa näyttänyt olevan merkitystä kuoriutumiseen, ja siksi tulokset on sen osalta yhdistetty. Selvempi merkitys oli taakan koolla ja taakkojen välisellä syöttötauoilla. Kun isoja taakkoja syötettiin tiivissä tahdissa peräkkäin, hakkeen kuoripitoisuus nousi, ei kuitenkaan hälyttävästi.

Hakkeen palakokojakaumassa ei ajojen välillä ollut merkitseviä eroja. Ylite oli lähes kokonaisuudessaan 8 mm:n seulalle jäänyttä paksua jaetta. Ylitteen osuus oli pienentynyt aikaisempiin kokeisiin nähden, mutta vastaavasti alitteen osuus hieman kasvoi seulan vaihdon seurauksena. Hyväksytyn hakkeen osuus oli keskimäärin 86 % selluhakkeen kertymästä.

Marraskuussa tehdyssä kokeessa tuotoksia ei mitattu selluhakkeena, vaan tuotos määritettiin sisäänsyötettyjen pölkkyjen määrän perusteella keskimääräistä pölkyn kokoa hyväksikäyttäen. Tehotuntituotokset olivat 76 - 149 m<sup>3</sup> (kuva 4). Kuorettona selluhakkeena mitattuna tehotuntituotos olisi ollut 60 - 120 k-m<sup>3</sup>.

Suurin tuotos saatiin syöttämällä noin kaksi kertaa normaalia suurempia taakkoja ilman väliä. Kuorintajälki heikkeni tällöin hieman, mutta vastaavasti puun hävikki pieneni jonkin verran. Tällä syöttötahdilla alkoi olla ongelmia laitteiston käsittelykyvyssä, joten tässä kokoonpanossa näin suuri jatkuva kapasiteetti ei ole mahdollista. On kuitenkin hyvä huomata, että jäätymättömällä puulla laitteistoon voidaan syöttää kuorintalaadun oleellisesti kärsimättä ainakin hetkellisesti näinkin suuria taakkoja.



Kuva 4. Tehotuntituotokset sisäänsyötettyinä kiintokuutiometreinä marraskuun kokeissa. Kokeissa 1 ja 5 normaalisyöttötaakka (n. 5 pölkkyä), kokeissa 2 ja 6 pieni syöttötaakka (n. 4 pölkkyä), kokeissa 3, 4, 7 ja 8 iso syöttötaakka (7 - 8 pölkkyä). Kokeissa 3 ja 7 jätettiin noin pölkyn mittainen syöttöväli, muissa kokeissa syötettiin taakat perätysten. Peräportti kokeissa 1 - 4 normaaliasennossa ja kokeissa 5 - 8 korotetussa asennossa.

## 7 PÄÄTELMIÄ JA JATKOTOIMENPITEET VUONNA 1997

Kokeet osoittavat, että ellei tehtaan rumpukuorimolla saavutettu tulos ole tyydyttävä, ketjukarsinta-kuorinnan ja rumpukuorinnan yhdistelmään perustuva erillinen käsittelyasema kykenee tuottamaan korkealaatuista selluhaketta sekä karsitusta että karsimattomasta ensiharvennusmännystä. Kokeet osoittavat niinikään, että lopputulos on kuitenkin herkästi riippuvainen säätö- ja ajoarvoista. Keskeinen merkitys on ketjukarsija-kuorijan toiminnoilla ja säädöillä, joskin myös rummun ajoarvoilla on merkitystä kuorinnan viimeistelyssä. Rajuinta käsittelyä sietävät ja vaativat koivu ja toisaalta jäätynyt puu.

Menetelmä näyttää soveltuvan sekä karsitun että karsimattoman mäntypuun ja todennäköisesti myös koivupuun työstämiseen laadukkaaksi hakkeeksi. Kuusen osalta tulokset eivät ole vielä yhtä hyviä, varsinkin kun hakkeen laatuvaatimukset ovat kireimmät juuri kuusella. Karsimattoman kuusiosapuun biomassasta on niin suuri osa energiapuuta, että prosessin läpi kulkevan kuitu-

puun määrä jää pakostakin pieneksi, jolloin kärsii paitsi tuotteen laatu myös koko laitoksen tuottavuus.

Kesäkokeessa todettu suuri hävikki aiheutui ensisijaisesti liian rajusta piiskauksesta (tekijöinä ketjun nopeus ja paino, taakan viipymä). Toinen hävikkä ilmeisesti lisännyt tekijä oli piiskauksen läpäisseitten pölkköjen törmääminen rummun etureunassa pyörivään puusumaan, jolloin sisään pyrkivät pölkyt olivat takapäästään vielä syöttörumpujen puristuksessa samalla, kun rummussa pyörivät pölkyt jo vyöryivät niitten etupään yli ja mursivat pölkyn. Jos puut purkautuisivat ketjukarsija-kuorijasta rummun ylälaitaan, murtumat ehkä vähenisivät.

Jotta tulos olisi sekä laadullisesti että hävikin suhteen optimaalinen, ketju-  
rummun ja sen syöttölaitteitten toiminnan hallintaa tulisi parantaa. Ajoarvoja tulee voida säätää puutavaran ominaisuuksista, säätilasta, sisäänsyötettävästä puumäärästä sekä hakkeen laatuvaatimuksista riippuen. Säädot tulisi tehdä puutavaralaji- tai jopa eräkohtaisesti (puulaji, karsinta-aste, kuivuusaste, vuodenaika, jäätyneisyys, järeys). Säätelymahdollisuus olisi tarpeen myös oikeitten ajoarvojen etsimiseksi tutkimus- ja kehitystyössä. Kun kehittelyä ja tutkimusta jatketaan vuonna 1997, näihin seikkoihin on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Jotta ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteistolla päästään riittävään alhaiseen käsittelyhintaan on laitteesta kyettävä ottamaan kussakin olosuhteessa maksimaalinen tuotos riittävän hyvällä hakkeen laadulla. Tämä myös edellyttää hyvää prosessin säädettävyyttä. Sulalla puulla laitteistoa on ajettava varmasti kaksikin kertaa suuremmalla kapasiteetilla kuin puun ollessa jäätynyt. Vaikeimpina pakkaskausina saattaa olla tarkoituksenmukaista jopa seisottaa laitteistoa. Tarkemmat kustannusanalyysit tehdään vuoden 1997 aikana.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

*Rieppo, K., Aho, V.-J., Hakkila, P., Nikala, L. & Poikela, A.* Puupolttoaineen ja selluhakkeen intergoitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Metsätehon raportti 2. 26.6.1996. 76 s. + liitteet.

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

*Hakkila, P. & Rieppo, K.* Finnish applications of chain flail techniques. Finnish Forest Research Institute. Research Papers. 1997. Painossa. 6 s.

# TEOLLISUUDEN AINESPUUN PUUPOLTTOAINEEN INTEGROITU TUOTANTO - Y106

Kari Kuvaja  
Enso Oy  
Metsäosasto  
Wolffintie 5  
55800 Imatra

Puh. 02046 23067  
Fax 02046 23000  
kari.kuvaja@im.egfo.enso.com

## **Abstract: Integrated production of merchantable wood and wood fuels in industry**

The aim of this project is the economically profitable integrated harvesting of industrial wood and firewood especially in harvesting of small-diameter first thinning wood. The research in 1994 was concentrated on improvement of the quality of the chipping methods based on chain-flail debarking chipping method, and on determination of the possible utilization targets for the fuel fraction. A reasonably large drum debarking test was also carried out at the industrial scale debarking station of the Enocell Oy. More than 80 000 m<sup>3</sup> of first thinning wood was delivered by Enocell during this project. The quality of wood chips, produced using the chain-flail delimbing method, could be improved in the case of pine nearly to the required quality level, but additional measures are still needed in the case of birch. The fuel fraction deliveries to different points of utilization was started. The particle size of the fuel fraction appeared to be good after crushing. In 1995 a chain-flail-drydrum debarking chipping unit was developed to improve and homogenize the quality of chips.

## 1 TAUSTA

1960- ja 1970-luvuilla perustetut taimikot ovat tulossa laajamittaisesti tällä vuosikymmenellä ensiharvennusvaiheeseen. Näissä kohteissa runkojen keskijäreys on pieni ja puun kertymä korjuuvaiheessa pinta-alayksikköä kohden

alhainen. Näistä tekijöistä johtuen ensiharvennuspuun korjuun tuottavuus on heikko ja korjuukustannus vastaavasti korkea verrattuna järeämpien metsiköiden puun korjuuseen. Erillisenä suoritettun energiapuun osalta tilanne on samanlainen eikä taloudellisesti kannattavaa hankintaketjua ole perinteisillä korjuumenetelmillä saatu kehitetyksi.

## 2 HANKKEEN TAVOITE

Hankkeen tavoitteena on ollut tutkia ja kehittää ensiharvennus- ja muun pienpuun joukkokäsittelyyn soveltuvia laitteita ja menetelmiä, jotka mahdollistavat taloudellisesti kannattavan teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroidun tuotannon. Hankkeeseen ovat omilla hankkeillaan liittyneet Metsän tutkimuslaitos (105), Metsäteho (101 ja 107), Joensuun yliopisto sekä Pertti Szepaniak Oy (D102).

## 3 SUORITETUT SELVITYKSET JA KEHITTÄMISTOIMENPITEET

Hankkeesta on esitetty vuosiraportit bioenergiaohjelman vuosikirjassa 1993 "Ullgren Ahti. Teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto. Jyväskylä 1994", ja vuosikirjassa 1994 "Kari Kuvaja ja Tarmo Pesonen. Teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto. Jyväskylä 1995".

Suoritetuista selvityksistä ja kehittämistoimenpiteistä todettakoon tässä yhteydessä seuraavaa, tarkemmat tulokset ja selvitykset on esitetty edellä mainituissa vuosiraporteissa.

### **Vuosi 1993**

#### **1. Ensiharvennuspuun rummutuskokeet Enocell Oy:n Uimaharjun tehtaalla**

- rumpukuorinnan puuhäviö
- hakkeen kuoripuhtaus ja palakoko
- energijakeen osuus eri tavoin hankituilla raaka-aineositteilla

## 2. Ketjukarsinta/kuorintakokeet

- hakkeen kuoripuhtaus ja palakoko
- puuhäviö
- energijakeen osuus

## 3. Koetyömaiden järjestäminen joukkokäsittelyharvesteria varten

### **Vuosi 1994**

#### 1. Ketjukarsinta-haketusyksikkökorjuuketjun kehittäminen

- hakkeena mittaus puukaupan perusteena
- laskentamalli kustannusten minimoimiseksi
- koneyksikön työskentely terminaali-olosuhteissa
- hakkeen kuoripuhtauden varmistaminen

#### 2. Enocell Oy:n rumpukuorintakokeen uusiminen

### **Vuosi 1995**

Varsinaisia tutkimuksia ei enää tehty. Kehitystyön tuloksiin perustuen yksi ketjukarsinta-haketusyksikkö työskentelee urakkapohjalla Pohjois-Karjalassa pääosin Enocell Oy:n tehdasterminaalissa käsitellen ensiharvennusmäntyä osapuuna, jolloin selluhake käytetään Enocell Oy:n sellutehtaalla ja polttojäte voimalassa. Lisäksi yksikköä on jonkin verran käytetty tienvarsivarastoilla Ylä-Savossa.

Enson Imatran tehtaalle Kaukopäähän on valmistunut kiinteä, urakointipohjalta (P. Szepaniak Oy) toimiva ketjukarsinta-kuorintarumpuhaketuslaitos. Sen koekäyttö alkoi joulukuussa 1995. Tällä yksiköllä on tavoitteena päästä pienpuun käsittelyyn osapuuna tai joukkokäsittelynä kuitupuuna kaikilla puulajeilla niin, että tuotetun teollisuushakkeen kuoripuhtaus on varmistettu myös pakkasolosuhteissa. Syntyvä puupolttoaine käytetään Enson Kaukopään voimalaitoksella. Ensimmäiset koetulokset vaikuttavat lupaavilta, varsinkin männyn osalta.

### **Vuosi 1996**

Vuoden aikana on keskitytty lähinnä Kaukopään pienpuuyksikön toiminnan laadulliseen ja määrälliseen tehostamiseen. Pääpuulajina on edelleen ensihar-

vennusleimikoista korjattava mäntykuitupuu. Kokeita on tehty myös koivulla ja kuusella. Tuloksia on käsitelty tarkemmin tässä vuosikirjassa toisaalla (K. Rieppo). Mäntykuitupuun osalta on päästy käytännön toiminnan tasolle.

#### 4 JATKOTOIMENPITEET

Vaikka Kaukopäähän raaka-ainetta toimittavan kiinteän ketjukarsinta-kuivarumpuyksikön toiminta on määrällisesti ja laadullisesti tehostunut, ei päätöksiä uusien yksiköiden kehittämisestä ole tehty. Tilanteeseen on vaikuttanut lähinnä selluteollisuuden alhainen käyntiaste ja tätä kautta heikentynyt puuraaka-aineen kysyntä.

## INTEGROITU ENERGIAPUUN TUOTANTO- MENETELMÄ POHJOIS-SUOMESSA - Y114

Ari Hooli  
Hooli Oy  
Niemi-Niemeläntie 193  
95999 Kemi

Tapio Ranta  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (016) 275 300  
Fax (016) 275 307

(014) 672 722  
(014) 672 799  
tapio.ranta@vtt.fi

### **Abstract: Integrated production method for wood fuel and pulp wood in Northern Finland**

Hooli Oy, operating mainly in the Northern Finland has developed the production method suitable for bunch-processing of small wood. The mobile machine, consisting of delimber-debarker, and fuel fraction crusher units, produces debarked stemwood for pulping industry and branchwood-bark chips for thermal power stations. The basic method has been ready for demonstration and practical applications since in the beginning of year 1996.

The objective of the project is to develop a method suitable for bundle processing of small wood, in which the trees are delimbed and debarked, and the formed waste wood is crushed using a machine unit, developed especially for this purpose. The method is based on utilization of a separate delimbing-debarking unit, which operates separately from the pulpwood transportation chain, so the pulpwood transportations can be done at the proper time either as debarked roundwood or chips.

Based on field experiments in 1995 - 1996, to attain the targets of the project looks promising. In 1997 there will happen technical modifications to the machine to improve the debarking results (target < 1 % bark content) of the bolts and to improve the logistic productivity of the whole production chain.

The research and development work of the production technology and methods are carried out in the Northern Finland under the supervision of Hooli

Oy. The development work was carried out in cooperation with the Finnish Forest Research Institute and VTT Energy.

## 1 TAUSTA

Metsäkoneyritys Hooli Oy aloitti uudentyypin integroidun energia- ja ainespuun tuotantomenetelmän suunnittelun. Sen lähtökohtina oli rakentaa teknologiaan uudentyypin pienpuiden joukkokäsittelykone ja siten edistää harvennuspuun korjuun ja kuljetusten taloudellisuutta ja tuottaa samanaikaisesti polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta ja laadut täyttävää kuorittua sellun raaka-ainetta.

KTM myönsi 15.7.1993 Hooli Oy:lle 50 %:n investointiavustuksen ketjukarsinta-vasaramurskainyksikön rakentamiseen. Prototyypin rakentaminen aloitettiin syksyllä 1993. Osakomponenttien rakentamisen jälkeen yksikön kokoonpano valmistui marraskuussa 1994. Keväällä 1995 yksikkö valmistui varsinaisia käyttöttestausajoja varten. Tuotantokoneen rakentamisprojekti oli Bioenergian tutkimusohjelman projekti D 103.

TEKES myönsi 3.3.1995 tuotekehitystuen (40 %) Hooli Oy:n tuotekehitystyölle: Integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa (Dnro 215/881/94). Toimialakehittämiseen tähtäävää uudentyypistä ketjukarsinta-vasaramurskaimen käyttöön perustuvaa energia- ja ainespuun tuotanto- ja kuljetusjärjestelmän kehittämistä on toteutettu projektisuunnitelman mukaan. Projekti on Bioenergian tutkimusohjelman yritysprojekti Y 114. Projektissa on keskeisesti ollut mukana Hooli Oy, Veitsiluoto Oy (nykyisin Enso Oy), Tervolan Konepaja Oy, Finntech Ltd. Oy, Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia.

## 2 TAVOITE

Hooli Oy:n johtaman yritysprojektin tutkimusosuuden on toteuttanut VTT Energia, joka on teettänyt alihankintana menetelmän biomassataseita ja tuotteiden laatuominaisuuksia koskevia selvityksiä Metsäntutkimuslaitoksella. Tutkimuksen tavoitteena on osoittaa konseptin toimivuus ja liiketaloudellinen kannattavuus Pohjois-Suomen toimintaoloissa. Hanke vaatii sekä koneyksikön että tuotantomenetelmän teknislogistista kehittämistä ja käytäntöön soveltamista osaksi integroitua puuntuotantoa.

### 3 TOTEUTUS JA TEHTÄVÄT

Projekti toteutetaan vuosina 1995 - 1997. Vuoden 1996 tehtävät jakaantuivat siten, että Hooli Oy vastasi projektin johdosta ja järjestelmän operatiivisesta toteuttamisesta ja koneyksikköön tehtävistä tarvittavista muutostöistä. VTT Energia vastasi T&K-kokonaisuudesta, sen koordinoinnista ja aikatutkimuskenttätöistä sekä tulosten analysoinnista. Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia suorittivat tarvittavat polttomurskeen ja ainespuun taseiden ja laatujen tutkimukset sekä polttokokeet laitoksilla ja murskeositteiden analysoinnit laboratoriossa. Hooli Oy ja metsäteollisuusyritys organisoivat ja järjestivät tutkimustyömaat niiden vaatimine työnjohto-, mittaus- sekä hakkuu- ja metsäkuljetustoimintoihin.

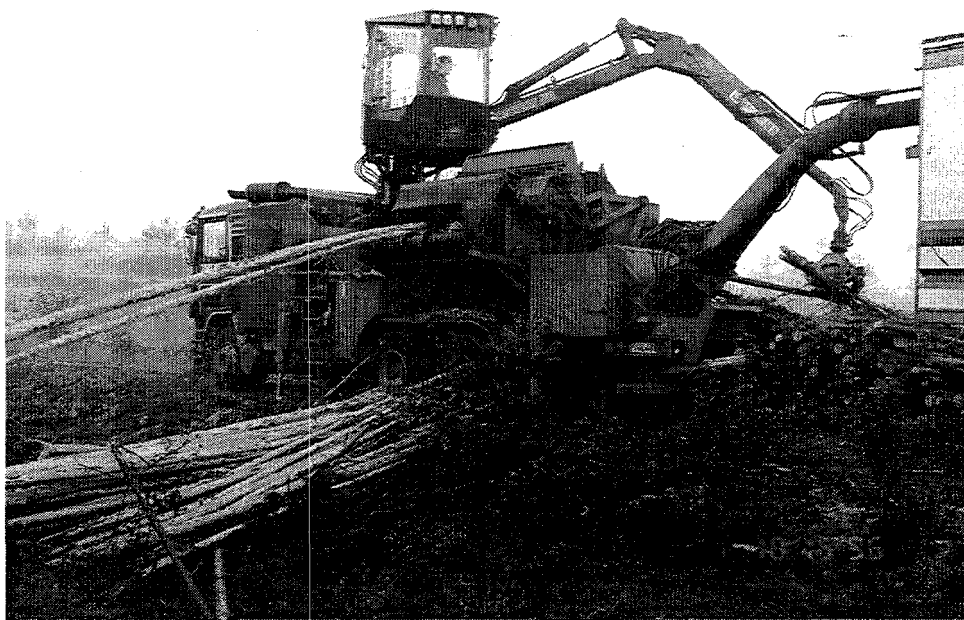
### 4 TULOKSET

Talvikokeet tehtiin Pudasjärvellä tammikuussa 1996. Tuottavuus-, raaka-ainetase- sekä selluhakkeen ja polttomurskeen laatuun liittyvät tulokset on raportoitu Bioenergian tutkimusohjelman edellisessä vuosikirjassa. Ketjukarsinta-kuorintamurskain-yksikköä on käytetty talvikokeiden jälkeen pääasiassa erikoiskohteissa. Kesällä tehtiin ensiharvennuskoivulla luottamuksellinen koesarja Kankaanpään massahakelaitoksella, jossa hyvin pieniläpimittaista puuta (runkojen keskilpm vaihteli 6-10 cm:n välillä koe-erissä) esikäsiteltiin ketjukarsija-kuorijalla ennen laitoksen prosessiin syöttämistä. Jämsänkoskella tehtiin koe 9.9.1996, jossa koneen toimintaa esiteltiin samalla UPM-Kymmene Oy:n ja paikallisen metsänhoitoyhdistyksen puunhankinnasta vastaaville. Raaka-aine oli kaatotuoretta ensiharvennusmäntyä, pölkkyjen keskilpm 14 cm ja pituus 5 m, latvukset jätettiin metsään. Kuorintatulokset olivat hyviä, sillä näytekiekoista mitattu kuoripitoisuus oli 1.3 %.

IEA-vuosikokouksen maastokohteella Uraisilla koneen toimintaa voitiin seurata 11.9.1996. Raaka-aine oli loppukesästä kaadettua ensiharvennusmäntyä. Ainespuuta oli yhteensä noin 100 m<sup>3</sup>. Kuorintatulokset olivat kohtuullisen hyviä, sillä kiekoista mitattu kuoripitoisuus oli 1.8 %. Täytyy huomioda, että kuoriutumista tapahtuu merkittävästi myös karsittujen ja kuorittujen pölkkyjen haketuksessa, mikäli se tehdään mahdollisimman nopeasti kuorinnan jälkeen. Siten selluhakkeesta mitattu kuoripitoisuus on em. kiekoista mitattua alhaisempi.

Tyrnävällä tehtiin 16.9.1996 päivän mittainen koe, jossa käsiteltiin ainespuuta noin 160 m<sup>3</sup>. Raaka-aine oli alkusyksystä osapuiksi tehtyä ensiharvennus-

mäntyä (kuva 1). Koe onnistui hyvin, hakkeen kuoripitoisuus oli VTT:n mitausten perusteella 1.0 - 1.8 % kuorman pohjalta ja 2.4 - 2.6 % päältä, jonne puhalluksessa seuloutuu hienompi jae. Hakkeen palakokojakauma oli myöskin hyvä, sillä hyväksytyn jakeen ( 7 mm & 13 mm) osuus oli 82 - 85 %.



*Kuva 1. Ketjukarsinta-kuorintamurskaus-yksikkö välivarastolla.*

Koneyksikkö on toiminut kokeiden aikana teknisesti hyvin, mutta toisaalta kokeet ovat olleet lyhyitä. Samoin työmaatyöskentely ja koneen kuormain-työskentely ovat kuljettajien harjaantumisen kautta parantuneet merkittävästi. Esimerkiksi Tyrnävällä tehoajan osuus (ei sisällä alle 15 min keskeytyksiä) osuus käyttöajasta oli 90 % ja käyttöajan osuus tuotantoajasta (sisältää yli 15 min keskeytykset) oli 79 %. Murskeen tilavuuspaino jäi yllättävän alhaiseksi,  $235 \text{ kg/i-m}^3$ , vrt. hake  $360 \text{ kg/i-m}^3$ , mikä heikentää kuljetustaloutta. Murske oli kuivaa, kosteus oli 46 %, vrt. aikaisemmat kokeet 55 %, mikä selittää em. tilavuuspainon alhaisuutta. Koneen jättöpäätä seurattaessa havaittiin, että se pyöri tyhjänä keskimäärin 47 % koneen käyttöajasta. Eli vain noin puolet ajasta puuta tuli ulos joten kapasiteettia riittää nykyiselläkin ratkaisulla. Käyttötuntiuottavuus kuoritulle ainespuulle oli  $19.4 \text{ m}^3$  sekä polttomurskeelle noin  $2.8 \text{ m}^3$  eli  $9.9 \text{ i-m}^3$ . Tyrnävän kokeessa. Vastaavat tuottavuudet tehotuntia kohti olivat  $21.6 \text{ m}^3$  ja  $3.2 \text{ m}^3$  eli  $11.0 \text{ i-m}^3$ . Tehotuntituottavuudet antavat viitteitä terminaalityöskentelyn tuottavuuksista, sillä tällöin työmaasiirrot varastojen välillä ja yli 15 min:n siirrot varastokasoilla olisivat vältettävissä.

Pitemmät tauot koneen käytössä ovat johtuneet lähinnä koneyksikön modifiointien johdosta sekä sopivien työmaiden niukkuudesta ja sellutehtaiden ensiharvennuspuun heikon kysynnän johdosta. Laajamittaisempia kenttätutkimuksia on tarkoitus jatkaa kevään ja kesän aikana vuonna 1997. Työkohteina tulee olemaan sekä metsäpään välivarastot että tehtaiden terminaalivarastot. Aika- ja tuottavuustutkimukset sekä selluhakkeen ja polttomurskeen analysointitulokset ovat antaneet jatkuvasti lisätietoa uudenlaisen tuotantojärjestelmän laajempaa käyttöselvitystä varten.

## 5 JATKOTOIMENPITEET

Vuonna 1997 on tavoitteena jatkaa edelleen myös itse koneyksikön teknistä kehitystyötä. Se edellyttää muutostöitä sekä ketjukarsijaan että erilliseen menetelmään soveltuvaan laikkahakkuriin hakkeen laadun ja ketjukarsija-kuorijan tuottavuuden parantamiseksi. Lisäksi katsottiin tarpeelliseksi mahdollistaa ketjukarsijan ja hakkurin tehokas yhteistyöskentely terminaaliolosuhteissa. Tuloksena saadaan myös liiketaloudellinen ohjausmalli käytännön yritys-suunnitteluun.

### Ketjukarsija-kuorintamurskaus-yksikön tekniset muutostyöt 1997:

- Ketjujen kiinnitykseen kasettiratkaisu ketjujen vaihtotyön nopeuttamiseksi
- Yläpuolinen lisäketjurulla kuorintatuloksen edelleen parantamiseksi, erityisesti jäätyneille puille
- Lisäakselin laitto Volvo F16 kuorma-auton alustaan, tienlainsäädäntö edellyttää koneyksikön painon nousun johdosta
- Jättöpään hallinta paremmaksi kuorituille puille, jättöpään rullastoa muuttamalla
- Lisäpuhallin murskekuorman tiivistämiseksi
- Kuljetinpöytä akseleineen koneyksikön ja erillisen laikkahakkurin välille samanaikaisen työskentelyn nopeuttamiseksi

### Laikkahakkuri TT 1750LP-yksikön tekniset muutokset:

- Selluhakkeen ylitteen (45+) poisto ja ohjaus ketjukarsijan vasaramurskaimelle
- Selluhakkeen alitteen (< 7 mm) poisto purunpoistoaukolla ja ohjaus vasaramurskaimelle

Menetelmälogistiikan toimivuuden parantamiseksi ollaan harkitsemassa kuljetuskalustoratkaisuissa tuleviin moduuliratkaisuihin perustuvaa puoliperävaunujen ja apuvaunujen eli dollyjen käyttöönottoa. Täten kuljetustalous paransi kuivuneen energiamurskeen osalta ( $< 336 \text{ kg/i-m}^3$ ) nykyiseen puoliperävaunuratkaisuun verrattuna ja puoliperävaunujen vetämisessä voitaisiin käyttää myös nykyistä autokalustoa. Merkittävin vaikutus kuljetuskustannusten alentamiselle olisi auton odotusaikojen väheneminen välivarastoilla, koska karsija- ja haketuskalustolla pystytään käsittelemään perävaunua varastolla ilman vetoautoa. Samoin kuormaus- ja purkutyövaiheen kestoa pystyttäisiin lyhentämään isomman yhtenäisen kuormatilan johdosta.

## 6 RAPORTIT JA JULKAISUT

*Hooli A.* 1993. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa. Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirja 1993, 7 s.

*Hooli A.* 1994. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa. Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirja 1994, 5 s.

*Hooli A.* 1995. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa. Loppuraportti KTM:lle, 1995, Luottamuksellinen.

*Hooli A., Kuitto P.-J. & Ranta T.* 1996. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa ja integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa. Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirja 1995, 14 s.

*Hooli A., Kuitto P.-J. & Ranta T.* 1996. Engl. & suom. kieliset esitteet ja posterit.

## KOKOPUUHAKKEEN PUHDISTUSPROSESSIN KILPAILUKYVYN PARANTAMINEN - Y117

Dan Asplund  
Jyväskylän Teknologiakeskus Oy  
Ylistönmäentie 31  
04500 Jyväskylä

Veli Seppänen  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 4451 112  
Fax (014) 4451 120  
dan.asplund@jisp.fi

Puh. (014) 672 643  
Fax (014) 676 597  
veli.seppanen@vtt.fi

### **Abstract: Improvement in the competitiveness of an upgrading process of whole-tree chips**

Development of the upgrading method for whole-tree chips will be continued from the stage achieved in connection with the construction of the Kankaapää demonstration plant in Finland. The aim is to reduce production costs by process-technical modifications and by equipment development and to increase the value of products. The target is to reduce the production costs of the fuel by at least FIM 7/MWh and to assort the pine pulp chips at least to two classes on the basis of fibre length.

In preliminary tests with fibre length, principles of assorting were determined. Tests were carried out with a belt conveyor that throws chips to different distances according to mass and volume. The aim is to assort the chips according to dry-fresh density, which correlates with the fibre length.

Modifications were designed and realised at the MASSAHAKE plant for the production of pine chips. By changing the chip size the pine chips can be upgraded in accordance with the pricing of saw chips. Process-technical changes can also be made to improve the yield and bark content of pulp chips.

The economic effect of these modifications will not be seen until the pricing of products corresponds to the calculations. The changes affecting the yield will be realised according to the production level. It has been verified that it is possible to achieve cost savings and additional income, when the fuel cost is reduced by FIM 4.3 - 34.8/MWh, depending on the method of calculation.

The project will be continued in 1997 by further development of assorting, by process and equipment-technical development of the MASSAHAKE method and by applying results to practice.

## 1 TAUSTA

Kokopuuhakkeen puhdistusmenetelmä (MASSAHAKE-menetelmä) oli Suomessa kehitetty demonstraatioasteelle vuoden 1995 loppuun mennessä. Demonstraatiolaitoksen käynnistyttyä on ilmennyt kohteita, joissa lisätutkimus ja laitekehitys on tarpeen. Parantamalla menetelmän teknistä toimivuutta parannetaan luonnollisesti samalla sen taloudellista kilpailukykyä ja mahdollisuuksia laajempaan käyttöön.

MASSAHAKE-menetelmä on ensijaisesti ensiharvennuspuun käyttöön perustuva menetelmä, jonka tavoitteena on tuottaa taloudellisesti sekä selluteollisuuden raaka-ainetta että polttoainetta nykymenetelmin epätaloudellisista leimikoista. Integroituun puunkorjuuseen perustuville menetelmille on kasvassa mielenkiintoa laajalla rintamalla. Syynä tähän on mahdollisuus hyödyntää tehokkaammin koko puun kannon yläpuolinen biomassa sekä mahdollisuus tuottaa ympäristöystävällistä polttoainetta energiantuotantoon. MASSAHAKE-menetelmän etuna voidaan todeta sen mahdollisuus käyttää lähes kaikenkokoisia ja -muotoisia puita raaka-aineenaan. Näin ollen laitokselle tulevat puut voidaan hyödyntää sellaisenaan siten, että niistä saadaan mahdollisimman suuri osa talteen teollisuuden raaka-aineena. Mahdollisuus lisääntyneeseen raaka-aineen tuotantoon samalta tuotantoalueelta on sekä puun myyjän että korjaajan etu. Lisäksi esimerkiksi Euroopassa on runsaasti hoitamattomia ja "sairaita" metsiä, joista teollisuuden raaka-aineen tuottaminen ei ole taloudellisessa mielessä mahdollista. Näin ollen uuden tekniikan tuominen markkinoille saattaisi ratkaista ongelmia, joihin ei tähän mennessä ole tunnettu ratkaisua.

Aiemmassa menetelmään liittyvässä tutkimus- ja kehitystyössä on keskitytty lähinnä kokopuuhakkeen puhdistustekniikkaan ja mahdollisimman kuorivaapaan hakkeen tuottamiseen mahdollisimman korkealla saannolla. Erityisesti pienikokoisen männyn lyhyt kuidunpituus on esitetty sen käytön esteeksi. On huomioitava, että nuoressakin puussa on osia, joissa kuidunpituus on kohtuullisen hyvä. Samoin vanhassakin puussa on osia, joiden kuidunpituus on lyhyt. Tämän vuoksi projektissa pyritään kehittämään myös menetelmä, jolla hake voidaan lajitella kuitupituuden mukaan. Kuidun pituuden mukainen hakkeen lajittelu olisi edullinen osana MASSAHAKE-menetelmää, mutta sopisi myös kuorimolla tuotetun mäntyhakkeen lajitteluun.

Tässä projektissa tutkittavien ja kehitettävien menetelmien ja laitteiden tuotantovastuu siirretään sopivassa vaiheessa teollisuuden hoidettavaksi. Menetelmien ja laitteiden lisensioinnista ja mahdollisesta valmistus- tms.oikeuksien siirtämisestä neuvotellaan parhaillaan alan teollisuuden kanssa. Projektin aikana mahdollisesti syntyvät uudet tuotteet eivät kuulu edellä mainittujen lisensiointineuvottelujen piiriin.

## 2 TAVOITE

Tavoitteena on alentaa 7 - 10 mk/MWh puupolttoaineen tuotantokustannusta MASSAHAKE-laitoksen taloudellisen kannattavuuden ja laitoksella tuotettavan selluhakkeen ominaisuuksia pysyessä vähintään nykyisellä tasolla sekä kehittää menetelmä ja laitteet, jolla sellujae voidaan jaotella kuitupituuden mukaan.

## 3 TOTEUTUS

Projektiorganisaatio on vuonna 1996 koostunut projektin johtoryhmästä ja projektiryhmistä. Johtoryhmään kuuluivat projektiin osallistuvien organisaatioiden edustajat seuraavan luettelon mukaisesti:

Projektin johtoryhmä: Dan Asplund (JTK Oy), Tarja-Liisa Perttala (TEKES), Antero Koskinen (UPM Kymmene Oy), Antti Nurmi (BMH Wood Technology Oy) ja Mikko Ahonen (VTT Energia). Projektin johtoryhmän puheenjohtajana ja samalla projektipäällikkönä toimii tutkimusprofessori Dan Asplund, Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. VTT Energian työn osuudesta vastasi projektipäällikölle ja projektin johtoryhmälle tutkija Mikko Ahonen.

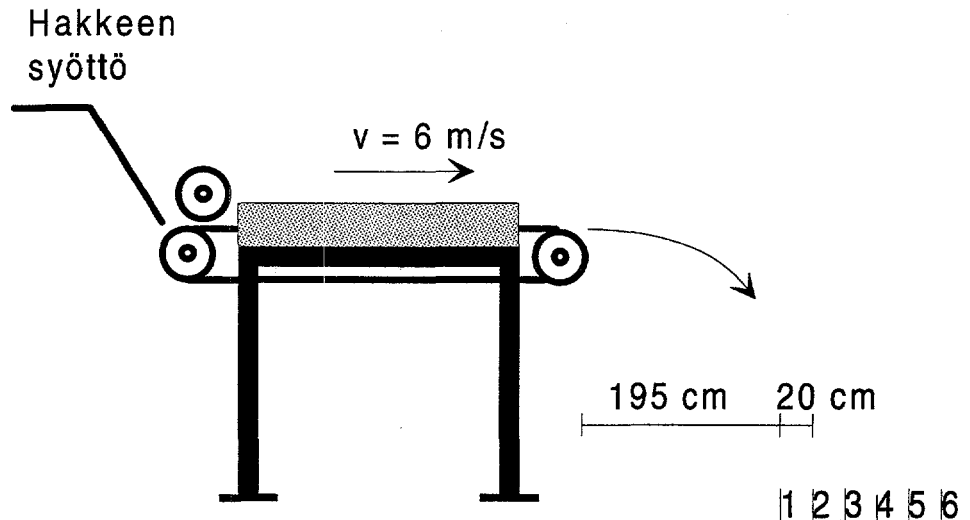
## 4 TEHTÄVÄT VUONNA 1996

1. Hakkeen lajittelu kuidunpituuden mukaan
2. MASSAHAKE-menetelmän tekninen kehittäminen
3. Kuoren irrotus hakkeesta
4. Hakepituuden vaikutus MASSAHAKE-menetelmässä
5. Taloustarkastelut
6. Raportointi

## 5 TULOKSET

### 5.1 HAKKEEN LAJITTELU KUIDUNPITUUDEN MUKAAN

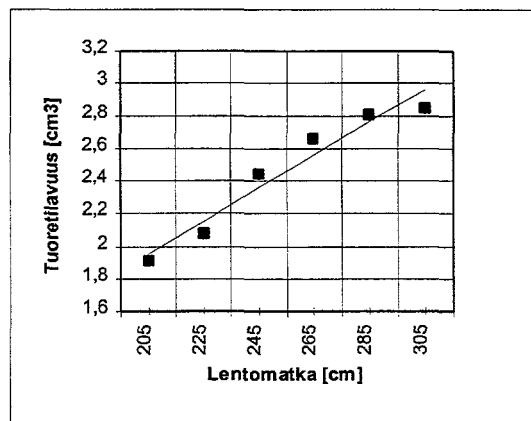
Jyväskylän Teknologiakeskus Oy:n ja VTT Energian yhteistyönä on suunniteltu ja rakennettu kuvan 1 mukainen laite, jolla voidaan tutkia mahdollisuuksia erotella hakepalat niiden eri ominaisuuksien mukaan.



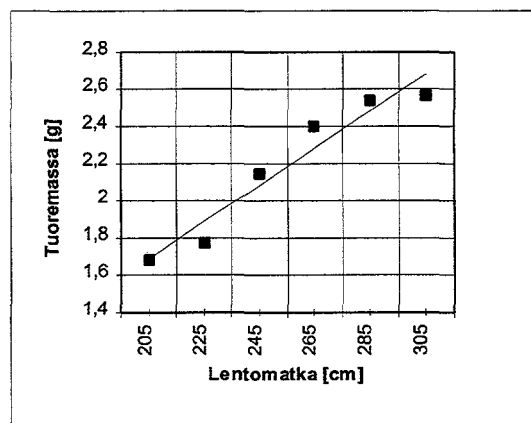
Kuva 1. Hakkeen kiihdytysihna ja putoamiskohtien jaottelu.

Kokeissa käytettiin karsitusta ja kuoritusta noin 25 vuotiaasta männystä hakettuja paloja, joista puru ja tikut seulottiin pois ja sen jälkeen kokeeseen valittiin silmämääräisesti samansuuruisia hakepaloja. Hakepalat kiihdytettiin hihnalla nopeuteen 6 m/s ja annettiin vapaasti jatkaa matkaansa hihnan päässä. Tarkoituksena oli tutkia, mikä hakepalajen ominaisuus määrää niiden lentomatkan pituuden ja saadaanko hake mahdollisesti fraktioitua tiheyden tai kuidunpituuden perusteella. Hakepalojen putoamiskohta jaettiin kuuteen 200 mm pitkään väliin. Jokaisen välin hakepaloista määritettiin tuoremassa, tuoretilavuus ja kuivamassa. Osasta hakepaloista määritettiin myös kuidunpituus.

Laitteella on tehty koeajoja syys-lokakuussa 1996 ja lajiteltujen hakkeiden kuidutus- ja kuidunpituusanalyysit vuoden loppulla. Tavoitteena on pystyä lajittelemaan hakkeet kuitupituuden perusteella kahteen tai useampaan jakeeseen. Heti aluksi todettiin hakkeen lajittuminen tuoretilavuuden (kuva 2) ja tuoremassan (kuva 3) mukaan. Hakepalojen koon mukainen lajittuminen ei sellaisenaan ole kovin arvokas, koska sellaista lajittelua voidaan tehdä mekaanisilla seuloillakin.

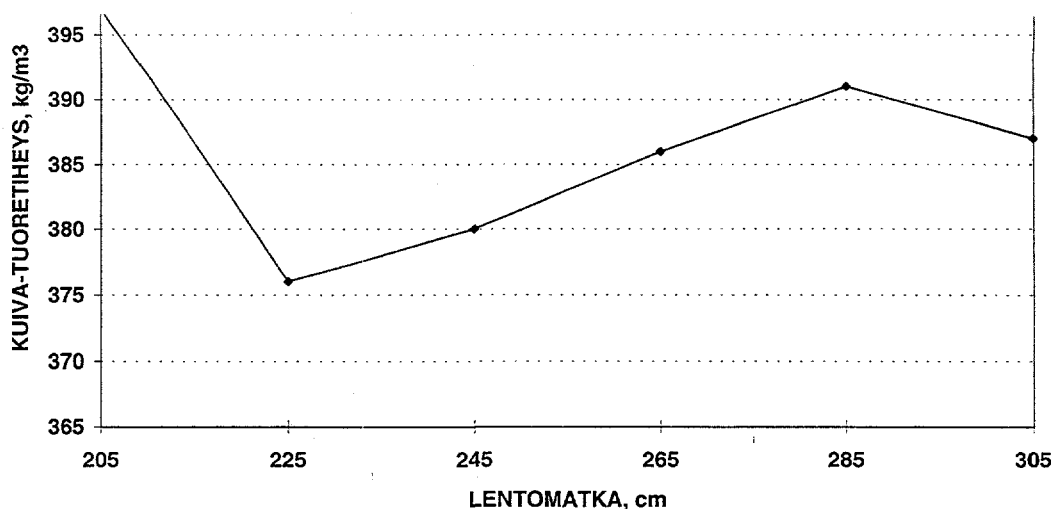


Kuva 2. Hakepalasten tuoretilavuuden vaikutus kappaleen lentomatkään.  
 $y = 0,0102x - 0,1337$ ,  $r = 0,973$



Kuva 3. Hakepalasten tuoremassan vaikutus kappaleen lentomatkään.  
 $y = 0,0099x - 0,3411$ ,  $r = 0,967$

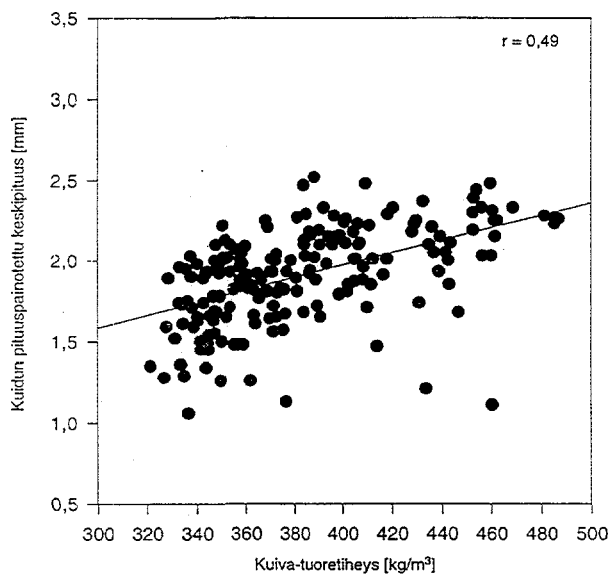
Lajiteltujen hakkeiden kuivatuoretiheydet mitattiin ja saatiin mielenkiintoinen jakauma lentomatkan funktiona, (kuva 4).



Kuva 4. Hakepalojen keskimääräinen kuivatuoretiheys lentomatkan funktiona.

Lentomatkan ääripäitä lukuunottamatta lentomatka kasvaa kuivatuoretiheyden noustessa. Tunnettua on, että kuivatuoretiheys alenee puun latvaa kohti ja samoin kuidunpituus.

Hakkeiden kuivatuoretiheydelle ja kuidunpituudelle saatiin kuvan 5 mukainen riippuvuus. Riippuvuus on heikko, mutta jaettuna kahteen kuivatuoretiheysluokkaan, yli ja alle  $380 \text{ kg/m}^3$ , saadaan pituuspainotettujen kuidunpituuden keskiarvoihin selvät erot, eli 1,80 ja 2,13 mm.

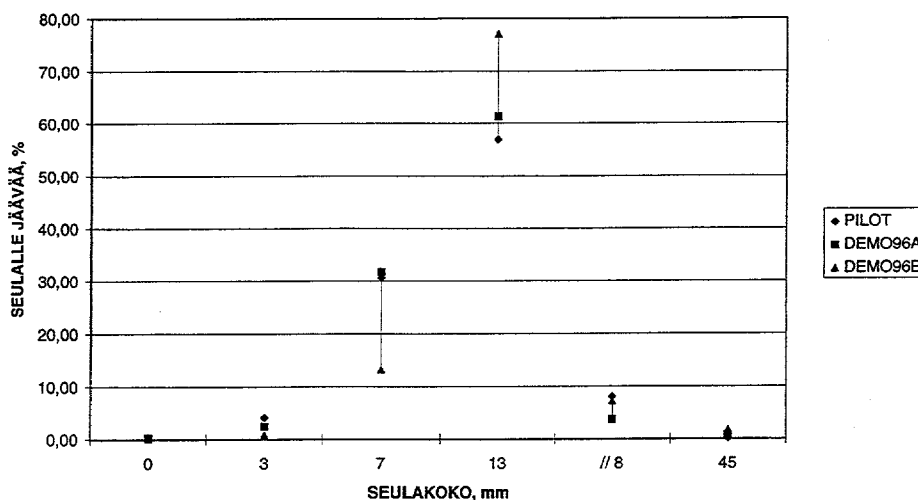


Kuva 5. Kuivatuoretiheyden ja kuidunpituuden riippuvuus männyllä.

Täten voidaan väittää, että hake tulisi luokiteltua kuidunpituuden mukaan, jos onnistutaan lajittelemaan hake kuivatuoretiheyden perusteella.

## 5.2 MASSAHAKE-MENETELMÄN TEKNINEN KEHITTÄMINEN

VTT Energian toimesta on selvitetty MASSAHAKE-menetelmään tehdyn (A) ja suunnitellun (B) prosessitekni- sen muutoksen vaikutus palakokojakaumaan. Kuvassa 6 nähdään MASSAHAKE-menetelmän kehityksen tuoma parannus palakokojakaumaan, joka on hyvin vastaa nykyisiä käyttäjien toiveita. Sahanhakkeen hinnoittelukerroita käyttäen palakokojakauman muutos nostaa selluhakkeen hintaa 19 % ( $47 \text{ mk/m}^3$ ). Jos tämä muutos jaetaan tuotteiden massamäärien suhteessa, alentaa se polttoaineen kustannusta  $10,70 \text{ mk/m}^3$  ( $4,30 \text{ mk/MWh}$ ). Jos tapahtunut kehitys lasketaan täysimääräisenä polttoainetuotannon eduksi kustannusten alenema on  $87 \text{ mk/m}^3$  ( $34,8 \text{ mk/MWh}$ ).



Kuva 6. MASSAHAKE-menetelmällä tuotetun koivuselluhakkeen palakoon kehityminen demonstraatiolaitoksen aikana.

MASSAHAKE-laitoksella käytössä olevan optisen lajittelijan jakeiden käsittelyä muutettiin niin, että vain eniten kuorta sisältänyt jae ohjataan suoraan polttojakeeseen. Tämä näyttää lisäävän selluhakkeen saantoa noin 3 %-yksikköä, mutta samalla kuoripitoisuus lisääntyy hieman.

Tutkimusten perusteella uskotaan voitavan tarjota myös tekniset mahdollisuudet nostaa koivuosaapuun käsittelyssä sellujakeen vuotuista keskimääräistä saantoa vähintään 5 %-yksikköä suunnitellusta 65 %:n tasosta.

### 5.3 KUOREN IRROTUSKOKEET HAKKEESTA

Koivupuun jäätyneisyydellä on huomattava merkitys haketuksessa hakkeen kiinni jääneen kuoren määrään. Jäätyneestä puusta tehdyssä hakkeessa on kiinniolevaa kuorta 4 - 6 % ja sulasta tuoreesta puusta tehdyssä hakkeessa alle 2 %. Puun jäätyneisyys vaikeuttaa kuoren irrotusta kaikissa korintatavoissa.

### 5.4 HAKEPITUUDEN VAIKUTUS MASSAHAKEMENETELMÄSSÄ

MASSAHAKE-menetelmän kehittyessä, hakkeen ohkaisuus on noussut merkittäväksi, koska ohuessa hakkeessa on vähän kuorta kiinni. Ohutta haketta pystytään nykyisin valmistamaan vain lyhentämällä hakepituutta. Nyt on päädytty hakkeen nimellispiteuteen 21 - 23 mm.

### 5.5 TALOUSTARKASTELUT

Taloustarkasteluja on tehty yksittäisten toimenpiteiden vaikutuksesta laitoksen laskennalliseen talouteen, kuten kohdassa 5.2. Taloutta kuvaavien lukujen esittäminen tulisi perustua pitkäaikaiseen laitosseurantaan, mitä toistaiseksi ei ole käytettävissä.

## 6 VUODEN 1997 TEHTÄVÄT

Tutkimus- ja kehitystyötä viedään eteenpäin vuoden 1996 tulosten pohjalta. Itse tehtävät sisältävät pääasiassa laboratoriomittakaavan koeajoja ja tutkimuksia osapuuhakkeella sekä tutkimustulosten siirtämistä teolliseen mittakaavaan tekemällä mahdollisuuksien mukaan täyden mittakaavan koeajoja. Tässä yhteydessä perehdytään myös mahdollisiin ongelmiin laboratoriomittakaavan laitteiden skaalauksessa teolliseen kokoluokkaan.

Tehtävät on jaoteltu seuraaviin kokonaisuuksiin:

1. MASSAHAKE-menetelmään liittyvän edellisvuosien tutkimusten tulosten kokoaminen ja julkaisu kansainvälisessä/-sissä alan lehdissä.
2. Laboratoriomittakaavaisten lajittelukokeiden jatkotutkimus v. 1996 tulosten pohjalta sekä laajemmat kokeet tulosten varmentamiseksi.
3. Kuoren irrotuskokeiden jatkaminen.

4. Täyden mittakaavan ja laboratoriokokeiden tulosten vertailu ja mahdollisten skaalauksen ongelmakohtien etsiminen.
5. Kokeet laboratorio- ja täydessä mittakaavassa 1 - 2 hakkeen käsittelylaitteella tarkoituksena selvittää ko. laitteilla osapuuhakkeesta tehdyn hakkeen ominaisuudet (palakokojakauma, kuoripitoisuus, kiinni olevan kuoren osuus) verrattuna vastaaviin jauhimella tehtyihin kokeisiin.
6. Koetulosten analysointi ja raportointi.

## 7 RAPORTIT JA JULKAISUT

### 7.1 RAPORTIT

*Seppänen, V., Ahonen, M.* Kokopuuhakkeen puhdistus MASSAHAKE-menetelmällä. Vuoden 1992 tulokset. Loppuraportti VTT/PLT 1993. 43 s.

*Seppänen, V. Ahonen, M.* MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hieheen raaka-ainetuotantoon. Väkiraportti 27.12.1993. VTT ENE 1993. 79 s.

*Ahonen, M.* Ketjukarsijakuorijahakkurilla tuotetun selluhakkeen puhdistus MASSAHAKE-menetelmällä - esikokeet VTT/PLT 1993. 16 s.

*Ahonen, M.* MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hieheen raaka-ainetuotantoon. Raportti vuoden 1994 tuloksista. Bioenergian tutkimusohjelma projekti 104. VTT Energia 1995. 98 s.

*Ahonen, M.* MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hieheen raaka-ainetuotantoon. Raportti vuoden 1995 tuloksista sekä yhteenveto projektin aiemmasta tuloksista. Bioenergian tutkimusohjelma projekti 104. VTT ENE 1996. 63 s.

### 7.2 JULKAISUT

*Seppänen, V.* Metsähakkeen puhdistus. VTT Tiedotteita 1306 VTT/PLT 1991. 53 s.

*Asplund, D. Ahonen M.,* A New wood fuel system for total energy production in pulp and paper manufacture. Energy From biomass and wastes XVI IGT 1992 45 s.

*Seppänen, V., Ahonen, M.* Kokopuuhakkeen puhdistus MASSAHAKE-menetelmällä - kokeet jatkuvatoimisella koelaitteistolla. VTT Tiedotteita 1408. VTT 1992. 38 s.+ liitt. 3 s.

*Seppänen, V.* MASSAHAKE - whole tree chip screening system VTT/PLT 1992 5 s.

*Seppänen, V., Ahonen, M.* A New MASSAHAKE-method for pulp raw material and wood fuel production - research results. 7th European Conference on Biomass. Firenze 5-9.10.1992 CEC 1992. 3 s.

*Asplund, D. Ahonen, M.* MASSAHAKE whole tree harvesting method for pulp raw-material and fuel - R & D in 1993 - 1998. First biomass conference of the Americas. Burlington 30.8.- 2.9.1993 NREL 1993. 6 s.

*Seppänen, V., Edelmann, K.* Menetelmä vähäkuorisen puuhakkeen valmistamiseksi kokopuuhakkeesta. Pat. FI.89013 PRH 1993 8 s.

*Viinikainen, S., Ahonen, M.* The production of industrial raw material and wood fuel using MASSAHAKE-method. Bioenergy 93 conference. Espoo 17.-18.11.1993 VTT/PLT 1993. 31 s.

*Ahonen, M.* MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hierteen raaka-ainetuotantoon. Vuosikirja 1993. Osa I, Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia 1994. 11 s.

*Viinikainen, S., Ahonen, M.* The production of wood fuel and industrial raw material from whole wood chips using MASSAHAKE-method. 8th European Conference on Biomass for Energy. Wien, 3-5.10.1994. ADEME 1994. 10 s.

*Ahonen, M.* Introduction to the first commercial MASSAHAKE plant. VTT ENE 1995. 9 s.

*Ahonen, M.* MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hierteen raaka-ainetuotantoon - 104. Vuosikirja 1994. Osa I. Puupolttoaineiden tuotanto. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT ENE 1995 12 s.

*Ahonen, M.* MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hierteen raaka-ainetuotantoon - 104. Vuosikirja 1995. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT ENE 1996. 11 s.

*Ahonen M., Seppänen V.* More Raw Material and Wood Fuel from Harvesting Sites with MASSAHAKE-method. Poster. Esillä 9th European Bioenergy Conference in Copenhagen 24.-27.6.1996.

*Seppänen, V., Edelmann K.* Method for manufacturing low bark content wood chips from whole-tree chips, US Patentti 5577671. 26. Nov. 1996. 6 sivua.



# INTEGROITUJEN TUOTANTOMENETELMIEN VERTAILU - 124

Antti Korpilahti  
Metsäteho Oy  
PL 194  
00131 Helsinki

Puh. (09) 132 5242  
Fax (09) 659 202  
antti.korpilahti@metsateho.fi

## **Abstract: Integrated production of wood fuel and pulp wood from young stands**

The aim of the study was to clarify the competitiveness of different harvesting chains and processing methods of first thinning wood. Great expectations have been laid on integrated production of wood fuel and pulp wood. Results produced in other bioenergy projects were taken into account, and in this project some field experiments on mechanized felling-bunching and compressing of the load of tree sections during forwarding were carried out. The new processing methods, the MASSAHAKE -method and chain-flail delimbing combined with small-scale drum debarking, still are under development giving a rather unstable data for comparisons. Both in pine and birch dominant stands modern multiple tree logging gave the most favourable results when ranking on the bases of the price of pulp chips. Integrated methods were not very far and they have more potential than methods based on harvesting delimbed short wood. When compared on the bases of the production cost of pulp, integrated methods were in general the most favourable because they give good subsidies on the form of bioenergy.

## 1 TAUSTA

Ensiharvennuspuun tehdashinta muodostuu suureksi ennen muuta pienestä rungonkoosta johtuvan korjuuvaiheen kalleuden vuoksi. Myös ensiharvennusten myöhempiä hakkuita pienempi pinta-alakohtainen kertymä lisää korjuun kustannuseroa. Ensiharvennuspuun korjuun tehokkuutta on pyritty paranta-

maan joukkokäsittelyn ja karsinnan vähentämisen avulla. Ainespuukertymää puolestaan on pyritty lisäämään eriyttämällä ensiharvennuspuun prosessointi muun kuitupuun käsittelystä ja soveltamalla ensiharvennuspuulle tavanomaisesta rumpukuorimokäsittelystä poikkeavia menetelmiä. Potentiaalisia menetelmiä ovat Massahakemenetelmä ja ketjukarsintakuorinta. Kummastakin menetelmästä on käynnistynyt pilot -laitos: Pohjois-Satakunnan Massahake Oy Kankaanpäässä soveltaa massahakemenetelmää ja Pertti Szepaniak Oy ketjukarsintakuorintamenetelmää Imatralla Enso Oy:n tehtaiden yhteydessä. Karsintatulos hallitaan pienikokoisella kuorimarummulla ja hakkeen laatu seullonnalla.

Massahakelaitos pystyy käsittelemään sekä runkopuuta että puhdistamaan kokopuuhaketta. Laitoksen puunhankintaketju voi siten perustua osapuun ohella palsta- ja välivarastohaketukseen. Ketjukarsintalaitos sen sijaan prosessoii osapuuta ja muuta runkopuuta. Kummankin laitoksen käynnistyminen antoi edellytykset erilaisten ensiharvennuspuun tuotantoketjujen käytännön toteutukselle.

## 2 TAVOITE

Ensiharvennuspuun tuotantoketjujen aiemmissa tarkasteluissa on monilta osin jouduttu turvautumaan puutteellisiin lähtötietoihin. Mm. karsimattoman puun korjuuseen perustuvien menetelmien kilpailukyky saavutettiin pääosin edullisella, yhdistelmäkoneeseen perustuvalla korjuuvaiheella. Ko. työvaiheen tuotavuus ja kustannukset perustuivat kuitenkin pääosin arvioihin. Myös puunkäsittelyn prosesseja koskevat tiedot ovat olleet vähäiset, johtuen melko vaikeista ja suuriin kustannuksiin johtavista tutkimusjärjestelyistä.

Projektin tavoitteeksi tuli parantaa em. puutteista johtuvaa tietopohjaa, soveltaa integroituja menetelmien uusia tutkimustuloksia sekä ottaa tarkasteluun mukaan uusia näkökulmia. Kun aiemmin tuotantoketjujen kilpailukykyä vertailtiin lähinnä eri menetelmillä tuotetun selluhakkeen tuotantokustannusten perusteella, tuli tarkastelua laajentaa selluhakkeen ominaisuuksiin ja sellunvalmistukseen asti. Tarkastelun kohdistui ensiharvennuksista saatavaan sellupuuhun, mäntyyn ja koivuun.

### 3 TOTEUTUS

Tutkimuksen toteutuksesta vastasi Metsäteho Oy. Karsimattoman puun korjuuta koskevat kenttäkokeet voitiin tehdä Enso Oy:n avustamana yhtiön omistamalla tilalla Kontiolahdella. Korjuutyöt tekivät metsäkoneyritykset Puukorku Oy ja H-P Kone Ky ja kuormankokokeisiin osallistui Karelian Puu ja Metalli Oy. Ensiharvennusleimikoiden puustotietojen hankinnassa avustivat Enso Oy ja UPM-Kymmene Oy. Tarkasteluun saatiin tietoja integroitua tuotantoketjuja koskevista bioenergia -tutkimusohjelman projekteista, Pohjois-Satakunnan Massahake Oy:ltä, Enso Oy:n ja UPM-Kymmene Oy:n sellutehtailta. Sellunvalmistuksen laskelmat tehtiin KCL:n kanssa.

### 4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät olivat:

- puustotietojen hankinta metsikkömittauksin
- koneellisen kaato-kasauksen tutkiminen
- karsimattoman puutavaran kuorman tiivistämisen kokeilu liukupankoilla
- muiden tarkasteluperusteiden päivitys
- vertailutarkastelut tehdashintaan, selluhakkeen ja sellun tuotantokustannuksiin perustuen.

### 5 RAHOITUS

Projektin rahoitussuunnitelma koko kestoajalle 1.1.1996 - 31.3.1997 on seuraava.

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Bioenergian tutkimusohjelma     | 125 000 mk |
| Metsäteho Oy                    | 108 000 mk |
| Osallistuvien yritysten yöpanos | 36 000 mk  |
| Yhteensä                        | 269 000 mk |

## 6 TULOKSET

### 6.1 PUUSTOTIEDOT

Projektissa mitattiin puustotiedot eteläsuomalaisesta männiköstä Ruokolahdelta, pohjanmaalaisesta männiköstä Haapavedeltä ja koivikosta Evijärveltä. Koivikossa oli sekapuuna mäntyä, mikä on tyypillistä alueen metsiköille. Seuraavassa esitetään ja tarkastellaan koivikon osalta kuitenkin vain koivua. Karsitun kuitupuun ja karsimattoman osapuun minimipituutena oli 2,5 m. Kokopuunakorjuu laskettiin rinnankorkeudelta 30 mm:stä lähtien. Siten runkoluvut vaihtelevat läpimittavaihtoehdoittain. Puustotiedot ovat:

*Taulukko 1. Integroitujen tuotantomenetelmien vertailussa kaatokasauksen metsiköiden puustotiedot.*

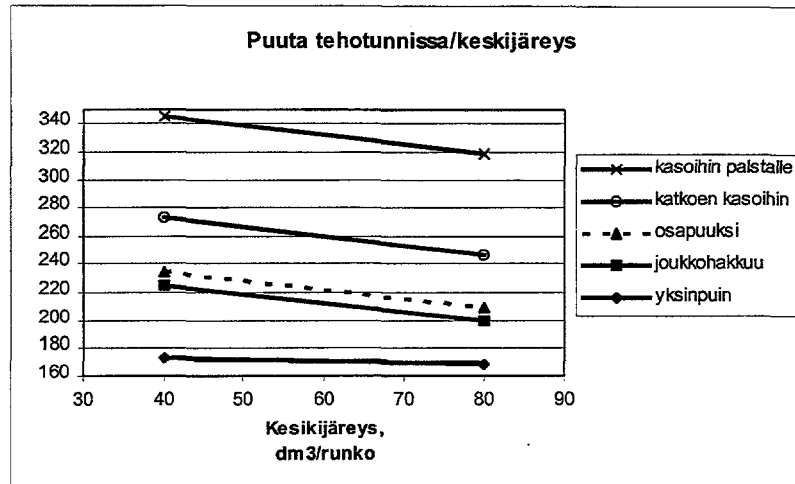
| Leimikko                | Tiheys<br>r/ha | D1.3<br>cm | Järeys<br>dm <sup>3</sup> /r | Runkopuuta<br>m <sup>3</sup> /ha | Latvusta<br>m <sup>3</sup> /ha |
|-------------------------|----------------|------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ruokolahti mänty</b> |                |            |                              |                                  |                                |
| Kokonaispuusto          | 2 489          | 11.8       | 80.6                         | 200.7                            | 33.9                           |
| Korjuu                  |                |            |                              |                                  |                                |
| latvalpm. 7 cm          | 1 267          | 12.0       | 79.5                         | 90.6                             | 4.2                            |
| latvalpm. 5 cm          | 1 489          | 11.2       | 70.7                         | 101.4                            | 9.4                            |
| kokopuuna               | 1 600          | 10.7       | 66.3                         | 106.1                            | 17.1                           |
| <b>Haapavesi mänty</b>  |                |            |                              |                                  |                                |
| Kokonaispuusto          | 2 325          | 10.6       | 59.8                         | 139.1                            | 31.4                           |
| Korjuu                  |                |            |                              |                                  |                                |
| latvalpm. 7 cm          | 1 025          | 10.1       | 50.0                         | 42.4                             | 2.5                            |
| latvalpm. 5 cm          | 1 392          | 9.2        | 41.2                         | 53.7                             | 6.2                            |
| kokopuuna               | 1 450          | 9.0        | 39.8                         | 57.7                             | 12.3                           |
| <b>Evijärvi koivu</b>   |                |            |                              |                                  |                                |
| Kokonaispuusto          | 2 221          | 8.5        | 35.1                         | 78.0                             | 12.9                           |
| Korjuu                  |                |            |                              |                                  |                                |
| latvalpm. 7 cm          | 762            | 10.5       | 47.9                         | 30.2                             | 1.4                            |
| latvalpm. 5 cm          | 1 303          | 8.8        | 34.5                         | 40.5                             | 3.0                            |
| kokopuuna               | 1 828          | 7.6        | 26.5                         | 48.5                             | 7.2                            |

### 6.2 KORJUU

#### 6.2.1 Koneellinen kaato-kasaus

Koneellista kaato-kasausta tehtiin Outokummun Metalli Oy:n valmistamalla joukkohakkuulaitteella ensiharvennusmännikössä. Joukkohakkuulaitetta voidaan pitää ensiharvennuspuston kaato-kasaukseen tarpeettoman järeänä, mutta Suomessa ei ole pelkästään kaato-kasaukseen tarkoitettuja kaatolaittei-

ta. Kaato-kasauskokeilussa oli sama kuljettaja joka oli aiemmin ollut karsitun kuitupuun hakkuututkimuksissa. Siten tässä tarkastelussa saavutettiin hyvä vertailukelpoisuus yksinpuinhakkuun, joukkohakkuun ja osa- ja kokopuun hakkuun osalta (kuva). Tämä muuttikin hakkuukustannusten suhteita aiemmissa vertailuissa esitetyistä.



Kuva 1. Koneellisen hakkuun, osapuuksi valmistuksen ja kokopuun kaatokasauksen tuottavuus ensiharvennuksessa.

Kasoihin palstalle -hakkuutavassa puuniput sijoitettiin palstalle tyvipää uralle päin. Tämä hakkuutapa sopii erityisesti Chipset-palstahakkurille, joka on varustettu käännettävällä hakkurilla. Katkoen kasoihin -vaihtoehdossa puuniput katkaistiin vain kerran siten, että ne pystyttiin kuljettamaan kuormatraktorilla varastolle. Puutavara oletetaan silloin prosessoitavan varastolla ketjukarsijalla tai hakkurilla. Osapuuksivalmistuksessa puutavaraniput katkaistiin kaukokuljetukseen sopiviksi ja ohjeelliseen latvaläpimittaan. Latvan katkaisu lisäsi ajanmenekkiä merkittävästi.

### 6.2.2 Liukupankkokokeilu

Karsimattoman puun metsäkuljetuksen kustannukset muodostuvat kuorman pienen tiiviyden vuoksi suuriksi. Kuorman tiiviyden lisäämiseksi ja kiintotilavuuden suurentamiseksi oli ideoitu liukupankkovarustus kuormatraktoriin, mutta sen toimivuutta ja saavutettavaa kuormakokoa ei kuitenkaan oltu voitu testata. Tässä projektissa Karelian Puu ja Metalli Oy rakensi erillisiin runkopalkkeihin hydraulitoimisen liukupankkovarustuksen ja sitä kokeiltiin mänty-osapuulle. Osapuu kuljetettiin ja lastattiin liukupankkokuormatilaan kuorma-

traktorilla. Liukupankoilla tiivistämällä kuormakoko kasvoi 1,6 - 1,8 -kertaiseksi tiivistämättömään verrattuna. Tarkasteluissa tätä tietoa sovellettiin keskimääräiseen osapuukuorman kokoon, joka tiivistämättä on noin 5 kiintokuutiometriä, ja tiivistettynä siten vähintään 8 m<sup>3</sup>. Karsitun havukuitupuun keskimääräinen kuormakoko on 11,6 m<sup>3</sup>.

### 6.3 HANKINTAKUSTANNUKSET

Tässä tarkastelussa ensiharvennuspuun kantohintana käytettiin kaikissa tapauksissa ainespuun minimilatuläpimitan mukaan lasketulle kertymälle 70 mk/m<sup>3</sup>. Koivuosaapuulle ja kokopuulle sovellettiin paremman tiedon puuttuessa pääosin samoja perusteita kuin männylle. Kokopuuvaihtoehdossa tarkasteltiin Chipset-palstahakkuriin perustuvaa hakemenetelmää sekä MOHA-SISU-hakkuriautolla välivarastohaketukseen ja kaukokuljetukseen perustuvaa hakemenetelmää. Chipset-palstahakkurin tuottavuudesta oli käytettävissä uusia, ruotsalaisen SkogForskin tutkimustuloksia. MOHA-SISU:n osalta tarkastelu perustui omistajan antamiin perusteisiin. Hakemenetelmien kustannukset ovat epätarkempia kuin tavaralaji- ja osapuumenetelmien kustannukset.

#### *Ensiharvenusmännikkö, Etelä-Suomi*

| Selite                      | Kuitupuu<br>7 cm | Kuitupuu<br>5 cm | Joukkohakattu 5 cm | Osapuu<br>5 cm | Palsta-<br>haketus | Välivarasto-<br>haketus |
|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| Kertymä, m <sup>3</sup> /ha | 87.4             | 96.1             | 100.1              | 110.8          | 123.2              | 123.2                   |
| Suhteellinen                | 1.00             | 1.10             | 1.15               | 1.27           | 1.41               | 1.41                    |
| Kantohinta                  | 70.00            | 70.00            | 67.20              | 60.70          | 54.60              | 54.60                   |
| Hakkuu                      | 46.70            | 48.80            | 40.40              | 35.30          | 22.40              | 28.70                   |
| Metsäkuljetus               | 19.20            | 18.50            | 18.50              | 23.10          | 41.80              | 23.30                   |
| Kuljetus 50 km              | 20.60            | 20.60            | 20.60              | 23.40          | 23.20              | 39.80                   |
| Muut kustann.               | 20.00            | 20.00            | 19.20              | 17.40          | 15.60              | 11.70                   |
| Yhteensä                    | 176.50           | 178.00           | 166.00             | 159.90         | 157.60             | 158.10                  |
| Suhteellinen                | 1.00             | 1.01             | 0.94               | 0.91           | 0.89               | 0.90                    |

#### *Ensiharvenusmännikkö, Pohjanmaa*

| Selite                      | Kuitupuu<br>7 cm | Kuitupuu<br>5 cm | Joukkohakattu 5 cm | Osapuu<br>5 cm | Palsta-<br>haketus | Välivarasto-<br>haketus |
|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| Kertymä, m <sup>3</sup> /ha | 40.9             | 50.9             | 52.8               | 53.7           | 57.7               | 57.7                    |
| Suhteellinen                | 1.00             | 1.24             | 1.29               | 1.31           | 1.41               | 1.41                    |
| Kantohinta                  | 70.00            | 70.00            | 67.10              | 59.50          | 50.90              | 59.90                   |
| Hakkuu                      | 79.40            | 84.70            | 65.30              | 56.10          | 33.90              | 42.80                   |
| Metsäkuljetus               | 20.50            | 20.00            | 20.00              | 24.20          | 41.80              | 23.30                   |
| Kuljetus 50 km              | 20.60            | 20.60            | 20.60              | 23.40          | 23.20              | 39.80                   |
| Muut kustann.               | 20.00            | 20.00            | 19.20              | 17.00          | 14.50              | 10.90                   |
| Yhteensä                    | 210.50           | 215.30           | 192.20             | 180.20         | 164.30             | 167.80                  |
| Suhteellinen                | 1.00             | 1.02             | 0.91               | 0.86           | 0.78               | 0.80                    |

*Ensiharvennusköivikko, Pohjanmaa*

| Selite                      | Kuitupuu<br>7 cm | Kuitupuu<br>5 cm | Joukkohakattu 5 cm | Osapuu<br>5 cm | Palsta-<br>haketus | Välivarasto-<br>haketus |
|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| Kertymä, m <sup>3</sup> /ha | 29.8             | 39.9             | 40.5               | 43.5           | 70.0               | 70.0                    |
| Suhteellinen                | 1.00             | 1.34             | 1.36               | 1.46           | 2.35               | 2.35                    |
| Kantohinta                  | 70.00            | 70.00            | 69.00              | 64.10          | 39.90              | 39.90                   |
| Hakkuu                      | 92.00            | 116.20           | 88.30              | 78.80          | 58.40              | 73.30                   |
| Metsäkuljetus               | 23.10            | 22.10            | 22.10              | 27.50          | 41.80              | 23.30                   |
| Kuljetus 50 km              | 22.70            | 22.70            | 22.70              | 25.20          | 23.20              | 39.80                   |
| Muut kustann.               | 20.00            | 20.00            | 19.70              | 18.30          | 11.40              | 8.60                    |
| Yhteensä                    | 227.80           | 251.00           | 221.80             | 214.00         | 174.60             | 184.90                  |
| Suhteellinen                | 1.00             | 1.10             | 0.97               | 0.94           | 0.77               | 0.81                    |

**6.4 HAKKEEN TUOTANTOKUSTANNUKSET**

Selluhakkeen ja energiajakeen yhteiset tuotantokustannukset jaettiin siten, että energiajakeesta laskettiin saatavan tutkimusohjelmassa esitetty 45 mk/MWh hyvitys, ja loppuosa kustannuksista kohdistettiin selluhakkeelle. Muuntosuhteena käytettiin männällä 1.8 ja köivulla 2.0 MWh/m<sup>3</sup>. Materiaalivirrat laskettiin ensisijaisesti uusimpien tutkimustulosten mukaan. Vallitsevan käytännön mukaisesti hakkeesta vain puru eli alle 3 mm:n jae laskettiin energiaositteeseen.

Ongelmaksi osoittautui se, että materiaalivirtatiedot ovat vielä pääosin alustavia. Puunkäsittelyn tutkiminen on vaikeata ja työlästä, minkä vuoksi erilaiset raaka-ainevaihtoehdot kattavia tutkimussarjoja ei ole toteutettu. Uusien käsittelymenetelmien osalta ongelma on lisäksi se, että prosessoinneissa ei vielä ole saavutettu käytännön tuotantotasoa. Esimerkiksi massahakelaitoksella on käsitelty lähinnä köivua ja tuotantoprosessia kehitetään yhä. Ketjukarsintakuorintalaitoksen tutkimuksissa puolestaan todettiin, että laitteiden ajonopeudet eivät olleet sopivat, ajonopeuksia on voitava säätää. Siten nyt esitettävät vertailut eivät kovinkaan hyvin kuvaa eri menetelmien lopullista tilaa.

*Taulukko 2. Kuitupuun, osapuun ja kokopuuhakkeen hankintakustannukset ensiharvennuksissa.*

|                                                    | Kuitupuun<br>Kuorimo | Joukko-<br>hakattu<br>Kuorimo | Osapuu<br>Kuorimo | Osapuu<br>Ketju-<br>karsinta | Osapuu<br>Massa-hake |
|----------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------|
| <b>Mänty, Etelä-Suomi,<br/>minimilatvalpm 7 cm</b> |                      |                               |                   |                              |                      |
| Puuainehävikki, %                                  | 3.1                  | 6.1                           | 3.1               | 4.0                          | 12.4                 |
| Selluhake, mk/m <sup>3</sup>                       | 205.64               | 201.92                        | 211.65            | 213.16                       | 237.56               |
| Energiahyvitys mk/hakekuutio                       | 10.34                | 14.49                         | 16.25             | 17.05                        | 23.90                |
| <b>Mänty, Etelä-Suomi,<br/>minimilatvalpm 5 cm</b> |                      |                               |                   |                              |                      |
| Puuainehävikki, %                                  | 3.7                  | 6.4                           | 3.7               | 4.9                          | 11.9                 |
| Selluhake, mk/m <sup>3</sup>                       | 203.11               | 197.02                        | 205.18            | 209.52                       | 227.50               |
| Energiahyvitys mk/hakekuutio                       | 12.32                | 19.00                         | 26.14             | 27.58                        | 35.05                |
| <b>Mänty, Pohjanmaa,<br/>minimilatvalpm 7 cm</b>   |                      |                               |                   |                              |                      |
| Puuainehävikki, %                                  | 3.1                  | 6.1                           | 3.1               | 4.0                          | 12.4                 |
| Selluhake, mk/m <sup>3</sup>                       | 242.27               | 227.71                        | 234.41            | 235.99                       | 259.12               |
| Energiahyvitys mk/hakekuutio                       | 13.30                | 18.63                         | 22.05             | 23.11                        | 30.88                |
| <b>Mänty, Pohjanmaa,<br/>minimilatvalpm 5 cm</b>   |                      |                               |                   |                              |                      |
| Puuainehävikki, %                                  | 3.7                  | 6.4                           | 3.7               | 4.9                          | 11.9                 |
| Selluhake, mk/m <sup>3</sup>                       | 246.13               | 229.58                        | 235.15            | 240.00                       | 256.40               |
| Energiahyvitys mk/hakekuutio                       | 12.32                | 19.12                         | 28.31             | 29.81                        | 34.88                |
| <b>Koivu, Pohjanmaa,<br/>minimilatvalpm 7 cm</b>   |                      |                               |                   |                              |                      |
| Puuainehävikki, %                                  | 4.4                  | 4.9                           | 4.9               | 4.0                          | 6.5                  |
| Selluhake, mk/m <sup>3</sup>                       | 270.87               | 248.67                        | 264.55            | 256.92                       | 267.98               |
| Energiahyvitys mk/hakekuutio                       | 17.27                | 19.09                         | 24.36             | 22.22                        | 26.28                |
| <b>Koivu, Pohjanmaa,<br/>minimilatvalpm 5 cm</b>   |                      |                               |                   |                              |                      |
| Puuainehävikki, %                                  | 5.9                  | 6.4                           | 6.4               | 4.9                          | 7.5                  |
| Selluhake, mk/m <sup>3</sup>                       | 303.46               | 271.16                        | 286.02            | 279.91                       | 289.16               |
| Energiahyvitys mk/hakekuutio                       | 19.09                | 21.11                         | 29.21             | 26.28                        | 30.81                |

Palsta- ja väliharastohaketukseen perustuvilla tuotantoketjuilla saatavaa kokopuuhaketta ei ole puhdistettu massahakemenetelmällä, eikä MOHA-hakkuriautoa ole kokeiltu ensiharvennuspuun haketuksessa. Chipset-palstahakkurin ensiharvennuspuusta tuottama palakokojakauma määritettiin, mutta jakaumasta oli pääteltävissä, että se poikkeaa selvästi selluhakkeen tavoitejakaumasta. Kyseistä hakkuria ei ole pyrittykään kehittämään selluhakkeen tuotantoa varten. MOHA:n hakkurin on valmistanut tunnettu teollisuushakkureiden valmistaja, joten voidaan odottaa, että sillä saataisiin hyvin selluhakkeen vaatimukset täyttävää haketta.

Yhtenä tavoitteena oli arvottaa eri menetelmillä tuotettu selluhake palakokojakauman mukaan. Tähän mennessä saatujen tulosten vähäisyyden, suuren vaihtelun ja eri tuotantovaihtoehtojen kattamattomuuden vuoksi siihen ei ole perusteita.

## 6.5 SELLUN TUOTANTOKUSTANNUKSET

Sellun hinta laskettiin KCL:ssa kehitetyllä laskentamallilla. Kyseistä mallia on käytetty aiemmissakin tarkasteluissa, mm. kuitupuun minimiläpimitan vaikutuksia selvittäessä. Sellunvalmistuksen aine- ja energiakustannusten ja -hyvitysten hinnat tarkistettiin ajankohdan kustannustasoon. Rumpukuorimon osalta tarkasteluun otettiin kaikki muut kustannukset kuin pääomakustannus. Sellutehtaan kannalta vertailutilanne on kuitenkin se, että vain pieni osa raaka-aineesta voisi siirtyä muille käsittelymenetelmille. Sellunvalmistustarkastelu voitiin tehdä vain männylle, koivulle ei nyt ollut laskentavalmiutta. Päätu-  
loket ovat seuraavat. Kuitupuuvaihtoehdot perustuvat rumpukuorimokäsittelyyn.

*Taulukko 3. Selluhakkeen tuotantokustannukset tavaralaji- ja osapuumenetelmissä ensiharvennuksissa, kun hyvitys energiajakeesta on 45 mk/MWh.*

|                                                                  | Mäntysellun suhteellinen tuotantokustannus |           |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|
|                                                                  | Etelä-Suomi                                | Pohjanmaa |
| Kuitupuu, minimilatvalpm. 7 cm                                   | 1.00                                       | 1.00      |
| Kuitupuu, minimilatvaplm. 5 cm                                   | 1.02                                       | 1.04      |
| Kuitupuu, joukkohakattu, 5 cm                                    | ..                                         | 1.04      |
| Osapuu, rumpukuorimo, 5 cm                                       | 0.94                                       | 0.87      |
| Osapuu, ketjukarsinta, 5 cm                                      | 1.02                                       | 0.94      |
| Ketjukarsinta erillinen energia-<br>jaehyvytys huomioon otettuna | 0.94                                       | 0.85      |

## 7 JATKOTOIMENPITEET

Tässä projektissa voitiin kokeilla keräilykaatoon perustuvaa kaatokasausta palstahakkuria varten sekä osapuun valmistusta välivarasto- ja tehdasprosessointia varten, sekä osapuukuorman tiivistystä liukupankkovarustuksella. Kokeet olivat yksittäisiä; niistä ei voida johtaa laajoja yleistyksiä mutta ne osoittivat kyseisten ratkaisujen hyvän toimivuuden ja sovellettavuuden integroituihin korjuuketjuihin. Näillä menetelmillä erilaisissa oloissa savutettavaa

tuottavuutta ja kustannuskilpailukykyä tulisi tutkia. Aiemmin puunkorjuussa oletettiin ns. yhdistelmäkoneilla saavutettavan kustannusetua perinteisiin korjuumenetelmiin nähden. Parhaillaan bioenergian tutkimusohjelman ulkopuolella on kehitetty ja kokeiltu eräitä yhdistelmäkoneita. Niitä on kehitetty karsitun kuitupuun valmistamiseksi ja ne perustuvat yksinpuinkäsittelyyn. Voidaan arvioida, että integroidussa korjuussa vain keräilykaatoon perustuvalla tekniikalla on edellytykset kilpailukykyiseen tulokseen.

Sekä massahakelaitoksella että ketjukarsintalaitoksella saavutettavat tulokset kaipaavat varmentamista käytännön kokein. Palsta- ja välivarastohaketus vaikuttavat puunhankinnan tietojen perusteella potentiaalisilta vaihtoehdoilta. Niihin perustuvia tuotantoketjuja mukaan lukien kokopuuhakkeen puhdistus pitäisi kokeilla käytännössä. Vasta kokeilujen jälkeen niiden kilpailukykyä ja kehittämismahdollisuuksia voidaan arvioida.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Loppuraportti valmistuu maaliskuussa 1997.

INTEGROIDUT MENETELMÄT  
PÄÄTEHAKKUUSSA



## PUUPOLTTOAINEEN LAADUNVALVONTA - 125

Juha Nurmi  
Metsäntutkimuslaitos  
Kannuksen tutkimusasema  
PL 44  
69100 Kannus

Puh. (06) 871 161  
Fax (06) 871 164  
juha.nurmi@metla.fi

### **Abstract: The fuel characteristics of logging residue and their response to storage**

Logging residue is one of the major biomass reserves of Finland available for energy production. Some 29 million m<sup>3</sup> of this residue material is left in the forest annually in conjunction with logging operations. The technically harvestable annual reserve is estimated to consist of 8.6 million m<sup>3</sup> biomass needles included, or 5.6 million m<sup>3</sup> needles excluded. The present technology is based on the mechanized harvesting of stemwood with single-grip harvesters, off-road transport of residue to road side with forwarders, chipping at the road side and truck transport of chips. The amount used at heating plants in 1995 was estimated to only 50 000 m<sup>3</sup> solid or less than 1 % of the harvestable reserve.

The aim of the Project 125 is to find out how the fuel characteristics and the elemental composition of logging residue change over time in different storage conditions. Based on the information from the first year experiments it can be concluded that the season of comminution is of importance. The enforced paper cover that was used to protect the residue from precipitation did not improve the fuel quality. In addition the release of elements from the needle was found to be very slow.

## 1 TAUSTA

Hakkuutähde on yksi suurimmista käyttämättömistä biomassareserveistämme. Ainespuun korjuun yhteydessä sitä jää metsiin vuosittain noin 29 Mm<sup>3</sup>. Hakkuutähteen hyödyntämistä harkittaessa on kuitenkin otettava huomioon sen korjuusta puun kasvulle ja ympäristölle aiheutuvat haitat. Onkin arvioitu, että metsämaan ravinnetalous, kantavuus, kivisyys sekä päätehakkuuleimikoitten pieni koko rajoittavat korjuukelpoisen neulasettoman hakkuutähteen määrän noin 8,6 Mm<sup>3</sup>:iin. Korjuu keskittyisi ainoastaan päätehakkuihin, sillä harvennushakkuissa jäljelle jäävän puuston kannalta on oleellista, että tähteitten sisältämät ravinteet palautuvat luonnon kiertoon. Hakkuutähteen korjuu harvennusmetsiköistä on myös oleellisesti kalliimpaa kuin päätehakkuualoilta. Hakkuutähteen korjuun mukanaan tuomana lisätuna on pidettävä maanmuokkauksen ja metsän uudistamisen helpottumista.

Biopolttoaineitten korjuun eräs vaikeimmista vaiheista on polttoaineen laadun hallinta. Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedämme, että haketetun, murskatun tai muilla keinoin pienitty biomassan pitkittynyt varastointi aiheuttaa huomattavia kuiva-ainetappioita, energiasisällön alenemista sekä terveysriskejä käyttäjien keskuudessa. Ankarasta ilmastosta johtuen välivarastojen käyttö on kuitenkin välttämätöntä polttoaineen jatkuvan saatavuuden turvaamiseksi. Vaikeutena onkin löytää oikeat polttoaineen korjuun ja käsittelyn ajankohdat.

## 2 TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena on hakkuutähteen polttoainekäytön kannattavuuden parantaminen tuottamalla tietoa Bioenergian tutkimusohjelmalle

- 1) hakkuutähteen polttoaineominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä ja
- 2) käsittelyvaihtoehtojen vaikutuksesta hakkuutähteestä saatavan polttopuun laatuun ja puuston kasvun kannalta tärkeiden ravinteiden vapautumisesta.

## 3 TOTEUTUS

Tutkimus on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä tutkitaan hakkuutähteen polttoaineominaisuuksia välivarastolla ja toisessa osassa vastaavia ominaisuuksia palstalla harvesterin tekemissä kasoissa. Välivarastotutkimuksessa

tarkasteltavina muuttujina ovat olleet varastointiaika ja varastojen kattaminen tai kattamatta jättäminen. Kate materiaalina käytettiin Wisapak Oy:n valmistamaa peitettä. Siinä on kaksi voimapaperia joiden välissä on piki ja lasikuitukudos kerros. Tutkimusaineiston muodosti avohakkuualoilla kerätty kuusen hakkuutähte. Tutkimuksessa käytettiin Mikkelin kaupungin hakkuutähteen korjuutyömailta. Varastot tehtiin syyskuussa 1995 palstalla muutaman viikon kasoissa olleista hakkuutähteistä. Varastokasoja tehtiin kaksitoista joista kaikista otettiin seuraaviin analyysiin tarvittavat näytteet: kosteus, tuhka, C, H, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, B, Al, Cu, Cd, Na ja Pb. Lisäksi määritetään neulasprosentti ja sadan neulasen suhteellinen massa. Varastot purettiin hakettamalla tähteet tammikuussa 1996, kesäkuussa 1996 ja tammikuussa 1997. Kunakin ajankohtana purettiin neljä varastokasaa, kaksi katettua ja kaksi kattamatonta. Kustakin otettiin haketuksen yhteydessä samat näytteet kuin tutkimusta perustettaessa.

Tämän osatutkimuksen osalta maastotyöt on saatettu loppuun. Kasoista otetut kosteus- ja alkuainenäytteiden käsittely on ollut käynnissä Metlan Kannuksen ja Parkanon tutkimusasemilla. Näytteistä on määritetty kosteus, tuhka, hiili ja vety pitoisuudet. Neulasista on määritetty N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn ja B. Lisäksi Al, Cu, Cd, Na ja Pb määritykset ovat kesken. Näytteet käsitellään talvella 1996 - 97.

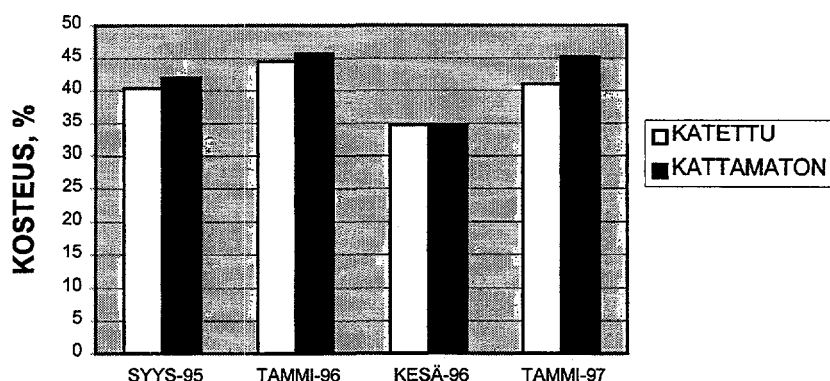
Toisessa osatutkimuksessa tutkittiin männyn ja kuusen hakkuutähteen palstavarastointia. Kaksi tutkimusaluetta perustettiin Laukaalle elokuussa 1996, jolloin hakkuutähteistä otettiin samat näytteet kuin välivarastotutkimuksessa. Toinen näytekerta otettiin helmikuussa 1997 ja kolmas otetaan keväällä 1997. Näytteiden analysointi on suoritettu kosteusnäytteiden osalta. Muut määritykset tehdään vuoden 1997 ensimmäisellä puoliskolla.

#### 4 RAHOITUS 1995

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Rahoittaja                  |            |
| Bioenergian tutkimusohjelma | 200 000 mk |
| Metsäntutkimuslaitos        | 460 000 mk |
| Yhteensä                    | 660 000 mk |

## 5 TULOKSET

Tuoreen hakkuutähteen kosteus vaihtelee vuodenajasta riippuen välillä 50 - 60 %. Hakkuutähteen kosteus oli varastojen tekoa edeltäneestä kuivumisesta johtuen hieman yli 40 %. Välivarastossa varastoidun hakkuutähteen kosteus vaihtelee vuodenajan mukaan. Hakkuutähde on kuivinta kesällä ja kosteinta talvella. Vuoden aikana tapahtuva kosteuden vaihtelu on noin 10 %-yksikköä. Katettujen ja kattamattomien kasojen ero pysyy lähes samana, eikä kattamisella näyttäisi olevan merkitystä. Tulos ei siis näyttäisi puoltavan välivarastoitujen hakkuutähdekasojen kattamista (Kuva 1). Tulee myös mainita, että kate kesti ehjänä koko varastointiajan.

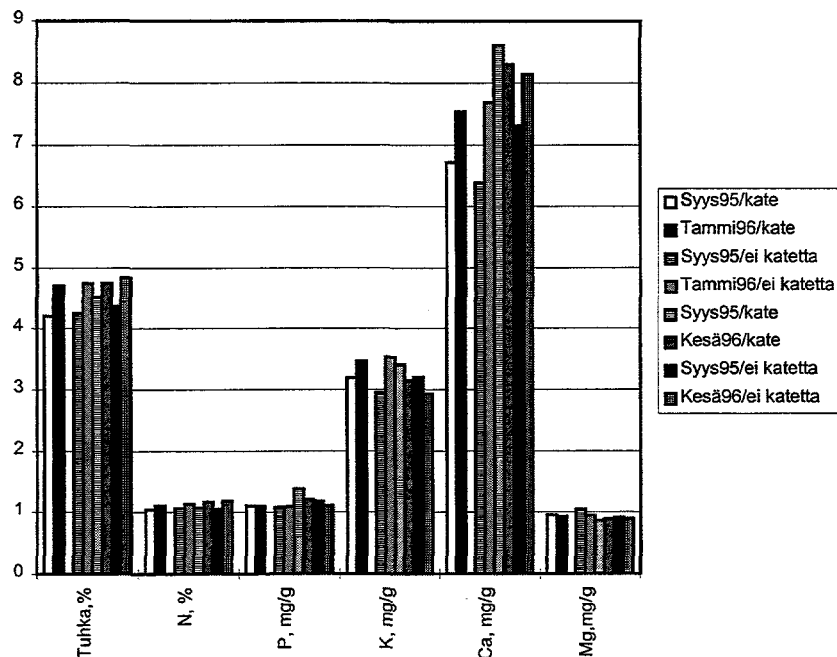


Kuva 1. Hakkuutähteen kosteus muuttuminen ajan suhteen katetuissa ja kattamattomissa kasoissa.

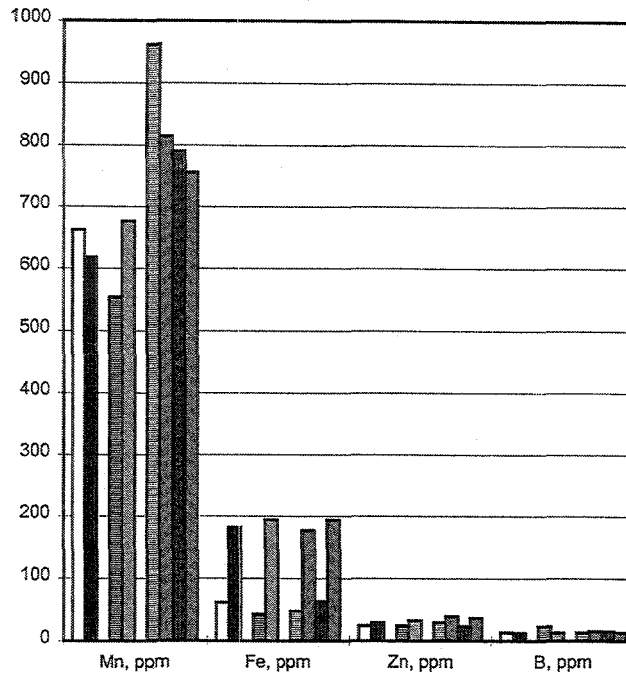
Tutkimuksessa tarkastellaan myös alkuaineitten (N,P,K,Ca,Mg,Mn,Fe,Zn,B, Al,Cu,Cd,Na,Pb) vapautumista hakkuutähteen neulasista. Aiempien tutkimusten perusteella tiedetään, että kalium ja mangaani ovat helposti neulasista vapautuvia alkuaineita. Lisäksi myös kalsium ja magnesium vapautuvat melko helposti. Tässä tutkimuksessa kerättyjen tietojen perusteella minkään näiden neljän alkuaineen vapautuminen välivarastokasoista ei ole ollut erityisen nopeata (Kuva 2). Kaliumin ja kalsiumin määrät aluksi jopa kohosivat. Mangaanin ja magnesiumin kohdalla neulasista vapautuminen näyttäisi olleen joh-

donmukaisempaa. Vastaavasti raudan, sinkin ja typen määrät ovat kohonneet. Huomattakoon myös tuhkan määrä pieni kohoaminen varastoinnin aikana.

Tutkimuksessa tähän mennessä saatujen tulosten perusteella voidaan olettaa, että ravinteiden vapautuminen välivarastolla on hidasta. Täten ei ole perusteltua olettaa huomattavien ravinnemäärien joutuvan pintavesiin varastoinnin seurauksena.



Kuva 2. Tuhka, typpi, fosfori, kalium, kalsium ja magnesiumin pitoisuudet hakkuutähteen neulasissa tutkimuksen alussa syyskuussa 1995, tammikuussa 1996 ja kesäkuussa 1996.



Kuva 3. Mangaani, rauta, sinkki ja boori pitoisuudet hakkuutähteen neulasissa tutkimuksen alussa syyskuussa 1995, tammikuussa 1996 ja kesäkuussa 1996.

Polttoaineen palamisessa syntyvä energia on peräisin hiilen ja vedyn palamisesta. Aiemmassa Metsäntutkimuslaitoksen Bioenergian tutkimusohjelmaan kuluneessa tutkimushankkeessa 114 havaittiin varastointiajan vaikuttavan merkitsevästi murskatun hakkuutähteen hiili- ja vetypitoisuuksiin. Nyt meillä olevassa tutkimuksessa vastaava muutos havaittiin hiilellä, mutta ei vedyllä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Hiilen ja vedyn määrät (% kuivapainosta) hakkuutähteestä eri aikoina kerätyissä näytteissä.

| Alkuaine | Ajankohta |           |          |
|----------|-----------|-----------|----------|
|          | syys -95  | tammi -96 | kesä -96 |
| Hiili    | 47,6      | 49,8      | 46,0     |
| Vety     | 5,9       | 6,0       | 5,7      |

Neulasten kuiva-ainetappioita seurattiin mittaamalla ns. sadan neulasen massaa. Tutkimuksen alussa luku oli 0.36g/ sata neulasta. Tammikuuhun 1997

mennessä luku oli laskenut 0.33 g:an. Kuudentoista kuukauden aikana kuiva-ainetappiot olivat olleet 8.3 %.

Kuiva-ainetappioiden lisäksi hakkuutähdemassaa menetetään kun neulasia karisee hakkuutähteen kuivumisen ja käsittelyn yhteydessä. Varastointipaikan valinta vaikuttaa oleellisesti, miten runsaasti neulasmassaa palstalta korjataan. Mikäli pyritään maksimaaliseen korjuukertymään tulee hakkuutähteet kerätä tuoreeltaan ja hakettaa välittömästi. Tällöin kuitenkin korjatusta ja poltetusta massasta puolet on vettä. Mikäli hakkuutähteet kerätään välivarastoon tai jätetään palstalle kuivumaan alenee korjuukertymä ensisijaisesti neulasten varisemisen johdosta. Tämä saattaa alentaa kertymää jopa 10 - 15 %. Palstalla varastoinnin etuna on kuitenkin pidettävä neulasten sisältämien ravinteiden palautumista luonnon kiertoon.

## 6 VUODEN 1997 TEHTÄVÄT

Laboratorionäytteiden käsittely molempien osatutkimusten osalta saatetaan loppuun kesäkuuhun 1997 mennessä. Aineiston laskennan jälkeen laaditaan "Hakkuutähteestä saatavan polttopuun laadunhallinta" -julkaisu joka julkaistaan Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjassa suunnitelman mukaisesti vuoden 1998 ensimmäisellä neljänneksellä.

## 7 HANKKEEN JULKAISUT VUONNA 1996

*Hakkila, P. & Nurmi, J.* Logging residue as a source of energy in Finland. IEA proceedings. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. Painossa.

*Nurmi, J.* The effects of storage on logging residue fuel quality. In: Hudson, J.B. & Kofman, P.D. (eds). Harvesting, storage and road transportation of logging residue. Proceedings of a workshop of IEA-BA-Task XII activity 1.2 held in October in Glasgow, Scotland - Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm, Denmark. pp. 41-49.

*Nurmi, J.* Hakkuutähteestä saatavan puupolttoaineen laatu ja sen hallinta. Perhon tutkimupäivä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611.

*Nurmi, J.* Hakkuutähteet polttoainelähteenä. Teho 4:10-11.

*Nurmi, J.* Hakkuutähteet energiaksi. Keskipohjanmaa 23.7. (Alio). Nurmi, J. Prochurement of forest residue for energy. IEA Harvesting News No. 2. pp. 4-6.

# TIIVISTÄMISPARAMETRIT JA -TEKNIIKAT PUU- POLTTOAINEIDEN METSÄ- JA KAUKOKULJETUK- SESSA - 127

Heikki Kaipainen  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (941) 672 611  
Fax (941) 672 597  
heikki.kaipainen@vtt.fi

**Abstract: Compaction parameters and technologies in forest- and long-distance transportation of wood fuels.**

The objective of the research is to increase the level of knowledge by the aid of systematic research on the timber and the compaction of the fragments of it for forest and lorry transportation. Theoretical information on the compaction phenomena, and the factors effecting on them, will be composed in the study, and the compaction techniques with different raw materials will be studied experimentally. The objective is to reduce the forest transportation costs by 10 % and those of lorry transportation by 15 - 20 % depending on the raw material to be transported.

The data obtained in the researches carried out both in Finland and abroad will be investigated in the project. The data consists also of the baling and bundling of felling residues and small-diameter wood.

A test equipment, by which the compaction parameters of first thinning pine and spruce felling residues will be determined under winter conditions, was constructed to serve the experimental part of the research. The compaction tests were started at the end of January 1997, so the results of the tests will be available for the final report of 1997 in March 1997.

# 1 TAUSTA

Tiivistämistutkimuksen taustalla on tarve parantaa eri muodoissa kuljetettavan puun kuormatiheyttä ja kuljetusten tuottavuutta. Sitä kautta mahdollistettaisiin alemmat kuljetuskustannukset ja laajemmat taloudellisesti kannattavat kuljetusalueet. Bioenergian tutkimusohjelman tähänastiset tulokset kannustavat konsepteihin, joissa erityisesti hakkuutähteet sekä osa- ja kokopuut kuljetetaan autoilla kokonaisina käsittelyterminaaleihin tai käyttöpaikoille. Maasamme on käytössä joitakin tiivistyslaitteilla varustettuja autoja. Laitteet eivät kuitenkaan ole yleistyneet, koska ne ovat raskaita ja kalliita. Lisäksi systemaattinen tutkimus tiivistysilmiöstä ja eri tiivistystekniikoiden toimivuudesta on ollut vähäistä ja alan tuotekehitys on puuttunut. Samoin metsäkuljetuksen kuormien tiivistämistutkimukset ovat olleet toistaiseksi suppeita.

Puun energiakäytön lisääntyminen, integroidut korjuumenetelmät sekä puunkäsittelyn siirtämistavoitteet tienvarsilta terminaaleihin edellyttävät uudenlaisia logistisia ratkaisuja puun hankintaan. Kuljetettavien materiaalien tiiviys vaikuttaa oleellisesti eri tuotantoketjujen tuottavuuksiin ja kuljetustalouteen. Materiaalien tiivistymisparametrien ja tekniikoiden hallinta on siten oleellinen avaintekijä arvioitaessa tulevaisuuden puunhankintakonseptien toimivuutta.

Osa- ja kokopuun sekä hakkuutähteen tiiviys (ilman tiivistämistä) vaihtelee 15 - 30 %:n välillä. Tämän vuoksi mm. autokaluston kantavuutta on vaikea hyödyntää. Erityisen huono tiiviys on hakkuutähteellä. Hyödyntämätöntä kuljetuskapasitettia voi olla yli puolet auton kantavuudesta. Kuljetusten tuottavuus on siten pieni ja taloudellinen kuljetusetäisyys jää hyvin lyhyeksi. Myös metsäkuljetuksen kannattavuus on ratkaisevasti riippuvainen kuormien koosta ja niiden kuljetustiheydestä.

Suomessa ei ole tehty hakkuutähdekuormien mekaaniseen tiivistämiseen tähtäävää systemaattista tutkimusta. Osa- ja kokopuiden autokuljetusta on kehitetty lähinnä Ruotsissa suoritettujen kenttäkokeiden perusteella 1980-luvulla. Uudet tekniset mahdollisuudet ovat hyväksikäyttämättä. Samoin on selvittämättä, minkä muotoiset kuljetustilat olisivat optimaaliset kuormakoon suurentamiseksi, miten uudet EU:n kuljetuskaluston enimmäismittoja koskevat direktiivit tulisivat vaikuttamaan kuljetustalouteen ja kalustoon, voidaanko metsäkuljetuksessa lisätä edullisesti kuormakokoja ja/tai kuormien kuljetustiheyttä erilaisin vakiotekniikoin ja voitaisiinko kuljetuksissa soveltaa aivan uudenlaisia tiivistystekniikoita. Kuitenkin kotimaisilla laitevalmistajilla olisi edellytykset rakentaa kilpailukykyistä kuljetuskalustoa tarvittavine kuormatilainnovaatioineen ja tiivistämislaitteineen.

Tämä tutkimushanke pyrkii täyttämään tiivistämistietopuutteen sekä empiirisen tutkimus- ja kokeilutoiminnan kautta että läheisen yhteistyön avulla alan tutkimuslaitoksiin ja laitevalmistajiin. Täten mahdollistetaan ajanmukaisen tiedon saanti tiivistymisparametreista ja niiden riippuvuuskorrelaatioista ja mahdollistetaan siten uusien tiivistämislaiteratkaisujen kehittäminen.

## 2 TAVOITE

Tutkimushankkeen kokonaistavoitteena on nostaa systemaattisen tutkimuksen avulla tiedon tasoa puun ja sen osien tiivistymisestä metsä- ja autokuljetusratkaisuja varten. Hanke koostaa sekä teoreettisen tietopohjan tiivistymisilmiöstä ja siihen vaikuttavista tekijöistä että tutkii kokeellisesti tiivistämistekniikoita eri raaka-aineilla. Tavoitteena on mahdollistaa metsäkuljetuksen kustannusten pienentäminen 10 % ja autokuljetuksen kustannusten pienentäminen 15 -20 % kuljetettavasta raaka-aineesta riippuen.

## 3 TOTEUTUS

Projekti toteutetaan VTT Energian tutkimusyksikön Puubiomassan tuotantoryhmän koordinoimana.

## 4 TEHTÄVÄT

Projektin osatehtävät ovat:

1. Koostaa puukuorman tiivistämistä koskeva kansainvälinen tutkimustieto ja tiedot mahdollisista niihin liittyvistä tekniikoista. Koostaa tiivistämisen ohella tietoa puiden paalaamis- ja niputustekniikoista.
2. Suunnitella ja rakentaa tiivistämisen koelaitteisto, jolla voidaan systemaattisesti ja hallituissa ja halutuissa olosuhteissa tutkia eri materiaalien tiivistymistä ja tiivistymiseen vaikuttavia tekijöitä.
3. Selvittää hakkuutähteen, ensiharvennusosapuun tiivistymisominaisuudet talviolosuhteissa.
4. Raportointi.

## 5 RAHOITUS

| Rahoittaja                  | 1996       |
|-----------------------------|------------|
| Bioenergian tutkimusohjelma | 315 000 mk |
| Teollisuus                  | 50 000 mk  |
| VTT Energia                 | 80 000 mk  |
| Yhteensä                    | 445 000 mk |

## 6 TULOKSET

### 6.1 KIRJALLISUUSSELVITYS

Metsäkuljetuskuormien tiivistämistä on tutkittu hyvin vähän. Ruotsissa kehitetyllä kuorman tiivistyslaitteella lisättiin osapuukuorman painoa parhaimmillaan noin 60 %. Kuivilla hakkuutähteillä vastaava lisäys oli noin 80 %. Suomessa on hakkuutähteitä tiivistetty kuljettamalla samassa kuormassa tukkeja. Tutkimuksen mukaan tällainen metsäkuljetustapa ei ollut kannattava.

Kaukokuljetuksen osalta löytyy enemmän kokeiluja, joilla on saavutettu rohkaiseviakin tuloksia. Tiivistyskokeita on tehty monenlaisilla laitteilla enimmäkseen osapuu- ja hakkuutähdekuormilla. Tiivistämiskokeissa on osapuukuormien tiivistymisaste (= kuljetustiheyden lisäys tiivistämättömään kuljetustiheyteen nähden) ollut menetelmästä ja puulaadusta riippuen 20 - 43 %. Useimmissa tapauksissa on ajoneuvoyhdistelmien kantavuus jäänyt vajaaksi. Tanskalaiset tekivät kokopuun tiivistämistä varten laitteen, jolla he lisäsivät kuorman (latvat mukana) kuljetustiheyttä 165 kg:sta/i-m<sup>3</sup> 258 kg:aan/i-m<sup>3</sup> eli lisäystä tuli noin 56 %. Kun kuorma tehtiin katkaisemalla puiden latvat (puiden pituus 7 m) pois, nousi kuorman kuljetustiheys 190 kg:sta/i-m<sup>3</sup> 296 kg:aan/i-m<sup>3</sup> eli lisäys oli sama kuin edelläkin, 56 %.

Hakkuutähteiden tiivistämistä ajoneuvon kuormatiloissa on myös tehty monenlaisin keinoin, mutta yleisesti tulokset ovat olleet kovin vaatimattomia eikä kantavuutta ole saavutettu. Maininnan arvoinen tutkimus oli ruotsalaisten tutkimus tiivistää hakkuutähde kuormatilassa kuormaimella. Kokeet tehtiin ajoneuvon omalla ja erillisellä kuormaimella. Omalla kuormaimella pystyttiin lisäämään kuormamassaa 28 prosentilla ja erillisellä nosturilla, jolla tiivistäminen kaksitoimisen hydraulisylinterin avulla oli tehokkaampaa, 27 - 38 prosentilla.

Pienpuun ja hakkuutähteiden niputtaminen tai paalaaminen on ollut myös tutkimusten kohteina. Niputuskokeita on tehty paljon Ruotsissa, mutta vasta VTT Energian laboratoriokokeissa saavutettiin kannattavan kuljetuksen kannalta tarpeeksi tiivis hakkuutähdenippu (kiintotilavuus-% n. 55 %). Nipun valmistuskustannuksia ei ole määritetty. Hakkuutähteen paalaamisessa ollaan Ruotsissa kaikkein pisimmällä, sillä siellä on rakennettu kaupallinen, metsätraktorin rungolla oleva pyöröpaalain.

## 6.2 TIIVISTÄMISKOKEET

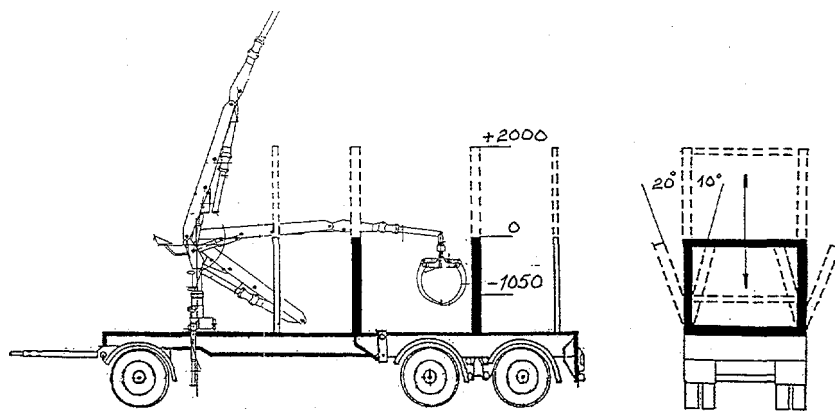
Projektin tutkimuksellista osaa palvelemaan rakennettiin tiivistämisen koelaitteisto, jolla pystytään tiivistämään hakkuutähteiden lisäksi osa- ja kokopuuta. Tiivistämiskokeet olivat tätä kirjoitettaessa kesken, joten tulosten raportointi ei kerennyt tähän yhteyteen. Seuraavassa kuvataan kuitenkin koelaitteisto, jolla tehtävistä pyritään suoriutumaan.

### 6.2.1 Koelaitteisto

VTT Energia rakennutti tiivistämisilmiöiden tutkimista varten koelaitteiston, joka koostui kolmiakselisesta puunkuljetusperävaunusta ja puristuspankoista (kuva 1). Perävaunu voidaan asentaa kolmeen eri pituuteen ja pankot kuten myös puristussyksikötkin ovat liikuteltavissa ja irrotettavissa, joten niiden etäisyydet toisistaan on helposti muutettavissa. Kuormain voidaan asentaa kärryn etupäähän rakennettuun petiin ja se saa voimansa, kuten puristuspankotkin, joko omasta kärryyn asennetusta sähköllä toimivasta hydraulikoneikosta tai vetoauton hydraulikasta.

Tiivistämislaitteiston puristussyksikkö koostuu ns. puristuspankoista (4 kpl), joiden sisään on asennettu 15 tonnin puristusvoimaan yltävät hydraulisyylinterit. Sylinterien iskunpituudet ovat 2 m, ja ne on asennettu siten, että puristettavan kuorman korkeus voi olla 4,5 m. Puristettavaa ”ylikuormaa” on näin 2,0 m ja yläpankon asemaa vaihtamalla voidaan puristusta jatkaa kuormatilan sisään 1,2 metrin korkeuteen saakka. Hydraulisyylinterien tiivistysvoimat ja mäntien kulkemat matkat rekisteröityvät tietokoneelle tulosten analysointia varten.

Puristuslaitteen karikat voidaan levittää 20 asteen kulmiin ja kääntää 10 astetta kuormatilan sisään kuvan 1 tavoin. Myös nämä tiivistysliikkeet tapahtuvat hydraulisesti, joten voimat voidaan rekisteröidä tietokoneelle.



Kuva 1. Tiivistämisen koelaitteisto.

### 6.2.2 Hakkuutähteiden tiivistäminen

Hakkuutähteillä tehtiin tiivistämiskoe, joka osoitti, että laitteeseen on hakkuutähteiden tiivistämistä varten rakennettava tiivistämistä parantava ristikko, sillä hakkuutähteet puristuivat kasaan vain puristuspankkojen kohdalta. Kokeita jatketaan heti lisälaitteen valmistuttua.

### 6.2.3 Ensiharvennusmännyn tiivistäminen

Ensiharvennusmännyn talviolosuhtekokeet ovat parhaillaan menossa, joten niidenkin osalta tulokset ovat myöhemmin saatavissa.

## 7 JATKOSUUNNITELMAT

Projektille on haettu jatkoa, jossa vuoden 1997 aikana on tarkoitus suorittaa tiivistämiskokeita niin kesä- kuin talviolosuhteissakin. Tiivistämismateriaaleina ovat uudistushakkuun kuusihakkuutähteet ja ensiharvennusmänty, -kuusi sekä -koivu.

## 8 RAPORTIT

Kaipainen, H., Rinne, S. & Seppänen, V. 1995. Hakkuutähteiden ja kokopuiden niputus ja nippujen käsittely. Jyväskylä: Bioenergian tutkimusohjelman projekti 115. VTT Energia. Jyväskylä 1995. 46 s. + liitt. 7 s.

# OKSIEN OHJAIMILLA VARUSTETTU HARVESTERI - Y116

Pekka Laurila  
Biowatti Oy  
PL 70  
02020 Metsä

Samuli Rinne  
YTY-Konsultointi  
Polttolinja 19 D 29  
40520 Jyväskylä

Puh. (09) 469 41  
Fax (09) 4694 298

(0400) 543 835  
(0403) 543 835

## **Abstract: The harvester with guiding device for branches**

The collection of logging residue is slow and difficult since the orientation of branches is poor. To ease the handling, branches are orientated in-line with each other and tops with guiding devices attached to the harvester head of single-grip harvester. In trials quite satisfactory results have been achieved. Orientation of branches is good enough and in later trial runs we will make the guiding device mechanically stronger. In off-road transport no advantage of using guiding device was noticed. However, if the methods of loading are changed, the result might be better. In future we will also test the effect of guiding-device-made felling to the productivity of Chipset-terrain-chipper.

## 1 TAUSTA

Hakkuutähteiden käsittelyn helpottamiseksi on tässä hankkeessa kokeiltu yksiottehakkuulaitteen eteen asetettuja oksien ohjaimia. Ohjaimia käytettäessä tähteet voidaan Bränsle-menetelmällä kasoiksi ajouran sivuun. Ohjaimille on pyritty hakemaan sellaista muotoa ja toteutusta, että oksat saadaan latvan kanssa yhdensuuntaisiksi ainespuun hakkuun hidastumatta.

## 2 TAVOITE

Hankkeen tavoite on kehittää toimintavarma oksien ohjain yhdelle hakkuulaitteelle kuusikon päätehakkuissa käytettäväksi.

### 3 TOTEUTUS

Hanke toteutetaan yhteistyössä Biowatti Oy:n urakoitsijoiden ja Mikkelin Koulutusyhtymän kanssa. Vastuullinen johtaja on Pekka Laurila Biowatti Oy:stä ja tutkija Samuli Rinne YTY-Konsultoinnista. Lisäksi ohjaimien suunnittelussa ja valmistuksessa on mukana Outokummun Metalli Oy.

### 4 TEHTÄVÄT

Hankkeen tehtävät ovat seuraavat:

1. Sellaisen muodon ja toteutuksen löytäminen ohjaimille, että ohjaimet eivät haittaa ainespuun valmistusta, kestävät kaikilla puilla ja puulajeilla, tekevät riittävän hyviä kasoja ja ovat helposti irrotettavissa ja kiinnitettävissä.
2. Ohjaimien koeajot 8-16 ha:n alueella kuusikon päätehakuissa.
3. Lähikuljetuskokeet aikatutkimuksineen.
4. Haketuskokeet hakeharvesterilla aikatutkimuksineen.
5. Loppuraportointi kustannuslaskelmineen.

### 5 RAHOITUS

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| Rahoittaja                    |            |
| Biowatti Oy ja muut yritykset | 230 000 mk |
| TEKES                         | 150 000 mk |
| Yhteensä                      | 380 000 mk |

### 6 TULOKSET

#### 6.1 OHJAIMIEN ESIKOKKEET

Ensimmäiset kokeet tehtiin kiinteillä teräsohjaimilla. Hakkuulaite oli Timberjack 755 B. Aivan alussa ohjaimet olivat karsintateristä voimansa saavalla mekanismilla avattavissa ja suljettavissa, mutta tämä järjestely todettiin pian

tarpeettomaksi. Kohtuullisen hyviä ohjaustuloksia saavutettiin, mutta ohjaimet vääntyivät maakosketuksissa ja hakkuulaitetta rungolle asetettaessa ja tämä aiheutti hakkuun hidastumista. Ohjainta jouduttiin varomaan hakattaessa. Asiaa auttoi muutamien ohjaimien teräksisten osien korvaaminen kumiletkuilla. Ongelmia oli myös ohjaimen mitoituksessa: liian ahtaan kidan vuoksi ohjain jarrutti syöttöä niin paljon, että syöttörullien teho ei riittänyt. Periaate kuitenkin todettiin toimivaksi.

## 6.2 KOKEET VARSINAISELLA PROTOTYYPILLÄ

Esikokeista saadun kokemuksen perusteella suunniteltiin ja valmistettiin laajempiin koeajoihin tarkoitettu malli. Rakenne oli kokonaan teräksinen, mutta jousitettu. Hakkuulaite oli jälleen Timberjack 755 B. Koeleimikko oli noin kahden hehtaarin suuruinen.

Prototyypin aikaansaama oksien suuntautuminen oli mallikasta. Kuva 1. esittää yhtä ohjaimella aikaansaatua kasaa. Vertailukelpoisia tuotosarvoja ei tässä kokeessa mitattu, mutta ilman ohjainta tehotuntituotos oli järeässä kuusikossa muutaman tunnin koejaksolla  $36 \text{ m}^3/\text{h}$  ja ohjaimen kanssa paineiden säädön jälkeen  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ . Keskimääräinen runkokoko oli 700 litraa. Hakkuun nopeutuminen liene ohjaimen ansiota, sillä ilman ohjainta puitaessa olivat hakkuulaitteen hydrauliiikan säädöt pielessä ja tämä huononsi tulosta. Vika korjattiin, kun ensimmäiset puut ohjaimella oli puitu.

Ohjaimella puiduista ainespuista otettiin kalibrointimittaus. Mittalaitteen tarkkuuden havaittiin olevan tavallista luokkaa, joten ohjain ei huonontanut mitaustarkkuutta. Huononemista epäiltiin voivan tapahtua oksien mahdollisesti kiilautuessa karsintaterien ja rungon väliin.

Ohjaimen kestävyys ei tässä kokeessa ollut vielä riittävä, vaan korjausta jouduttiin tekemään muutaman kerran. Edellisistä malleista oli tässäkin suhteessa kuitenkin tapahtunut huomattavaa parannusta oikeaan suuntaan.



*Kuva 1. Oksien ohjaimella puituja hakkuutähteitä.*

### 6.3 METSÄKULJETUSKOKEET

Edellä mainitussa kokeessa puidut hakkutähteet ajettiin kuormatraktorilla tienvarteen. Ajokone oli Timberjack 1010, jonka kuormatilaa oli jatkettu puoli metriä ja koura vaihdettu piikkimalliseen. Muutoin kuormatraktori oli vakiovarustein. Kuljettaja oli rutinoitunut hakkuutähteiden ajoon.

Metsäkuljetuskokeen perusteella ohjaimen käytöstä ei ollut hyötyä jos kohta ei haittaakaan tuottavuudessa. Keskimääräinen kuormakoko oli  $4,85 \text{ m}^3$  ja tehotuntituotos 150 metrin ajomatkalla  $13,7 \text{ m}^3/\text{h}$ . Tämä on kyseisellä kalustolla ja kuljettajalla tavanomaista tasoa.

## 7 JATKOSUUNNITELMAT

Prototyypin koeajosta saatujen kokemusten perusteella on valmistumassa uusi, parannettu ohjainmalli. Myös hiukan toisella periaatteella toimiva malli vanhoja kokemuksia hyödyntäen on rakennettu. Näiden koeajoja jatketaan ja tarvittavia parannuksia tehdään, kunnes ohjaimen toiminta on luotettavaa.

Myös metsäkuljetuskokeita jatketaan. Nollatuloksesta tähän mennessä huolimatta nähdään oksien ohjaus - menetelmällä olevan potentiaalia metsäkuljetuksen jouduttajana. Parannusta haetaan eri kuormausmenetelmiä kokeilemalla.

Kokonaan kokeilematon vaihe hankkeessa on vielä haketuskoesarja Chipset-hakeharvesterilla.

## 8 HANKKEEN RAPORTIT JA JULKAISUT

Hankkeesta on laadittu väliraportteja tutkimusohjelman sisäiseen käyttöön.



## HAKKURIN SYÖTÖN KEHITTÄMINEN ENERGIA- PUULLE - 123

Tatu Leinonen  
Oulun Yliopisto  
Konetekniikan osasto

Jukka-Pekka Kemppainen  
Oulun Yliopisto  
Konetekniikan osasto

Puh. (08) 553 2050  
Fax (08) 553 2026  
tatu.leinonen@oulu.fi

(08) 553 2056  
(08) 553 2026  
jpk@laakeri.oulu.fi

### **Abstract: Development of a feeder device for logging residue for a drum chipper**

The aim of this project is to increase the productivity of a large drum chipper by developing a feeder device to be used especially when chipping logging residue. Logging residue from regeneration areas is the most important reserve of forest biomass for the production of renewable energy in Finland. It is possible ecologically and economically to use about 5 million m<sup>3</sup> of logging residue yearly for energy purposes.

Currently both large lorry based chippers and smaller forwarder based chippers are used for chipping logging residue. However even the latest versions of these chippers are not well equipped for chipping logging residue. The ball like shape of residue piles causes blockades, if too large amounts of residue are fed into the chipper. Keeping the material flow even is difficult.

In this project a prototype of a feeder device will be designed and manufactured to exactly find out the problems, that occur when feeding logging residue to a chipper. The designed prototype is based on a tubular chassis, which supports a conveyor made of steel plates. Prototype also has a 2,5 m wide feeding table and a feeder roll, which is located above the conveyor just before the chipper opening. Both the conveyor and the feeder roll are powered by hydraulic motors. The maximum feeding force is 20 kN. For research purposes both hydraulic pressure and flow can be adjusted individually for both motors.

During 1996 activities included designing and building the prototype feeder device. In 1997 the prototype will be tested to find out possible problems, which need to be cured. After problems are solved and other improvements are made, the feeder device will be installed to an existing chipper and then tested again to determine the productivity of the new feeder device compared to the old unit.

## 1 LÄHTÖKOHTA

Tällä hetkellä tärkein ja taloudellisimmin käyttöön otettava energiapuureservi muodostuu kuusikoiden uudishakkuissa hakkuualalle jäävistä hakkuutähteistä. Hakkuutähteen määrä tyypillisimmillään on 120 - 150 kiintokuutiometriä hehtaarilla. Taloudelliset ja ekologiset seikat huomioon ottaen hakkuutähdettä arvioidaan olevan saatavilla energiakäyttöön vuosittain noin 5 miljoonaa kuutiometriä.

Hakkuutähdihakkeen hankinnassa on käytetty sekä haketukseen että murskaukseen perustuvia hankintaketjuja. Haketus tai murskaus voidaan tehdä joko palstalla, välivarastolla, haketerminaalissa tai käyttöpaikalla. *Palstahaketus* tapahtuu hakkuriyksikön säiliöön tai perävaunuun, josta hake kipataan tienvarressa oleviin vaihtolavoihin. *Välivarastohaketusta* käytettäessä hakkuutähteet kuljetetaan metsätraktorilla kasoihin autotien varteen, jossa ne haketetaan joko suoraan odottavan auton kuormatilaan tai vaihtoperävaunuihin. *Terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksessa* hakkuutähteet kuljetetaan metsätraktorilla välivarastoalueelle, josta ne kuljetetaan sellaisinaan haketusterminaliin tai käyttöpaikalle. Hakkuutähteet haketetaan joko liikkuvalla varastohakkurilla tai kiinteällä tehdashakkurilla.

Hakkuutähteen välivarastohaketuksessa hakkurille asetettavia vaatimuksia ovat suuri teho, pakkosyöttö, tukkeutumattomuus, syöttölaitteiston soveltuvuus lyhyiden pallomaisten hakkuutähdetaakkojen tehokkaaseen syöttämiseen ja kohtuullinen epäpuhtauksien sieto. Kokopuun haketuksessa tehokkaiksi osoittautuneet laikkahakkurit soveltuvat huonosti hakkuutähteen haketukseen kapean syöttöaukkonsa ja herkün terärakenteensa johdosta. Rumpuhakkurin pääongelma on terien tylsyminen hakkuutähteen joukossa olevien kivien ja muiden epäpuhtauksien vuoksi. Etuina ovat taas hakkeen tasakokoinen laatu ja palakoon säädeltävyys.

Bioenergia-ohjelmassa on kehitetty Oy Logset Ab:n toimesta harvennushakkuisiin soveltuvaa Chipset-harvesteria. Muita hakkuutähteelle soveltuvia hak-

kureita ovat Ahlströmin rumpuhakkurit ja Metsäenergia KY:n MOHA-monitoimihakkuri. Pekka Lahden rakentamassa metsätraktorihakkurissa on käytetty Ahlströmin TT 97 RM-hakkuria ja kuorma-autoalustaisessa hakkurissa Ahlströmin TT 910 R-hakkuria. Metsäenergia Ky:n kehittämä monitoimihakkuriauto toimii sekä haketus- että kuljetusyksikkönä. Se pystyy hakettamaan suoraan palstalta.

Chipset-harvesterilla kuusivaltaisissa uudishakkuissa ainespuun ja hakkuun yhteydessä kasattujen hakkuutähteiden haketuksen ja metsäkuljetuksen käyttötuntituotos jäi tehdyissä kokeissa alhaiseksi. 200 metrin metsäkuljetusmatkalla tuotos oli 10,8 - 11,4 i-m<sup>3</sup>. Pieni tuotos johtui pääosin syöttölaitteen huonosta sopivuudesta hakkuutähteen käsittelyyn. Hakkurin tehollinen haketus-aika jäi hyvin alhaiseksi noin 25 - 40 %:iin prosessointiajasta, kun vastaava osuus kokopuita hakettaessa oli 64 %. Ahlströmin R97 -hakkurilla teho-tuntituotos oli 34 i-m<sup>3</sup> ja TT 910 R-hakkurilla 65 i-m<sup>3</sup> ja MOHA-hakkurilla 29 i-m<sup>3</sup>. MOHA-hakkurin käyttötuntituotos 23 i-m<sup>3</sup>.

Haketuksen käyttötuntituottavuutta voidaan parantaa kehittämällä hakkurin syöttölaitetta hakkuutähteiden syöttöön paremmin soveltuvaksi. Mikäli hakeharvesterin syöttölaite saataisiin toimimaan optimaalisesti, nousisi hakkurin käyttötuntituotos kaksinkertaiseksi.

Ruotsalaisen tutkimukseen mukaan hakkuutähdehakkeen välivarastohaketuksen perustuvassa korjuuketjussa kokonaiskustannukset käyttöpaikalla haketuksen osuus on 23 mk/m<sup>3</sup> eli 34 %. Näin haketuksen osuus on merkittävä korjuuketjussa, jota kehittämällä voidaan merkittävästi hakkuutähteen korjuukustannuksia alentaa.

## 2 TAVOITE

### 2.1 KOKONAISTAVOITE

Kaksivuotisen (1996 - 1997) projektin tavoitteena on tutkia ja kehittää hakkuutähteen syöttötekniikkaa rumpuhakkuriin, millä parannetaan hakkuutähdehakkeen hakkurin tuntituotos kaksinkertaiseksi.

### 2.2 VUOSITAVOITTEET

Vuoden 1996 tavoitteena on suunnitella ja rakentaa koelaitte hakkuutähdehakkeen syöttöön hakkurille ja käynnistää koetoiminta koelaitteella. Vuonna 1997

jatketaan laboratoriokokeita ja asennetaan syöttölaitteisto olemassa olevaan rumpuhakkuriin, jolla tehdään kokeet käytännössä.

### 3 TOIMENPITEET

Tutkimus jakaantuu seuraaviin tehtäviin:

|                                                           |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| Tehtävä 1. Syöttökoelaitteen suunnittelu ja rakentaminen  | 1996         |
| Tehtävä 2. Koetoiminta syöttökoelaitteella laboratoriossa | 1996 ja 1997 |
| Tehtävä 3. Koetoiminta käytännössä                        | 1997         |
| Tehtävä 4. Tulosten analysointi ja raportointi            | 1996 ja 1997 |

Syöttökoelaitteen suunnittelu ja rakentaminen-tehtävässä suunnitellaan ja rakennetaan syöttökoelaitteisto. Syöttölaitteisto suunnitellaan soveltuvaksi olemassa olevaan hakkuriin.

Koetoiminta koelaitteella laboratoriossa-tehtävässä syöttökoelaitteisto saateetaan aluksi toimintakuntoon. Tämän jälkeen tutkimuksessa tutkitaan eri tavalla aseteltujen, käsiteltyjen ja tiivistettyjen hakkuutähteiden ja syöttöaukon koon vaikutusta syöttölaitteen tuntituotokseen.

Koetoiminta käytännössä-tehtävässä syöttölaitteisto asennetaan olemassa olevaan rumpuhakkuriin. Hakkurilla tehdään koeajot kuten laboratoriotutkimuksessa. Lisäksi uudella syöttölaitteella varustetun hakkurin tuotosta verrataan vanhalla syöttölaitteella varustettuun hakkuriin.

Tulosten analysointi ja raportointi-tehtävässä tehdään osaraportit vuosittain ja loppuraportti vuoden 1997 loppuun mennessä.

### 4 AIKATAULU

Tutkimuksen kokonaisaikataulu on 15.5.1995 - 31.12.1997.

### 5 TOTEUTUS

Tutkimus tehdään Oulun yliopiston konetekniikan osaston ja VTT Energian yhteistyönä. Projektin vastuullisena johtajana toimii prof. Tatu Leinonen Ou-

lun yliopistosta ja projektipäällikkönä dosentti Arvo Leinonen VTT Energias-  
ta. Projektiryhmään kuuluu Oulun Yliopistosta lisäksi tutkija Jukka-Pekka  
Kemppainen.

## 6 RAHOITUS 1996

| Rahoittaja                  | 1996       |
|-----------------------------|------------|
| Bioenergian tutkimusohjelma | 89 000 mk  |
| Oulun yliopisto             | 31 000 mk  |
| Yhteensä                    | 120 000 mk |

## 7 TULOKSET

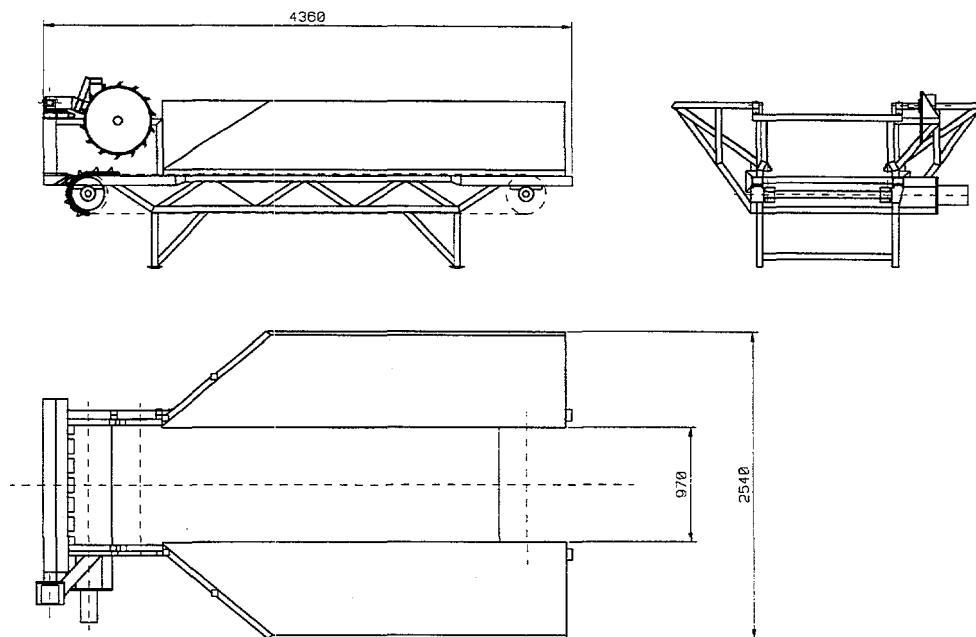
### 7.1 KOELAITTEEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Vuoden 1996 aikana suunniteltiin koelaite, jolla voidaan kokeilla hakkuutäh-  
teen hakkuriin syöttämistä. Koska koelaite on vuoden 1997 aikana tarkoitus  
asentaa olemassaolevaan rumpuhakkuriin, jonka mallista ei ollut vielä täyttä  
varmuutta, suunniteltiin syöttölaite siten, että se on mahdollista sovittaa u-  
seamman malliseen hakkuriin.

Syöttölaitteen suunnittelu aloitettiin tutustumalla olemassaoleviin ratkaisuihin  
ja haastatteleamalla hakkurien käyttäjiä ja valmistajia. Näin pystyttiin selvittä-  
mään syöttölaitteen toimintaan eniten vaikuttavat tekijät ja samalla saatiin  
ideoita ongelmakohtien ratkaisemiseksi.

Syöttölaitteen perustan muodostaa putkipalkeista koottu keskirunko ja hyd-  
raulimoottorin käyttämä lamellikuljetin, jonka pituus on 3650 mm. Lamelli-  
kuljettimen lisäksi syötöstä huolehtii hydraulimoottorin käyttämä yläsyöttö-  
rulla. Keskirunkoon kiinnittyy myös putkirunkoinen syöttöpöytä, jonka le-  
veys on n. 2 500 mm.

Syöttölaitteen hydraulikassa on mahdollista säätää sekä painetasoa että vir-  
tausta, jolloin voidaan tutkia syöttönopeuden ja kuljettimien vetovoiman vai-  
kutusta syöttöön.



Kuva 1. Hakkurin syöttölaite.

## 7.2 HAKKUUTÄHTTEEN SYÖTTÖKOKKEET

Koska syöttölaitteen rakentamiseen kului huomattavasti oletettua pidempi aika ja lisäksi muutamien hydraulikomponenttien toimitusajat venyivät, ei vuoden 1996 aikana ehditty aloittamaan syöttölaitteen koeajoja.

## 8 JATKOTOIMENPITEET

Vuoden 1997 aikana syöttölaitteella ajetaan koeajot erilaisilla hakkuutähteillä ja erilaisilla syötön arvoilla. Koeajojen perusteella määritetään parannus- ja muutoskohteet ja tehdään tarvittavat muutokset. Tämän jälkeen syöttölaite asennetaan jonkin olemassaolevan rumpuhakkurin eteen ja suoritetaan koeajot käytännössä, jolloin selviää syöttölaitteen toimivuus ja yhdistelmän tuotos todellisissa olosuhteissa.

# CHIPSET-HAKEHARVESTERIN DEMONSTROINTI - D109

Pekka Laurila  
Biowatti Oy  
PL 170  
02020 METSÄ

Tero Vesisenaho  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 JYVÄSKYLÄ

Puh. (09) 469 4210  
Fax (09) 469 4298

Puh. (014) 672 558  
Fax (014) 672 799  
tero.vesisenaho@vtt.fi

## **Abstract: Demonstration of Chipset-chipharvester**

The aim of this project is to find out the productivity and suitability of a new type of a terrain chipper in Finnish conditions. This Chipset 536 C -terrain chipper has been manufactured by Logset Ltd. It is assumed that this Chipset-chipharvester is able to produce fuel chips cheaper than previous terrain chippers and is also more reliable and effective. In this project the fuel chip quality and productivity of Chipset are found out. The project started in March 1996 and will end in April 1997.

According to the follow-up study the mechanical availability of the terrain chipper has been 73 % during a period of 9 months. The average productivity has been 15,6 m<sup>3</sup> (loose) per gross effective hour. The chipped material has been mainly logging residues.

## 1 SELVITYKSEN TAUSTA

Chipset 536 C -hakeharvesteri on Oy Logset Ab:n Bioenergian tutkimusohjelmassa kehittämä uuden sukupolven palstahakkuri. Tehdyissä aika- ja tuotostutkimuksissa se on osoittautunut kilpailukykyiseksi aiempiin polttohakkeen tuotantomenetelmiin verrattuna. Biowatti Oy:n hankittua vuoden 1995 lopulla ensimmäisenä Suomessa käyttöön hakeharvesterin tarjoutui mahdollisuus selvittää hakeharvesterin työn tuottavuus ja soveltuvuus ympäristöön työskentelyyn suomalaisissa oloissa.

## 2 SELVITYKSEN TAVOITE

Projektin tavoitteena on hakeharvesterin tuottavuuden ja siihen vaikuttavien tekijöiden analysointi ja dokumentointi. Selvitys sisältää polttohakkeen määrän ja laadun seurannan, tuottavuuden ja logistisen järjestelmän seurantatutkimuksen sekä kone- ja laitteistoteknisen kehittämisen. Selvityksessä kerättävien tietojen perusteella voidaan määrittää hakeharvesterin toiminnan kannalta kriittiset tekijät sekä mahdolliset parannuskohteet tekniikassa ja toiminnan organisoinnissa.

## 3 SELVITYKSEN TOTEUTUS JA TEHTÄVÄT

Chipset 536 C -hakeharvesterin käyttöä on seurattu VTT Energian seurantalomakkeiden sekä Oy Logset Ab:n asentamien moottorien käyttöaikamittareiden avulla 22.3. - 31.12.1996. Biowatti Oy vastaa hakeharvesterin operatiivisesta ohjauksesta ja hakkeen toimituksista käyttöpisteisiin. Hakeharvesterin kuljettajat kirjaavat tarvittavat työmaakohtaiset tiedot seurantalomakkeille. VTT Energia vastaa tutkimus- ja seurantatyöstä, järjestelmän tuottavuusselvityksistä ja hake-erien analysoinneista.

Hakeharvesterin kuljettajina toimi jakson aikana viisi eri kuljettajaa. Hakkeen kuljetuksessa käytettiin pääosin yhtä vaihtolavahakeautoa, jossa on ollut pisimmillä kuljetusmatkoilla loppuvuodesta myös perävaunu. Hakkeen keskimääräinen autokuljetusmatka oli jakson aikana 37 km. Kuljetuksen yhteydessä hakeauton kuljettaja kirjasi kuormakorteille kuljetetun hakkeen määrän sekä massan.

Hakeanalyysillä tutkittiin hakkurilla erilaisista puuraaka-aineista tuotettuja hake-eriä talvella ja sulan maan kaudella mahdollisten laadullisten ongelmakohtien selvittämiseksi. Seulonnoilla ja pitkien tikkujen määrän mittauksella määritettiin eri raaka-aineista tuotettujen hakkeiden palakoko.

Projektin vastuullinen johtaja on toimitusjohtaja Pekka Laurila Biowatti Oy:stä. Seurantatutkimuksesta vastaava projektipäällikkö on metsänhoitaja Tero Vesisenaho VTT Energiasta.

## 4 TULOKSET

### 4.1 SEURANTA

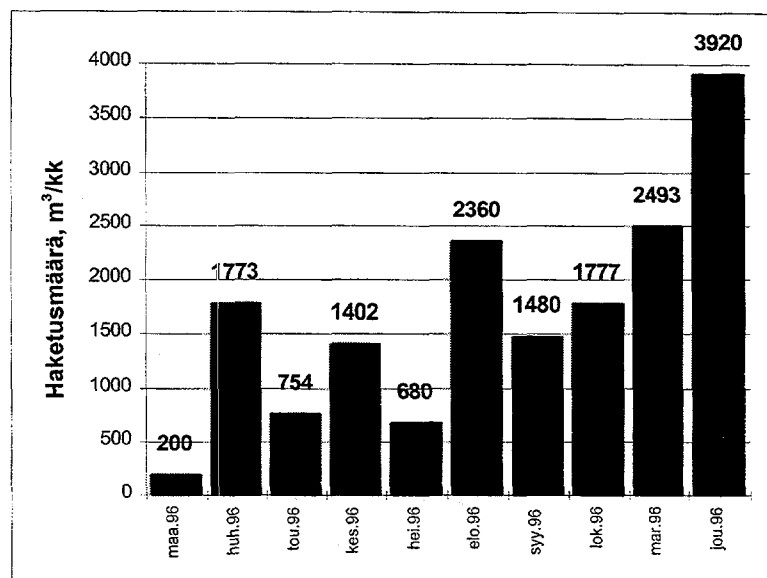
#### 4.1.1 Työmaat

Haketta toimitettiin seurantajakson aikana pääasiassa Rauhalahden voimalaitokselle Jyväskylään sekä Forssan energialaitokselle. Seurantajaksolla työpäiviä kertyi yhteensä 131. Työtuntien määrä oli keskimäärin 11,9 h/työpäivä, kun työmaiden väliset siirrot laskettiin työaikaan. Haketta tuotettiin yhdeksän kuukauden aikana kaikkiaan lähes 16800 hake-m<sup>3</sup>. Eniten haketettiin hakkuutähdettä, jonka osuus oli 73 % haketuspäivistä. Loppu raaka-aineesta oli kokopuita ja rankoja.

Jakson aikana palstahakkuri työskenteli kaikkiaan 47 työmaalla. Hakkurilla oli yksi pääasiallinen kuljettaja, joka haketti 64 % työvuoroista. Muut neljä kuljettajaa hakettivat yhteensä 36 % työvuoroista.

Keskimääräinen työmaan koko oli noin 360 hake-m<sup>3</sup>. Työtä vaikeuttaneista tekijöistä kaikkein yleisin oli välivarastotilan ahtaus (35 % haketuspäivistä). Haketettavan raaka-aineen kivisyys oli ongelmana 11 %:na työpäivistä.

Hakkuutähteiden päälle satanut lumi vaikeutti haketusta 15 %:lla työpäivistä ja jäisyys 13 %:lla. Haketus painottui selvästi talvikuukausiin, jolloin polttohakkeelle on suurin tarve lämmöntuotannossa (kuva 1). Parhaana talvikuu-kautena, joulukuussa, haketettiin yli viisinkertainen määrä heinäkuuhun verrattuna. Pitkähköjen korjauskeskeytysten ja koneen esittelyjaksojen takia tuotos on useana kuukautena jäänyt varsin pieneksi.

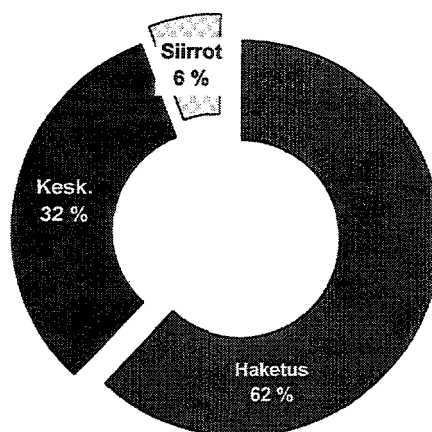


Kuva 1. Haketusmäärän jakautuminen eri kuukausille.

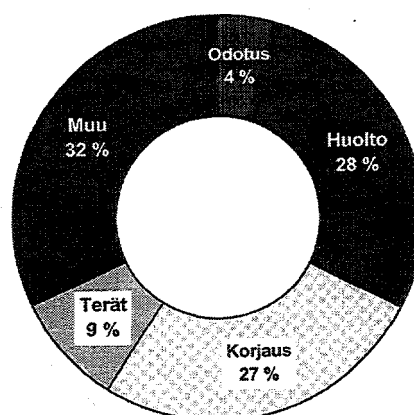
#### 4.1.2 Työajan käyttö

Hakeharvesterin työajasta kului keskimäärin 61 % varsinaisen palstahaketukseen sekä hakkeen kuljetukseen vaihtolavoihin (kuva 2). 33 % työajasta veivät erilaiset keskeytykset (kuva 3), joista suurimman osan muodostivat ”muut keskeytykset” (33 %), joihin on luokiteltu mm. hakeharvesteriin Oy Logset Ab:ssä tehdyt muutostyöt, hakeharvesterin kiinnijuuttumiset maastossa sekä erilaiset koneen ja sen työskentelyn esittelyt.

Keskeytyksistä 28 % oli huoltokeskeytyksiä ja 26 % korjauksia. Terien vaihtojen osuus keskeytyksistä oli 13 % ja työmaiden välisten siirtojen 5 %, kun keskimääräinen siirtomatka oli 39 km. Siirroista pääosa tehtiin hakeharvesterilla ajaen. Hakeauton odotus aiheutti työhön keskeytyksen vain muutamalla työmaalla.



Kuva 2. Hakeharvesterin työajan jakautuminen.



Kuva 3. Keskeytysaikojen jakautuminen.

Hakkurin toiminnallinen käyttöaste oli jakson aikana 59 % ja tekninen käyttöaste 73 %, kun hakeharvesteriin valmistajalla tehtyjä muutostöitä ei ole laskettu mukaan tekniseen käyttöasteeseen. Yhdellä teräkerralla haketettiin ennen sen vaihtoa runsaat 480 hake-m<sup>3</sup>.

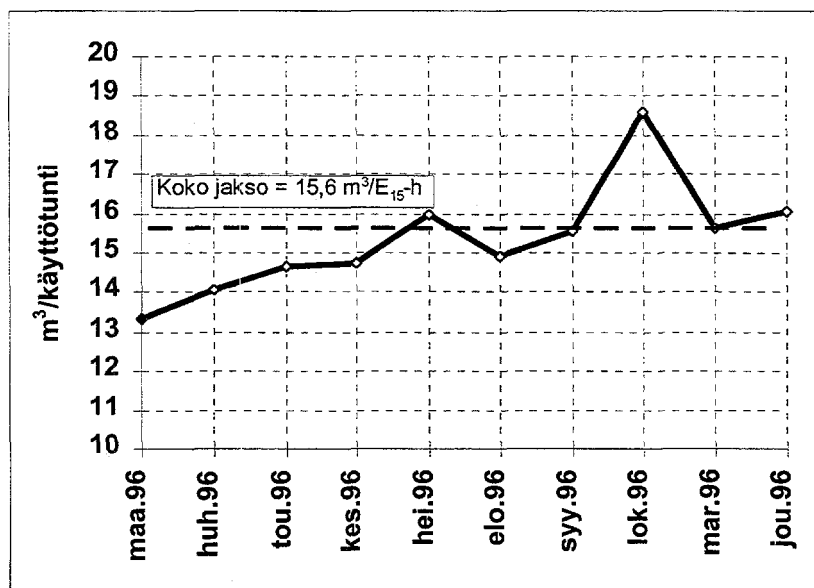
Polttoainetta kului 1,23 litraa/haketettu m<sup>3</sup> ja 15,8 litraa/moottorin käynnissäolotunti. Kun polttoaineen kulutus kohdennetaan käyttötunneille eli varsinaiselle haketusajalle on polttoaineen kulutus 19,2 litraa/käyttötunti.

Hakkeen kuljetukseen käytetty vaihtolavahakeauto joutui odottamaan haketustyömaalla jakson aikana keskimäärin 0,98 h. Täyden vaihtolavan kyytiin nostaminen vei lisäksi noin 15 minuuttia. Hakkeen käyttöpaikalla kuorman tyhjentäminen vei 15 - 20 minuuttia, minkä lisäksi purkamisen odotusaika oli keskimäärin 0,14 h. Edestakainen ajoaika yhteensä 74 km:n ajomatalla oli keskimäärin 1,35 h.

#### 4.1.3 Työn tuottavuus

Seurannassa haketuksen tuottavuus vaihteli työmaittain ja haketettavan raaka-aineen puhtaudesta riippuen hyvin paljon. Työn tuottavuus oli keskimäärin 15,6 hake-m<sup>3</sup>/käyttötunti, kun metsäkuljetusmatka oli keskimäärin 230 m. Haketuksen tuottavuus on kasvanut selvästi kuljettajien kehityttyä palstahakurin käytössä (kuva 4).

Hakeharvesterin moottorien käyntiaikamittarien perusteella moottori oli käynnissä 85 % koko työajasta. Moottorin käyntiajasta hakkuri pyöri 50 %. Pelkän hakkurin pyörimisajan mukainen työn tuottavuus oli 25,6 hake-m<sup>3</sup>/hakkurin käyttötunti.



Kuva 4. Haketuksen tuottavuuden kehitys.

## 5 PROJEKTIN JATKO

Vuoden mittainen seurantajakso päättyy maaliskuun lopussa 1997. Tämän jälkeen seuranta-aineisto analysoidaan ja määritetään hakeharvesterin käyttöasteet, tuottavuudet sekä hakkeen laatu seurantajakson ajalla. Projektin loppureportti valmistuu toukokuun 1997 loppuun mennessä.



# KOKOPUUVUONTOMENETELMÄN SOVELTAMINEN AINES- JA ENERGIAPUUN HANKINTAAN - 121

Tero Vesisenaho  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 JYVÄSKYLÄ

Sauli Liukkonen  
VTT Valmistustekniikka  
PL 1705  
02044 VTT

Puh. (014) 672 558  
Fax (014) 672 799  
tero.vesisenaho@vtt.fi

(09) 456 4547  
(09) 456 0619  
sauli.liukkonen@vtt.fi

## **Abstract: Applying of whole-tree harvesting method**

The objective of this project is to apply whole-tree harvesting method to Finnish timber harvesting conditions in order to lower the harvesting costs of energy wood and timber in spruce-dominant final cuttings. In Finnish conditions timber harvesting is normally based on the log-length method. Because of small landings and the high level of thinning cuttings, whole-tree skidding methods cannot be utilized extensively.

As the landings are small, one has to adopt the whole-tree harvesting method a bit to be able to separate at least ten timber assortments. In spruce-dominant final cuttings the share of spruce is normally over 80 %. Therefore, it is easy to reduce the amount of timber assortments made out of the skidded stems by bucking other tree species than spruce already at the stand. However, this causes some extra costs, but the competitiveness of the method still remains.

The share of stands which could be harvested with whole-tree skidding method showed up to be about 10 % of the total harvesting amount of 50 mill. m<sup>3</sup>. The corresponding harvesting potential of energy wood is 0,25 Mtoe.

The aim of the structural measurements made in this project was to get information about the effect of different hauling methods into the structural response of the tractor, and thus reveal the possible special requirements that the new whole-tree skidding places forest tractor desing.

Altogether 7 strain gauge based sensors were mounted into the rear frame structures and drive shafts of the forest tractor. Five strain gauges measured local strains in some critical details and two sensors measured the torque moments of the front and rear bogie drive shafts. Also the revolutional speed of the rear drive shaft was recorded.

Signal time histories, maximum peaks, Time at Level distributions and Rain-flow distributions were gathered in different hauling modes. From these, maximum values, average stress levels and fatigue life estimates were calculated for each mode, and a comparison of the different methods from the structural point of view was performed.

## 1 TUTKIMUKSEN TAUSTA

Bioenergian tutkimusohjelmassa on vuosina 1993 - 96 kehitetty uusia puupolttoaineen tuotantomenetelmiä, joilla voidaan tuottaa puupolttoainetta kilpailukykyiseen hintaan. Uudet menetelmät ovat painottuneet erityisesti ensiharvennusleimikoiden puunkorjuun kehittämiseen. Energiapuun korjuuta päätehakkuilta on sen sijaan tutkittu ja kehitetty selvästi vähemmän.

Finntech Ltd Oy tutki Bioenergian tutkimusohjelmassa kokopuujuontoon perustuvaa integroitua aines- ja energiapuun korjuumenetelmää vuosina 1994 - 95 (Y109). Tutkimus osoitti, että nykyinen puunkorjuukalusto soveltuu pienillä muutoksilla myös päätehakkuiden kokopuukorjuuseen ja menetelmä on kilpailukykyinen järeäpuustoisilla päätehakkuuleimikoilla.

Käytäntöön soveltamiseksi menetelmä vaati kuitenkin jatkotutkimus- ja kehitystyötä. Selvittämättä olivat edelleen useat välivarastoratkaisuihin sekä nykyisen puunkorjuukaluston (hakkuukone, kuormatraktori) kestoon sekä kehittämistarpeisiin liittyvät kysymykset. Lisäksi selvittämättä oli, kuinka hakkuukoneen ja juontotraktorin "kuumana ketjuna" työskentely olisi järjestettävä eripituisilla metsäkuljetusmatkoilla ja erikokoisilla varastotiloilla, mikä puunkorjuuketjun tuottavuus ja käyttöaste on, kun otetaan huomioon hakkuukoneen ja juontotraktorin välinen vuorovaikutus ja kuinka paljon kokopuujuontomenetelmän käytölle sopivia kohteita on alueittain ja mitkä ovat taloudellisen toiminnan kannalta kohteiden valintakriteerit?

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Vuonna 1996 käynnistyneen projektin tavoitteena on kehittää kokopuujuontoon perustuvaa integroitua aines- ja energiapuun korjuumenetelmää siten, että se on valmis demonstroitavaksi laajassa mitassa ja sillä saavutetaan energiapuun tuotantokustannus alle 45 mk/MWh aina 100 km:n kaukokuljetusmatkaan asti ainespuun korjuukustannusten pysyessä ennallaan.

Pää tavoitteen saavuttamiseksi projektissa selvitetään:

- Välivarastotyöskentelyn toimintamallit ja niiden vaikutukset tuotantokustannuksiin.
- Menetelmässä käytettävän puunkorjuukaluston tekninen soveltuvuus, kuormaimen, juontopankon ja alustakoneen rungon kestävyys sekä muutost- ja kehitystarpeet.
- Kokopuujuontomenetelmän käyttöönoton vaatimat investoinnit, kannattavan toiminnan edellytyksenä oleva työmäärä ja tuottavuustaso, tarvittava kuorman koko sekä juontotraktorin vetovoima uudella menetelmällä.
- Kokopuujuontomenetelmällä työskentelyyn parhaiten soveltuvat toimintamallit erilaisilla leimikoilla (metsäkuljetusmatka, leimikon koko ja muoto) ja puutavaralajiyhdistelmillä.
- Kokopuujuontomenetelmän soveltuvuus suomalaisiin puunkorjuu- ja leimikko-oloihin sekä menetelmälle soveltuvien potentiaalisten korjuukohteiden määrä.

Vuonna 1996 projektissa keskityttiin kehittämään välivarastotyöskentelyn toimintamalleja UPM-Kymmene Oy:n kuusikoiden päätehakkuiden tavaralajivaatimusten mukaisesti, puunkorjuukalustoon kohdistuvia rasituksia sekä menetelmälle soveltuvien puunkorjuukohteiden määrää.

## 3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TEHTÄVÄT

### 3.1 AIKA- JA TUOTOSTUTKIMUKSET

Kesäkuussa UPM-Kymmene Metsän työmaalla Tikkakoskella tehdyillä aika- ja tuotostutkimuksilla selvitettiin erilaisten suomalaisiin oloihin soveltuvien kokopuujuontoon perustuvien puunkorjuuvaihtoehtojen tehoajanmenekit kustannustarkastelujen pohjaksi. Lisäksi selvitettiin uusien välivarastoratkaisujen vaikutusta kokopuujuontomenetelmällä työskentelyn kannattavuuteen sekä

välivarastotoimenpiteiden ajanmenekkeihin. Kenttäkokeissa tutkitut menetelmät valittiin maaliskuussa pidetyn menetelmäkokeilun perusteella.

Tutkimuspuusto hakattiin Timberjack 1270/762B -hakkuukoneella. Puutavaran metsäkuljetukseen käytettiin Valmet 838 -kuormatraktoria, joka varustettiin tukkiosien ja kokopuiden juontokokeiden ajaksi Asennusliike Kannonkone Oy:n valmistamalla puristuspankolla. Hakkuutähteet haketettiin tienvarsi-varastolla Biowatti Oy:n Chipset-hakeharvesterilla.

Leimikon puusto oli kuusivaltaista, kuusen osuuden ollessa 79 - 90 %. Puuston määrä hehtaaria kohti oli 309 - 355 m<sup>3</sup>. Rungon keskikoko oli koealoilla 0,59 - 0,84 m<sup>3</sup>.

Aikatutkimuksissa vertailut menetelmät olivat:

1. Normaali tavaralajimenetelmä. (tvI)
2. Kokopuujuontomenetelmä ilman puu- tai puutavaralajien lajittelua palstalla. Puutavaran pölkytys välivarastolla normaalisti. (kokopuu)
3. Kokopuujuontomenetelmä siten, että palstalla pölkytettiin muut puulajit kuin kuusi ja erotettiin kuusirungoista lahot tyvet erilleen. Kuusirunkojen pölkytys välivarastolla kahteen tavaralajiin: sorvitukeiksi ja kuitupuuksi. (kp/pölkky)
4. Kuusitukkirungot ( $d_{1,3} \geq 21$  cm) karsittuina tukkiosina juontaen ja kuiturungot sekä muut puulajit pölkytettynä kuormaa kantavasti. (tukkiosa)

### 3.2 LEIMIKKOKARTOITUS

Kokopuujuontomenetelmälle soveltuvien kohteiden määrän perusselvitys tehtiin kolmen pääasiassa päätehakkuilla työskentelevän korjuuketjun osalta UPM-Kymmene Metsän Saarijärven ja Jämsänkosken piireissä. Leimikkokartoituksen ulkopuolelle rajattiin pääasiassa harvennushakkuilla työskentelevät korjuuketjut.

UPM-Kymmene Metsän toimihenkilöt poimivat selvitykseen valituilta päätehakkuukorjuuketjuilla seuraavat kriteerit täyttävät toteutuneet työmaat vuosien 1995 ja 1996 ajalta:

1. Tienvarsileimikko; myös talvitien varsi hyväksyttiin
2. Kuusivaltainen
3. Vähintään 150 m<sup>3</sup>:n ainespuukertymä  $\Rightarrow$  energiapuukertymä n. 100 hake-m<sup>3</sup> eli täysperävaunuautollinen

Valitut työmaat sijoitettiin kartoille ja käytiin maastossa arvioimassa työmaiden soveltuvuus kokopuujuontomenetelmälle maaston, välivarastotilan, kuvion muodon yms. tekijöiden puolesta.

### 3.3 RASITUSMITTAUKSET

Tavaralajipölkkyjen metsäkuljetukseen tarkoitetun kuormatraktorin kuormaimen ja alustan kuormittumisen erot kokopuukorjuussa ja tavaralajikorjuussa sekä pankkojen runkoon kohdistamat rasitukset selvitettiin kuormitus- ja rasitusmittauksilla.

Kuormatraktorin kuormaimen nosturipukkiin ja takarunkoon instrumentoitiin yhteensä 5 venymäanturia, jotka mittasivat kriittisiksi arvioitujen kohtien paikallista venymää. Lisäksi rekisteröitiin etu- ja takakardanien vääntömomentit sekä kierrosluvut. Tuloksina kenttämittauksista saatiin kaikille mittauskohdille aikatasonäytteitä, äärirasitukset, tasojakaumat ja keskimääräiset rasitukset sekä venymävaihtelukertymät ja niiden perusteella lasketut kestoikäennusteet.

Rasitusvaihteluiden kertymät laadittiin juontomoodeittain summattuina, ja niistä laskettiin ns. ekvivalentti jännitysvaihtelu, jota käytetään kestoikäennusteiden laadinnassa.

Kestoikäennusteet laadittiin mittauskohdasta riippuen joko nimellisen jännityksen menetelmällä tai hot spot-menetelmällä. Hot spot -menetelmää käytettiin niille mittauskohdille, jotka mittasivat hitsausliitoksen rasituksia hitsin edessä.

Kestoikäennusteiden luotettavuuteen vaikuttaa olennaisesti mitattujen kertymien edustavuus, eli miten hyvin ne kuvaavat todellista käyttöä. Mikäli on epäiltävissä, että todellinen käyttö poikkeaa huomattavasti mittausten ajasta käytöstä, muuttuvat myös kestoikäennusteet huomattavastikin.

Projektin vastuullinen johtaja on toiminut erikoistutkija Pekka-Juhani Kuitto VTT Energiasta. Tutkimuksesta vastaava projektipäällikkö on metsänhoitaja Tero Vesisenaho VTT Energiasta ja rasitusmittauksista vastaava tutkija DI Sauli Liukkonen VTT Valmistustekniikasta.

## 4 RAHOITUS VUONNA 1996

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| TEKES/Bioenergian tutkimusohjelma | 300 000 mk |
| UPM-Kymmene Oy                    | 60 000 mk  |
| VTT Energia                       | 50 000 mk  |
| VTT Valmistustekniikka            | 50 000 mk  |
| Sisu Logging Oy                   | 20 000 mk  |
| Asennusliike Kannonkone Oy        | 20 000 mk  |
| Yhteensä                          | 500 000 mk |

## 5 TULOKSET

### 5.1 KORJUUKUSTANNUKSET

Hakkuutähteen ja ainespuun korjuukustannukset määritettiin siten, että perusmenetelmänä oli tavaralajeina korjuu ja sen kustannukset. Vaihtoehtoisille menetelmille asetettiin vaatimukseksi ainespuun korjuukustannuksen pysyminen samalla tasolla kuin tavaralajimenetelmässä ja lisäkustannukset kohdistettiin hakkuutähteelle. Kukin menetelmä sijoitettiin valitulle perusleimikolle ajanmenekki-funktioiden avulla ja määritettiin vakioiduissa oloissa menetelmien tuottavuudet.

Laskennassa käytetyn perusleimikon puustotiedot olivat: 327 m<sup>3</sup>/ha, 445 runkoa/ha ja 735 dm<sup>3</sup>/runko. Kuusen osuutena perusleimikolla oli 86 % ja lahon osuus kuusella 3 % ainespuumäärästä. Hakkuukoneen verottomana tuntikustannuksena on käytetty 380, kuormatraktorin 270 ja juontotraktorin 300 mk /käyttötunti (lisät kuormatraktorin tuntikustannukseen: puristuspankko + 20 mk/h, polttoaineen kulutus + 10 mk/h). Hakkuutähteen korjuukustannuksena tavaralajimenetelmässä on käytetty hakkuutähteen korjuukustannusta tavallisella hakkuutähteen korjuuseen varustamattomalla puutavaran korjuukalustolla, mikä vastaa tällöin kokopuujuontoon verrattavaa integroitua aines- ja energiapuun korjuuta.

Taulukossa 1 esitetään hakkuutähteen korjuukustannus eri menetelmillä, kun keskimääräinen metsäkuljetusmatka on 100 metriä. Ajo1 tarkoittaa tukkiosa- ja kokopuu/pölkky -menetelmissä laahusjuontoa ja ajo2 pölkkyjen metsäkuljetusta kuormaa kantavasti. Tavaralajimenetelmässä ajo1 tarkoittaa tukkien ja ajo2 kuitupuun metsäkuljetusta.

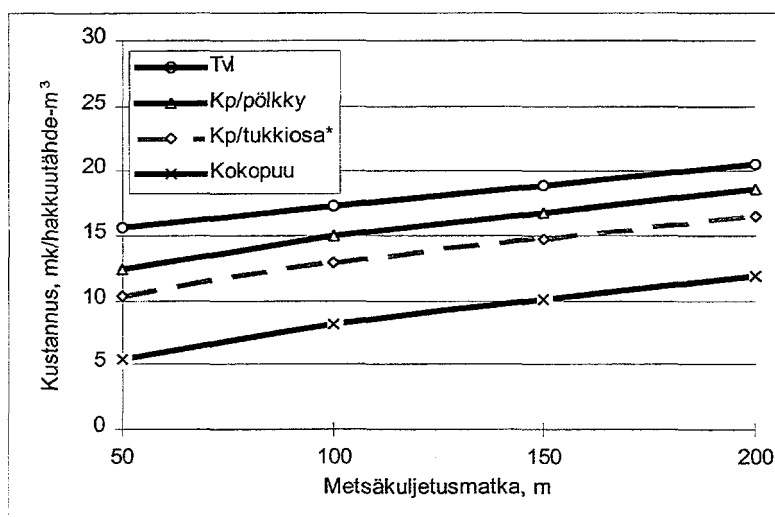
Kustannuserä "Muut" sisältää puristuspankon ja normaalipankkojen väliset vaihdot sekä puutavaran järjestelyn tienvarsikasassa. Pankon vaihtoaikana on käytetty 30 minuuttia/kerta. Hakkuutähteen talteensaannoksi peruslaskelmas-  
sa on oletettu  $0,3 \text{ m}^3/\text{ainespuu-m}^3$ .

Taulukko 1. Ainespuun ja hakkuutähteen korjuukustannukset ( $\text{mk/m}^3$ ) vertailluil-  
la menetelmillä.

|                  | Hakkuu | Ajo1<br>(100 m) | Ajo2<br>(200 m) | Proses-<br>sointi | Muut | Yhteensä | $\text{mk/ht-m}^3$ |
|------------------|--------|-----------------|-----------------|-------------------|------|----------|--------------------|
| Kokopuu          | 4,83   | 6,51            | 0,00            | 7,45              | 1,40 | 20,20    | 8,17               |
| Kokopuu/tukkiosa | 5,56   | 6,75            | 14,50           | 6,80              | 2,34 | 21,64    | 12,98              |
| Kokopuu/pölkky   | 5,33   | 6,65            | 15,05           | 7,81              | 2,34 | 22,23    | 14,97              |
| Tvl              | 8,73   | 7,62            | 14,26           | 0,00              | 0,00 | 17,74    | 17,30              |
| Tukkiosa         | 7,60   | 6,19            | 13,83           | 0,00              | 1,87 | 17,61    | 17,30              |

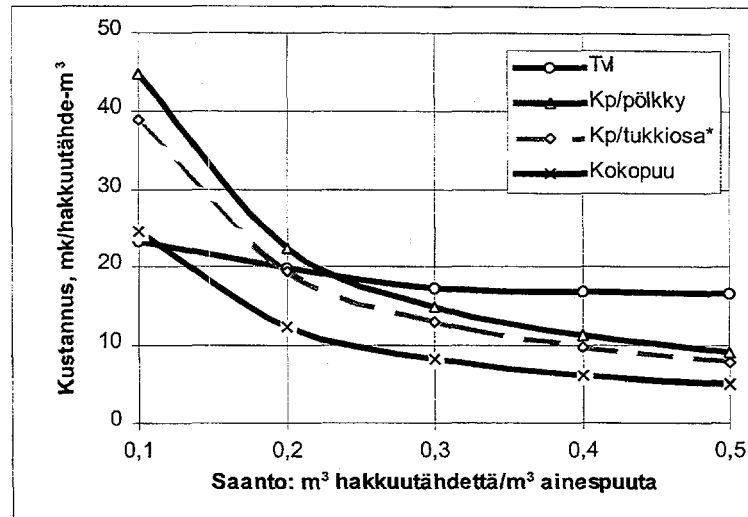
Halvimmin ainespuutavara saadaan korjattua tienvarteen tukkiosamenetelmäl-  
lä. Kokopuumenetelmät ovat kalliimpia kuin perinteinen tavaralajimenetelmä,  
mutta samalla kertaa korjattava hakkuutähdemäärä tekee kokopuumenetelmis-  
tä kuitenkin kilpailukykyisiä tavaralajeina korjuuseen verrattuna.

Kustannustarkastelun perusteella hakkuutähteen korjuu on vertailumenetel-  
mää edullisempaa myös uusilla tarkastelussa mukana olleilla kokopuujuon-  
tomenetelmillä, joissa osa pölkystä valmistetaan tienvarsivaraston sijaan jo  
palstalla. Ero jää kuitenkin varsin pieneksi. Kokopuujuontomenetelmän edul-  
lisuuteen vaikuttaisi kuitenkin positiivisesti päätehakkuilla normaalisti käytet-  
tävän järeämmän kuormatraktorin käyttö.



Kuva 1. Metsäkuljetusmatkan vaikutus hakkuutähteen korjuukustannukseen.

Metsäkuljetusmatkan ja hakkuutähteen korjuusaannon vaikutusta hakkuutähteen korjuukustannukseen tarkasteltiin herkkyysanalyysillä. Koska metsäkuljetusmatka vaikuttaa vain ajonopeuksiin ja -aikoihin, on matkan vaikutus kustannukseen lineaarinen (kuva 1). Menetelmien väliseen edullisuuteen metsäkuljetusmatkalla ei ole vaikutusta alle 200 metrin matkoilla.

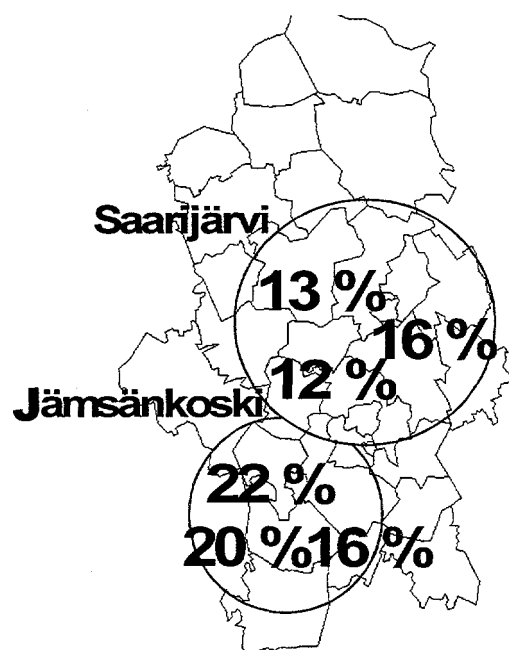


Kuva 2. Hakkuutähteen korjuusaannon vaikutus korjuukustannukseen.

Hakkuutähteen korjuusaanto vaikuttaa sen sijaan merkittävästi kokopuumenetelmien kannattavuuteen. Mikäli korjuusaanto jää alle 0,2 m³ hakkuutähdettä/1 m³ ainespuuta, muodostuvat korjuukustannukset kokopuumenetelmillä liian korkeiksi (kuva 2).

## 5.2 LEIMIKKOKARTOITUS

Työmaat luokiteltiin kokopuujuontomenetelmälle soveltuvuutensa perusteella hyviin, välttäviin ja ei sopiviin. "Hyvillä" leimikoilla välivarastotilaa on yli 100 metriä/400 ainespuu-m³ ja kuvion muoto on kokopuujuontoon sopiva. Tällöin kokopuujuonto voidaan toteuttaa ilman työtapamuutoksia tavaralajien määrän tai lajittelun suhteen. (Kentäkokeissa 151 m³ suoraan tienvarsikasaan prosessoitua puutavaraa sopi 36 metrin levyiselle alalle). "Välttävillä" kohteilla välivarastotilaa on 50 - 100 metriä/400 ainespuu-m³. Näillä kohteilla kokopuujuontomenetelmän käyttö vaatii muutoksia joko tavaralajien määrässä tai työtekniikoissa, mutta menetelmää voidaan käyttää tarpeen vaatiessa. "Ei sopivat" kohteet ovat sopimattomia kokopuujuontomenetelmälle joko työmaan koon, maaston, välivarastotilan tai kuvion muodon takia.



Kuva 3. Kokopuujuontomenetelmälle hyvin soveltuvien kohteiden osuus puunkorjuuketjun koko korjuumäärästä.

Kokopuujuontoon hyvin soveltuvien kohteiden osuus korjattavasta puumäärästä vaihteli korjuuketjuittain 12 - 22 % (kuva 3). Kun päätehakkuuketjut korjaavat piirien koneellisesti korjattavasta puumäärästä n. 70 - 80 %, on kokopuujuontomenetelmällä korjattavissa olevien kohteiden määrä n. 10 - 15 % koko koneellisesti korjattavasta puumäärästä. Yhden piirin 300 000 - 350 000 m<sup>3</sup>:n korjuumäärästä kokopuujuontoon soveltuva määrä olisi tällöin noin 40 000 m<sup>3</sup> ja niiltä korjattavissa oleva hakkuutähdemäärä vastaavasti 12 000 m<sup>3</sup> eli noin 24 GWh/piiri.

Kokopuujuontomenetelmälle soveltuvat kohteet ajoittuvat pääosin sulan maan ajalle/kelirikkoajalle. Tämä rajoittaa osaltaan kokopuujuontomenetelmän käyttöä, sillä maan ollessa hyvin märkää, oksien mukana kulkeutuu hiekkaa ja maa-ainesta hakkuutähdekasaan eikä sitä näin ollen voida hakettaa polttokäyttöön. Talviaikana hakkuukohteet sijaitsevat yleensä kauempana teistä ja osin talviteiden varsilla.

### 5.3 RASITUSMITTAUKSET

Kenttämittausten tuloksia tarkasteltaessa on pidettävä mielessä, että niihin vaikuttaa useita tekijöitä, joita ei ole voitu käytännön syistä varioida. Kuormituksiin ja rasituksiin vaikuttaa mm. maasto, jossa mittaukset on suoritettu:

erityyppisessä maastossa äärikuormat, keskimääräiset tasot, sekä kuormitusten luonne voivat olla tässä esitetystä poikkeavia. Niinikään kuljettajalla on oma merkityksensä kuormitustasoihin: toisentyypinen ajoneuvon kuljettaja aikaansaa erilaiset kuormitukset ja rasitukset. Myös puustolla on oma merkityksensä syntyviin kuormitustasoihin. Edellä lueteltujen tekijöiden vaikutusta ei tarkalleen tiedetä. Täten on syytä muistaa, että kyseessä on yksi melko rajattu otos kuormatraktorin käytössä ilmenevistä kuormituksista ja rasituksista. Tehdyt mittaukset antavat kuitenkin tietoa eri juontomoodien vaikutuksesta kaluston rasitukseen vallinneissa olosuhteissa, jolloin vertailua eri moodien välillä voidaan tehdä. Vertailu ei ole kuitenkaan suoraan kaikkiin käyttötilanteisiin, maastoihin, kuljettajiin ja puustoihin sopiva ja siten täysin yleispätevä.

#### Seuraavassa on esitetty keskeiset tulokset:

- Maksimivääntömomentit olivat noin 10 - 15 % suuremmat pitkän puun juonnossa tavaralajin ajoon verrattuna.
- Kuormaimen jalustaan kohdistuvat maksimikuormat ovat mittausten perusteella noin 60 % suuremmat kokopuujuonnossa tavaralajin ajoon verrattuna.
- Vääntömomenttitasot ovat keskimäärin 60 % suuremmat pitkän puun juonnossa tavaralajin ajoon verrattuna. Tämä on otettava huomioon voimansiirron mitoituksessa.
- Eri juontomoodien väsyttävyys tutkituissa kohdissa oli ajettuun puumäärään suhteutettuna samaa luokkaa. Käytettyyn aikaan suhteutettuna pitkän puun ajossa syntyy vastaava väsymisvaurio puoleessa ajassa tavaralajin ajoon verrattuna.
- Jos otetaan huomioon kuormatraktorin todennäköinen käyttöprofiili (80 % tavaralajia ja 20 % kokopuita), ovat erot väsymiskestoikäennusteissa merkityksettä.

## 6 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Projektissa saatavia tuloksia voivat hyödyntää puunhankintaorganisaatiot integroidun aines- ja energiapuun tuotannon suunnittelussaan. Kokopuujuontomenetelmä yhdistettynä tukkiosina korjuuseen tuo sekä aines- että energia-puun korjuuseen uusia mahdollisuuksia.

Tehdyt rasitusmittaukset palvelevat kone- ja laitevalmistajia rakenteiden teknisessä suunnittelussa sekä puunkorjuuyrittäjiä menetelmän käytettävyyden ja kustannustasojen arvioinnissa.

## 7 PROJEKTIN JATKO

Vuonna 1997 projektissa kehitetään kokopuujuontomenetelmällä työskenteleeseen parhaiten soveltuvat suunnittelu- ja toimintamallit erilaisille leimikoille. Lisäksi yhteenvetona vuosien 1994 - 97 tutkimus- ja kehitystyöstä määritetään kokopuujuontomenetelmän soveltuvuus suomalaisiin käytännön puunkorjuuoloihin.

Tehtyjen aika- ja tuotostutkimuksien sekä leimikkokartoituksen aineiston perusteella laaditaan vuonna 1997 kokopuujuonnon simulointimalli. Malli laaditaan yhteistyössä VTT Energian sekä Joensuun ja Helsingin yliopistojen kesken. Simuloimalla menetelmän leimikkoketjutus määritetään menetelmän toimivuus, kuumana ketjuna toimittaessa tarvittavan välivarastotilan suuruus ja vaikutukset, optimaalinen kuorman koko/juontotraktorin vetovoima sekä hakkuukoneen ja juontotraktorin työskentelyn kannalta parhaat toimintamallit erilaisilla metsäkuljetusmatkoilla

Simulointeihin yhdistetyillä herkkyyss- ja kustannusanalyyseillä tarkastellaan latvusmassan korjuusaannon, menetelmälle sopivien kohteiden määrän, metsäkuljetusmatkan, polttojakeen hinnan, puuston ja leimikon koon sekä puunkorjuun vuotuisvaihtelun vaikutuksia kokopuujuontomenetelmän käyttöön- otolle.



## EVOLUTION-ENERGIAPUUHAKKURIN KÄYTTÖ- SELVITYS - D111

Pekka Lahti  
Kotimaiset Energiat Ky  
41290 Kangashäkki

Tero Vesisenaho  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 JKL

Puh. 0400 653 506

(014) 672 558  
Fax (014) 672 799  
tero.vesisenaho@vtt.fi

### **Abstract: Follow-up study of Evolution-drum chipper**

The aim of this project was to test and further develop a new type of a drum chipper which had been designed by Pekka Lahti. It was assumed that this Evolution-chipper would be able to produce fuel chips without long splinters and would also be reliable and effective in chipping work at road-side landings. In this project the fuel chip quality and productivity of the chipper were found out. The follow-up study started in October 1995 and ended in the end of 1996.

According to the follow-up study the mechanical availability of the chipper was 83 % during a period of one year. Because of the rather low level of fuel chip utilization in Finland the work sites are located far from each other. Therefore the movings between working sites take as much as 1/5 of the total working hours. The chipper is easy to operate and the differences in the productivity between operators are modest. The chipping productivity varies mainly depending on the raw material. The average productivity was 45,8 m<sup>3</sup> (loose) per gross effective hour during the follow-up period. The internal screening system of the chipper diminishes the amount of long splinters effectively. The importance of the screening system is in the maximum when chipping sawings. Other chipping parameters (such as rotating speed) affected the chip quality only a little.

## 1 SELVITYKSEN TAUSTA

Palakoon suuri vaihtelu ja erityisesti ylipitkien tikkujen esiintyminen hakkeessa aiheuttavat yleisesti ongelmia energialaitosten vastaanotto- ja kuljetinjärjestelmissä. Lisäksi hakkeen palakokovaatimukset vaihtelevat laitoksittain. Perinteisillä hakkureilla voidaan yleensä säätää vain hakkeen palakoon maksimia ja yrittää seula-aseteilla vähentää tikkujen osuutta hakkeessa. Tavanomainen seula-asetteiden lisääminen tai seulan reikäkoon pienentäminen parantaa hakkeen laatua, mutta pienentää toisaalta itse haketustyön tuottavuutta ja taloudellisuutta voimakkaasti.

Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahti ideoi monivuotisen haketuskokemuksen perusteella uuden ratkaisun tikuttoman hakkeen tuottamiseksi suurteho-väli-varastohakkurilla. Pekka Lahden suunnittelemalla hakkurilla voidaan tehdä myös isolla palakoolla haketta, jossa ei ole pitkiä tikkuja. Myös tavoitepalakoon entistä tarkempi säätömahdollisuus on uuden ratkaisun etuna.

## 2 SELVITYKSEN TAVOITE

Käyttöselvityksen tavoitteena oli Evolution-hakkuriprototyypin testaaminen ja tekninen hiominen käytännön toimintaan osaksi haketus-hakkeen autokuljetus-järjestelmää. Tavoite sisälsi koneteknisen kehittämisen lisäksi saavutettavien tuottavuustasojen ja -rajoitteiden määrittämisen erilaisissa varastoloissa. Seurantaan liittyen analysoitiin myös tuotetun hakkeen laatuominaisuudet eri raaka-aineilla.

## 3 SELVITYKSEN TOTEUTUS JA TEHTÄVÄT

Evolution -hakkurin käyttöä seurattiin VTT Energian laatimien seurantalomakkeiden avulla yhtäjaksoisesti 5.10.1995 - 31.10.1996. Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahti vastasi seurannasta aiheutuvista lisätöistä ja vaadittavien seurantatietojen kirjaamisesta käytännön työmailla. VTT Energia vastasi tutkimustyöstä, järjestelmän tuottavuusselvityksistä ja hake-erien analysoinnista.

Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahti esitteli hakkuria kansainväliselle yleisölle IEA (International Energy Agency) -retkeilyn yhteydessä syyskuussa ja

EU-Altener-retkeilyllä marraskuussa 1996 sekä tuotti tarvittavaa englannin- ja suomenkielistä esittelymateriaalia yhteistyössä VTT Energian kanssa.

Analysoitavaksi seurantajaksoksi valittiin vuoden mittainen jakso 1.11.1995 - 31.10.1996. Jaksolla työpäiviä kertyi yhteensä 268. Työtuntien määrä ajanjaksolla oli keskimäärin 10,6 h/työpäivä, kun työmaiden väliset siirrot laskettiin kuuluviksi työaikaan.

Hakeanalyysillä tutkittiin hakkurilla erilaisista puuraaka-aineista tuotettuja hake-eriä talvella ja sulan maan kaudella mahdollisten laadullisten ongelma-kohtien selvittämiseksi. Seulonnoilla ja pitkien tikkujen määrän mittauksella määritettiin hakkurin seula- ja teräasetteiden vaikutusta hakkeen laatuun.

Projektin vastuullisena johtaja oli toimitusjohtaja Pekka Lahti Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahdesta. Seurantatutkimuksesta vastaavana projektipäällikkönä toimi metsänhoitaja Tero Vesisenaho VTT Energiasta.

## 4 TULOKSET

### 4.1 SEURANTA

#### 4.1.1 Työmaat

Haketta toimitettiin jakson aikana useisiin eri kokoisiin energialaitoksiin. Eniten haketta, 32 %, tuotettiin pienille lämpölaitoksille. Suurille lämpölaitoksille haketta toimitettiin 28 % ja mekaanisen sekä kemiallisen metsäteollisuuden energiantuotantoon 26 %. Lukumääräisesti isäntien pieniä haketuskohteita oli paljon, mutta kokonaishakemäärästä niiden osuus oli vain 6 %. Muiden sekalaisten toimituskohteiden määrä oli kokonaismäärästä 8 %.

Haketusta vaikeuttaneista tekijöistä yleisin oli haketettavan raaka-aineen kivisyys (37 % työmaista). Isäntien varastoissa, taajama-aluiden raivausrisuissa, sahoilla ja osin myös hakkuutähteen haketuskohteilla kivisyysongelmat korostuivat. Työnopastuksella voitaneen vaikuttaa ainakin metsästä korjattavien hakeraaka-aineiden laatuun.

Raaka-aineen lumisuus vaikeutti haketusta 29 %:lla työmaista ja jäisyys 19 %:lla, mikä johtuu haketuksen painottumisesta talviaikaan. Metallia oli hakkeen joukossa peräti 10 %:lla työmaista. Metallia haketettavan raaka-aineen

joukossa oli etenkin sahoilla. Varastotila oli ahdas joka viidennellä työmaalla ja pohjaltaan pehmeä joka kahdennellatoista.

Haketus painottui selvästi talvikuukausiin, jolloin polttohakkeelle on suurin tarve lämmöntuotannossa. Parhaana talvikuukautena, helmikuussa, haketettiin yli viisinkertainen määrä kesäkuuhun verrattuna.

Jakson aikana hakkuri työskenteli 269 työmaalla. Työmaiden koko oli 1 - 1710 hake-m<sup>3</sup>. Hakkurilla oli yksi pääasiallinen kuljettaja, joka haketti 52 % työmaista. Muut kolme kuljettajaa hakettivat yhteensä 48 % työmaista.

#### **4.1.2 Haketettu raaka-aine**

Sahauspintoja haketettiin eniten. Niiden osuus tuotetusta hakemäärästä oli 25 %. Raaka-aineesta 19 % oli turvesoiden suokantoja ja 16 % päätehakkuiden kuusihakkuutähdettä. Loppu raaka-aine muodostui mm. kokopuista, karsituista rangoista, tasauspätkistä ja taajama-alueiden raivausrisuista.

Vaikka suoraan metsistä energiakäyttöön korjattujen puuraaka-aineiden (hakkuutähde, kokopuu, ranka ja risut) määrä onkin lisääntynyt viime vuosina, muodostavat ne haketettavasta määrästä vain 45 % ja erilaiset puunjalostuksen ja turvetuotannon sivutuotteet 55 %.

Luokkaan "muu" kuuluvia sekalaisia raaka-aineita, kuten hakekameja, lautoja, pahvihylsyjä, magneettinauhoja, kuorta ja rakennusjätettä oli haketetusta määrästä vain 3 %. Niinpä näiden poikkeavien materiaalien vaikutus hakkurin työskentelyyn on varsin pieni.

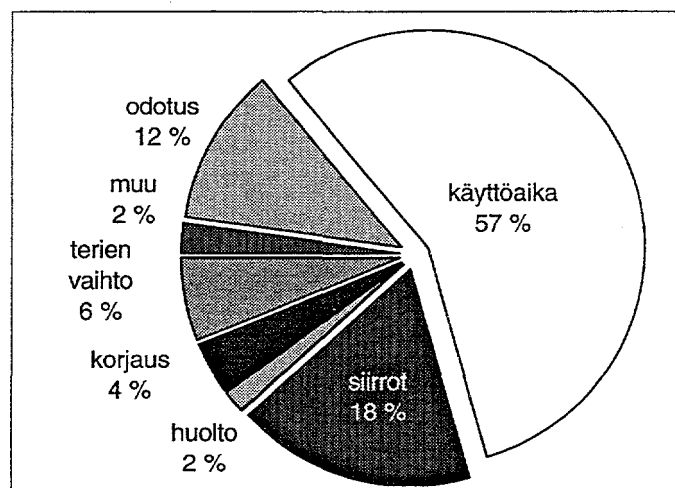
Hakkeen tikuttomuustarve oli 56 %:ssa käyttökohteista. Hakkurin sisäistä seulaa ei tarvinnut käyttää hakkeen laadun takia lainkaan 10 %:lla työmaista. Harvaa 90 mm x 40 mm:n seulaa käyttäen haketettiin pääosa eli 52 % työmaista ja tiheää 60 mm x 60 mm:n seulaa käyttäen 38 %.

Hakkeen laadun kannalta kaikkein vaativimpia käyttökohteita, jotka vaativat tikutonta haketta ja tiheän seulan käyttöä oli haketusmäärästä kaikkiaan 34 %. Näille, pääosin pienille käyttökohteille haketta voi toimittaa vain, jos hakkeen laatu täyttää tiukat hakkeen tikuttomuusvaatimukset.

#### **4.1.3 Työajan käyttö**

Hakkurin työtunneista kului keskimäärin 57 % varsinaiseen haketukseen (=käyttöaika). Työajasta 26 % veivät erilaiset keskeytykset, joista suurimman

osan muodostivat hakeautojen odotus (12 %) ja hakkurin terien vaihdot (6 %). Työmaiden välisten siirtojen osuus työajasta oli peräti 18 % (kuva 1). Tämä kuvastaa selvästi nykyistä energiapuun haketustilannetta; työmaat ovat pieniä ja varsin etäällä toisistaan, minkä takia varsinaisen tehollisen haketusajan osuus koko työajasta jää pienehköksi.



Kuva 1. Työajan jakautuminen eri työvaiheisiin.

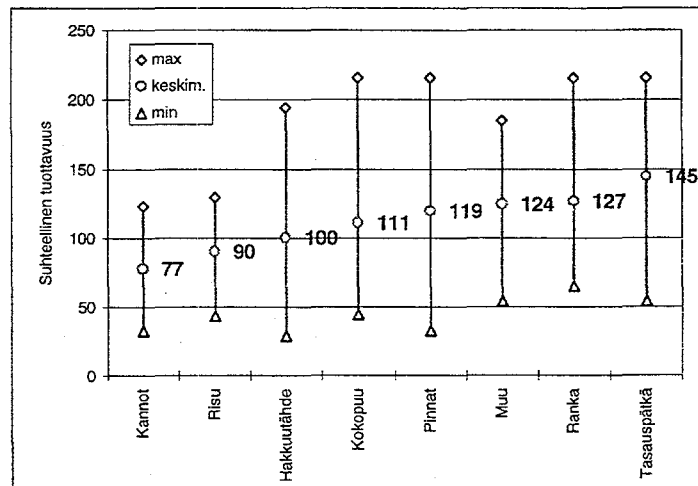
Korjausten osuus työajasta oli vain 4 % ja huollon 2 %, mikä kertoo hakkurin hyvästä teknisestä luotettavuudesta. Luokkaan "muu" luokiteltiin 2 % työajasta. Tähän luokkaan sijoittuivat mm. hakeautojen tai hakkurin kiinnijuuuttumiset sekä erilaiset työnäytökset ja esittelyt. Määrällisesti eniten (45 %) korjauskeskeytyksiä aiheutti hakkurin kuormain, jota korjattiin jakson aikana kaikkiaan 28 kertaa. Hakkurin alusta-auton korjauksista ja itse hakkurin korjauksesta aiheutui molemmista jakson aikana 17 keskeytystä ja kummankin osuus korjauskeskeytyksistä oli 30 %.

Työmaiden välisen siirtoaajan keskimääräinen ajonopeus oli 55 km/h ja keskimääräinen siirto oli 95 km (1 - 300 km). Hakkurin toiminnallinen käyttöaste oli jakson aikana 57 % ja tekninen käyttöaste 83 %. Yhdellä teräkerralla haketettiin ennen sen vaihtoa runsaat 380 hake-m<sup>3</sup>.

#### 4.1.4 Työn tuottavuus

Vaikka hakkurilla voidaankin hetkellisesti ja pienillä erillä päästä yli 100 m<sup>3</sup>:n tuntituotostasoon, on käytännön työssä muodostuva tuottavuus selvästi pienempi. Tässäkin seurannassa haketuksen tuottavuus vaihteli työmaittain ja haketettavan raaka-aineen puhtaudesta riippuen hyvin paljon.

Seurannalla määritetty työn tuottavuus oli keskimäärin 45,8 hake-m<sup>3</sup>/ käyttö-tunti. Haketuksen tuottavuus vaihteli huomattavasti samanlaisen raaka-aineen puitteissakin (kuva 2).



Kuva 2. Haketuksen suhteellinen tuottavuus ja sen vaihtelu eri raaka-aineilla, hakkuutähde = 100.

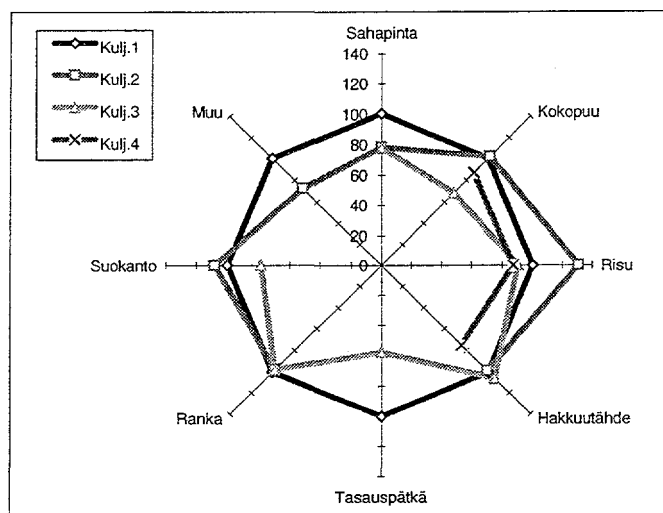
Haketuksen tuottavuus alkoi kasvaa, kun työmaan koko ylitti 400 m<sup>3</sup> ja kasan koko 200 m<sup>3</sup>. Suurten työmaiden tuottavuusarvoja alentavat tosin suokantojen haketustyömaiden pienet haketustuottavuudet. Pienet kohteet taas ovat usein rankojen haketuskohteita.

Käyttökohteen asettaman hakkeen tikuttomuustarpeen vaikutusta haketuksen tuottavuuteen verrattiin raaka-aineittain. Tikuttomuustarpeen puuttuminen vaikutti tuottavuuteen rankojen haketuksessa sekä sekalaisten "muiden" materiaalien haketuksessa. Suokannoilla, risuilla, hakkuutähteellä, kokopuilla, sahapinnoilla ja tasauspätkillä tikuttomuustarpeella ei ollut selkeää vaikutusta haketuksen tuottavuuteen.

Hakkurin seula-asetteella ei ollut havaittavaa vaikutusta haketuksen tuottavuuteen. Ainoastaan rankojen - sekä osin tasauspätkien - haketuksessa voitiin havaita seulan haketuksen tuottavuutta alentava vaikutus. Maahan haketettaessa haketuksen tuottavuus oli 9 % korkeampi kuin suoraan hakeautoon haketettaessa.

Haketuksen tuottavuutta tarkasteltiin kuljettajien välillä raaka-aineittain (kuva 3). Kaikki kuljettajat eivät hakettaneet kaikkia materiaaleja seurantajakson

aikana, joten kaikkia tuottavuusarvoja ei voitu laskea. Tarkasteluun ei ole myöskään otettu kuljettajaa, joka on hakettanut hyvin vähän kyseessä olevaa raaka-ainetta.



Kuva 3. Haketuksen suhteellinen tuottavuus eri raaka-aineilla ja eri kuljettajilla (100 = Kuljettaja 1 kaikilla raaka-aineilla).

Karsittujen rankojen haketuksessa eri kuljettajien työn tuottavuus oli lähes sama. Muiden raaka-aineiden haketuksessa tuottavuuserot olivat selviä, mutta kuitenkin pieniä, mikä kertoo hakkurin olevan helppokäyttöinen. Niinkin vaikean raaka-aineen kuin hakkuutähteen haketuksessa kaikkien pääkuljettajien tuottavuudet olivat hyvin lähellä toisiaan.

## 4.2 HAKKEEN LAATU

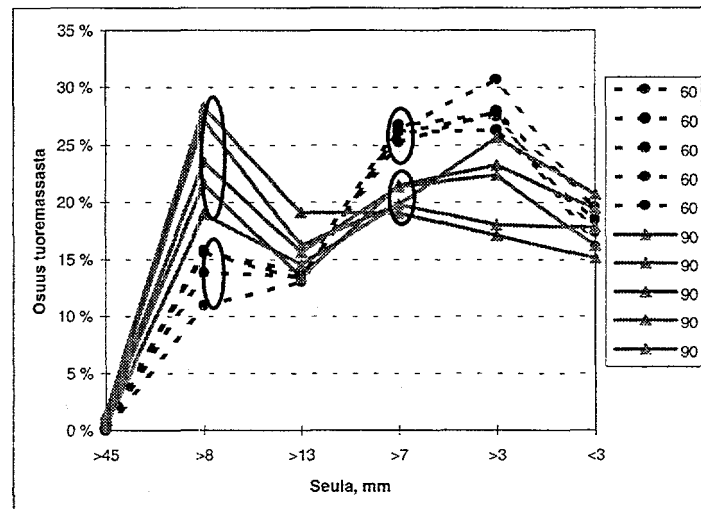
Näytteet seulottiin reikä-rakoseulalla, jossa olivat päältä lukien 45 mm:n reikäseula, 8 mm:n rakoseula sekä 13, 7 ja 3 mm:n reikäseulat. Seulonnalla saatiin määritettyä hakkeen peruspalakokojakauma sekä purupitoisuus.

Perusseulonnan lisäksi hakenäytteistä erotettiin 10 - 15 cm, 15 - 25 ja yli 25 cm pitkät hakepalat. Näistä hakepaloista suoritettiin hakkuutähdehakkeella vielä jako kahteen luokkaan: neulastupsut sekä varsinaiset pitkät hakepalat.

## 4.2.1 Hakkuutähdehake

### 4.2.1.1 Seulan vaikutus

Hakkeen palakokoon vaikutti selvimmin hakkurissa käytetty seula ja sen silmäkoko. Erityisen selvästi seulan vaikutus näkyy palakoossa  $>8$  mm (rako) ja  $>7$  mm (reikä). Kuvassa 4 nämä erot on korostettu ympäröimällä selvästi eriliset ryhmät.  $90 \times 40$  mm:n seulaa käytettäessä hake on selvästi paksumpaa ( $>8$  mm) ja siinä on enemmän isoja hakepaloja. Purun osuuteen hakkeessa seulalla tai muilla hakkuriasetteilla ei ole sanottavaa merkitystä



Kuva 4. Hakkuutähdehakkeen palakoon riippuvuus hakkurin seula-asetteesta.  $90$  mm:n seula = kolmiot + yhtenäinen viiva.

### 4.2.1.2 Teräasetteen vaikutus

Hakkurissa kokeiltiin kahta erilaista teräasetettä:  $200$  ja  $220$  mm terän kärjestä terän painikkeen pohjaan. Pienemmän palakoon asetteella ( $200$  mm) tuotetussa hakkeessa oli vain hieman vähemmän isoja hakepaloja kuin isolla palakoasetteella. Myöskään muissa palakokoluokissa ei ollut merkittävää eroa eri teräasetteilla. Näin ollen teräasetteen vaikutus hakkeen palakokojakaumaan on varsin pieni.

### 4.2.1.3 Hakkurin pyörimisnopeuden vaikutus

Haketuksessa kokeiltiin kahta hakkurin moottorin pyörimisnopeutta ( $1700$  ja  $2100$  rpm) ja niiden vaikutusta hakkeen palakokojakaumaan. Hakkurin rummun pyörimisnopeus on  $1/3$  hakkurin moottorin pyörimisnopeudesta. Pienemmällä pyörimisnopeudella tuotetussa hakkeessa oli enemmän isoja hake-

paloja. Suuremmalla pyörimisnopeudella tuotetussa hakkeessa oli enemmän lähinnä 3 - 7 mm:n suuruista hakejaetta.

#### 4.2.1.4 Pitkien tikkujen määrä

Pitkien tikkujen luokissa (10 - 15 cm ja yli 15 cm) oli kaikissa hakenäytteissä varsin vähän haketta. Yli 25 cm pitkiä hakepaloja näytteissä ei ollut yhtään. ”Pahimmassa tapauksessa” 10 - 25 cm pitkien jakeiden osuus oli yhteensä 3,4 paino-% hakenäytteen tuoremassasta. Vähimmillään haketta näissä luokissa oli vain 0,1 %.

Mahdollisimman vähän pitkiä tikkuja sisältävään hakkuutähdehakkeeseen voidaan päästä käyttämällä hakkurissa tiheämpää seulaa sekä hakkurin teräasetteena säätöä pienelle palakoolle. Pitkien tikkujen riski hakkeessa on vastaavasti suurimmillaan, kun hakkurissa käytetään harvaa seulaa ja/tai suurta hakkeen palakokoa sekä hidasta hakkurin pyörimisnopeutta. Hidas hakkurin pyörimisnopeus vaikuttaa etenkin yli 45 mm:n kokoisten hakepalojen määrää lisäävästi.

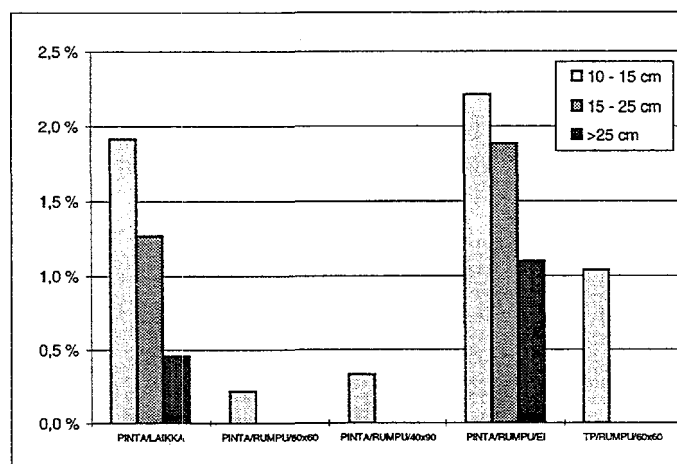
### 4.2.2 Sahauspinta- ja tasauspätkähake

#### 4.2.2.1 Pitkien tikkujen määrä

Sahauspinta- ja tasauspätkähakenäytteitä otettaessa selvitettiin vain seulaasetteen vaikutusta hakkeen palakokoon ja pitkien tikkujen määrään. Lisäksi verrattiin Evolution-rumpuhakkurilla tuotettua haketta laatuominaisuuksiltaan laikkahakkurilla tuotettuun hakkeeseen.

Kuorittujen tukkien sahauspintoja haketettiin kolmella eri seula-asetteella:

1. Ilman seulaa, 2. Harvalla 90 x 40 mm:n seulalla ja 3. Tiheällä 60 x 60 mm:n seulalla. Seuloilla saatiin hakkeesta eliminoitua kokonaan yli 15 cm pitkät tikut (kuva 5). Tiheää seulaa käyttämällä sahauspintahakkeesta saatiin poistettua myös lähes kaikki yli 10 cm pitkät tikut. Ilman seulaa haketettaessa rumpuhakkurilla tuotettu hake on pitkien tikkujen määrältään heikompa kuin laikkahakkurilla tuotettu hake.



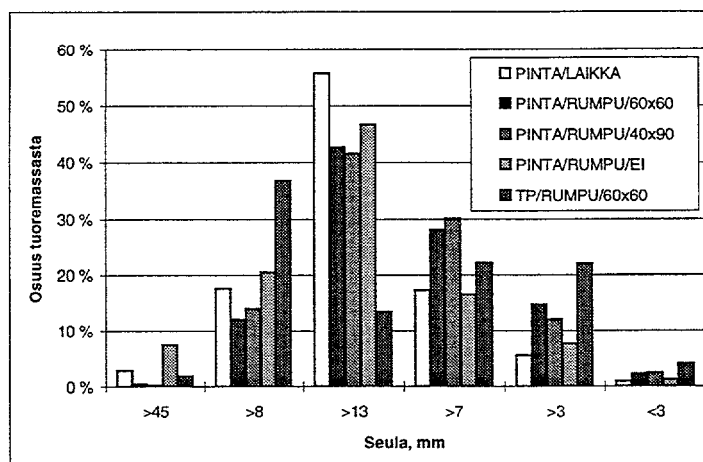
Kuva 5. Erimittaisten pitkien tikkujen osuus pinta-/tasauspätkähakkeessa eri seula-asetteilla.

#### 4.2.2.2 Hakkeen palakoko

Laikkahakkurilla sahauspinnoista tuotettu hake oli palakooltaan tasaisempaa kuin rumpuhakkurilla tehty, sillä yli 50 % hakkeesta kuului palakokoluokkaan >13 mm (kuva 6). Myös purun osuus oli pienempi laikkahakkurilla tehdyssä hakkeessa kuin rumpuhakkurilla tehdyssä. Nykyisin käytössä olevilla sahanhakkeiden hinnoittelukertoimilla laskien laikkahakkurilla sahauspinnoista tuotettu hake oli n. 16 % arvokkaampaa kuin rumpuhakkurilla tehty. Ero muodostui siitä, että hinnoittelukertoimien mukaisessa hinnoittelussa palakoko >13 mm on selvästi arvokkainta.

Tasauspätkähakkeessa oli selvästi eniten paksuja eli 8 mm:n rakoseulalle jääviä hakepaloja. Näiden hakepalojen osuus oli peräti 37 %. Tasauspätkähakkeessa oli myös eniten alle 7 mm:n kokoista hienoainetta. Nämä ominaisuudet johtuvat tasauspätkien lyhyydestä. Koska tasauspätkissä on paljon palojen päitä, syntyy niistä sekä ylipaksuja paloja että hienoainesta palojen syöttyessä hakkuriin epätasaisesti.

Rumpuhakkurin seuloilla saatiin hakkeesta vähennettyä erittäin tehokkaasti ylisuuret palat. Kun sahauspintoja haketettiin rumpuhakkurilla ilman seulaa, oli hakkeessa >45 mm:n hakepaloja lähes 10 % ja seuloja käytettäessä alle 1 %. Seulojen käytön haittana oli tosin purun ja hienoaineksen määrän lisääntyminen, mikä oli kuitenkin melko vähäistä.



Kuva 6. Sahauspinta-/tasauspätkähakkeen palakokojakauma eri seula-aseteilla.

## 5 RAPORTIT

*Lahti, P. & Vesisenaho, T. 1996. Evolution-energiapuuhakkurin käyttöselvitys. Energiaselvityksen loppuraportti KTM:n energiaosastolle. Dnro 21/854/95. 20 s. + liitt. 1 s.*

*Vesisenaho, T. 1996. Evolution-energiapuuhakkurin käyttöselvitys. Tutkimusllostus ENE31/T0100/96. VTT Energia: Jyväskylä. 23 s. + liitt. 4 s. Luottamuksellinen.*

*Vesisenaho, T. 1996. Evolution R910 -drum chipper. Esite. 2 s.*



# KONEELLISEN PUUNKORJUUN HAKKUUTÄHTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN BIOPOLTTONAINEENA

- Y108

Jaakko Ebeling  
Jaakko Pöyry Consulting Oy  
PL 4  
01621 Vantaa

Puh. (09) 8947 2676  
Fax (09) 8782 482

## **Abstract: Utilization of logging waste from mechanical spruce dominated final cuttings**

The aim of the project has been to improve the economy of collecting logging waste from spruce dominated mechanized final felling. This section of the biomass is regarded as the most promising alternative biofuel source.

The project compared different systems of collecting this raw material and concluded, that the most economical way to do this was to

- integrate the transport of logging waste from the forest to the road side with the transport of logs using the equipment already at the site. The use of a separate tractor proved uneconomical compared to the integrated system.
- Chip the logging waste at the road side with an integrated chipping and transport lorry (truck) equipped with three 20 feet standard or modified containers. The total cargo space in the lorry is thus around 100 m<sup>3</sup> loose volume. The economical transport distance of this equipment is around under 100 km one way distance.

The report contains also detailed drawings of the technical solution arrived at. The main idea is to use a module structure, where the chipper - the Bruks 803CT - is located together with most of the hydraulics, crane and the control equipment. The only outside connections needed are the hydraulic pressure from the pump and the operational unit with the necessary electrical panel.

Thus the assembly and installation of the module on the lorry is rapid and the quality of the work can be maintained high. This contributes very positively to the technical availability of the system as a whole.

The resulting product is an industrial quality equipment with technical availability in the higher 95 % range. This differs positively from the normal mobile equipment standards utilized in the trade. The technical availability of the truck itself corresponds to the amount of investment made in this part of the unit.

The operation is designed on the basis of one man operation and in such way that the need for the driver-operator to step down from the controls is minimized. In normal situation the operation can be fully accomplished from the drivers cab - even when changing the containers.

## 1 BIOENERGIAPROJEKTI Y108

Bioenergian tutkimusohjelmaan kuuluvana on vuosina 1994 - 1996 toteutettu projekti "Hakkuutähteiden hyödyntäminen koneellisilta päätehakkuualueilta".

Projekti piti alunperin toteuttaa vuosina 1994 - 1995 yhteistyössä Jaakko Pöyry Consulting Oy:n ja Oy Sisu Auto Ab:n kanssa. Sisu ilmoitti kuitenkin syksyllä 1995 vetäytyvänsä projektista uuden kuorma-automallin aiheuttaminen kiireiden takia. Tässä vaiheessa Sisu oli jo myöhässä yli vuoden sovitusta aikataulusta. Joulukuussa 1995 Sisun tehtävät sovittiin annettavaksi Teco Engineering Oy:lle Tervakoskelta. Yritys suorittikin työn ja tuloksena on nyt käytävissä yksityiskohtaiset tekniset piirrustukset sekä painolaskelmat projektin toteuttamista varten.

Projektin päällikkönä on ollut metsänhoitaja Jaakko Ebeling Jaakko Pöyry Consulting Oy:stä. Teco Engineering Oy:n osuudesta on vastannut toimitusjohtaja Pekka Vänninmaja. Työhön ovat osallistuneet Pauli Korkeela ja Kauko Turunen, joka on myös vastannut työhön liittyvien paino- ja lujuuslaskelmien suorittamisesta. Työn tuloksena syntyneet piirrustukset ovat Teco Engineering Oy:n omaisuutta.

Projektiin kuului sopimuksen mukaisesti seuraavat alueet:

- hakkuutähteiden ja ainespuun samanaikainen korjuu koneellisilta hakkuualueilta (työmenetelmä ja kustannusselvitys)

- hakettavan ja kuljettavan konttiauton yksityiskohtainen suunnittelu ja konttitekniikan soveltaminen
- haketuslaitteiden valinta ja konttitekniikka
- muiden bioenergiaprojektien seuranta
- projektin tekninen valmius
- projektin kustannusrakenteen ja kilpailukyvyn selvittäminen
- prototyypivalmiuden selvittäminen

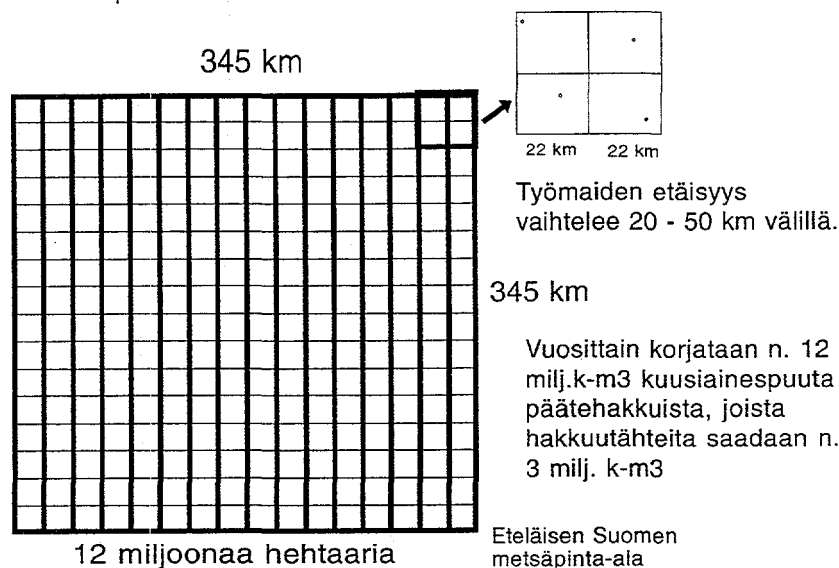
Työ on saatu valmiiksi toukokuussa 1996 ja prototyypistä on käytettävissä tarjous ja työpiirrustukset.

## 2 KUUSIVALTAISET PÄÄTEHAKKUULEIMIKOT

Oheisen kuvan esittämän mallin avulla tutkittiin samanaikaisesti käynnissä olevien kuusivaltaisten päätehakkauiden esiintymistiheyttä eteläisessä Suomessa.

Näin saatuja tuloksia käytettiin perustana lakelmille vertailtaessa koneiden (metsätraktoreiden) siirtymisien aiheuttamia kustannuksia erillisessä ja integroidussa hakkuutähteiden korjuussa. Tämän tekijän vaikutus hakkuutähteiden korjuun kustannuksiin ympärivuotisessa toiminnassa on yleensä jäänyt vähälle huomiolle. Tämän selvityksen tulosten perusteella kysymyksessä on ratkaiseva tekijä saavutettavalle kustannustasolle.

Suomessa on samanaikaisesti käynnissä n. 250 kuusivaltaista päätehakkuutyömaata, joista hakkuutähteen korjaaminen samanaikaisesti ainespuun kanssa on mahdollista.



Kuva 1. Kuusivaltaisten päätehakkuuiden jakaantuminen eteläisen Suomen alueelle. (Teoreettinen laskelma)

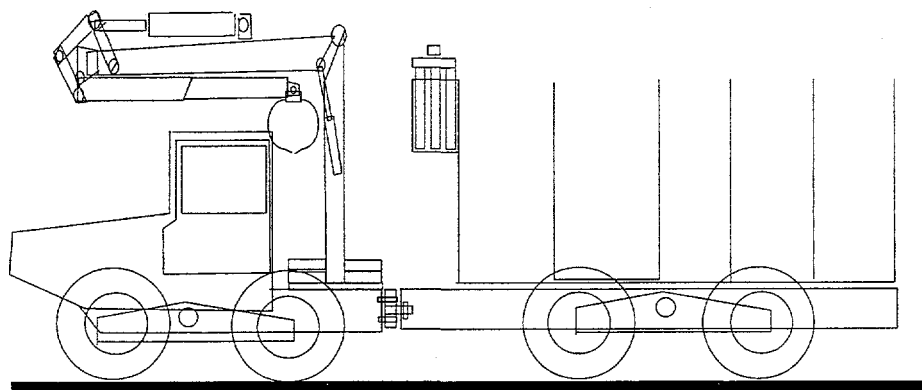
### 3 YMPÄRIVUOTINEN YHDISTETTY KORJU- AVAIN KUSTANNUSTEHOKKUUTEEN

Selvityksen johtopäätös on, että ainespuu ja hakkuutähteet päätehakkuualueilta kannattaa korjata samanaikaisesti, useimmiten samalla kalustolla. Erillisellä traktorilla suoritettu korjuu muodostuu olennaisesti kalliimmaksi joutuksen lisääntyneiden siirtojen aiheuttamasta käyttöasteen alenemisesta.

On todennäköistä, että normaaliin metsätraktoriin kannattaa yhteiskorjuun mahdollisesti yleistyessä tehdä joitain muutoksia sen soveltumiseksi nykyistä paremmin hakkuutähteen ja ainespuun samanaikaiseen korjuuseen. Muutokset kohdistunevat ensisijaisesti kouraan (ns.risukoura), kuormatilan suojaukseen ja mahdollisesti itse kuormatilan kokoon. Hydraulisesti säädettävä kuormatilan koko on luonnollisesti eduksi oksien kuljetuksessa, mutta sen lopullinen tarve selviää vasta käytännön mittakaavan kokeissa, joissa hakkuutähteitä ja ainespuuta kuljetetaan samanaikaisesti palstalta ainespuulla hakkuutähteitä painaen.

Ainespuukuorman vaikutus hakkuutähteiden tiivistymiseen kuormauksen ja kuljetuksen aikana on monimutkainen prosessi, johon vaikuttaa mm. hakkuutähteiden ja ainespuun suhde samassa kuormassa. Vaikutusta on myös sillä, missä asennossa hakkuutähde kuormataan traktorin kuormatilaan. Työmenetelmien kehittämisessä kannattaa pyrkiä siihen, että oksat ja latvat ovat ensisijaisesti kuormatilan suuntaisia. Ristikkäisestä kuormauksesta syntyy huomponpi täytös.

Koska ainespuukoura ja "risukoura" ovat parhaimmillaan täysin toisistaan poikkeavia teknisiä ratkaisuja on varauduttava molempien käyttöön. Parhaiten tämä onnistuu, mikäli kourat voidaan vaihtaa "lennossa" automaattisen pika-kytkimen ja traktoriin kiinnitetyn kouratelineen avulla. Ratkaisu vaatii kehitystyötä. On myös todennäköistä, että yhdistetyssä korjuussa metsätraktoriksi kannattaa valita normaalia tehokkaampi malli.



*Kuva 2. Metsätraktori vaihtokourilla. Ainespuun ja hakkuutähteen yhdistetty korjuu.*

## 4 HAKETTAVA JA KULJETTAVA KONTTIAUTO

Projektin hakkuriksi valittiin Bruks 803CT, joka on uusi ja suunniteltu erityisesti hakkuutähteiden haketukseen. Hakkurin syöttöaukon koko on 780 mm x 620 mm. Tämä on olennaisesti suurempi kuin kilpailevien hakkureiden syöttöaukko. Suuri syöttöaukko on tärkeää hakkuutähdehaketuksen teholle.

Hakkuri laitteineen sijoitetaan Teco Engineering Oy:n tehtaalla valmiiksi koottuun moduliin, johon lisäksi tulevat hydraulikan komponentit, nosturi. Mainitun "modulin" lisäksi, joka sijoitetaan toispuolisesti kuorma-auton rungon päälle, on käytettävissä 0.6 metriä tilaa auton oikealla puolella. Tähän tilaan käännetään hakkurin syöttölaite autolla ajettaessa. Hakkurin käyttö on hydraulinen.

Hydraulisen voimansiirron edut ovat toisaalta seuraavat:

- Hakkurimodulin rakenne voidaan standardisoida pitkälle soveltuvaksi erilaisiin ajoneuvoihin
- Hakkurin toiminnot voidaan automatisoida siten, että saavutetaan käytettyyn konetehtoon nähden suurin nettoteho hakkurin toiminnassa. Tähän päästään estämällä ylikuormitustilanteen syntyminen riittävän pienen kierroslukumariginaalin puitteissa, jolloin hakkurin kierrosluku pysyy tasaisena kaikissa kuormitustilanteissa katkomalla syöttörullien toimintaa sykäyksittäin automaattisesti.
- On osoittautunut, että hydraulikan avulla saadaan hakkuri mahtumaan pienimpään mahdolliseen tilaan, joka on olennaista ajoneuvon kokonaismittojen kannalta.
- Hakkuri- ja nosturitoimintojen kokonaistoteus voidaan suunnitella hydraulikan avulla siten, että hakettavan ja kuljettavan kuorma-auton valmistus- ja asennusaika saadaan mahdollisimman lyhyeksi, koska toiminnoille itsenäisen moduulin asentaminen on nopeaa verrattuna kuorma-auton päälle erikseen "rakennettavan" järjestelmän asentamiseen.
- On myös viitteitä siitä, että hakkurimodulin kokonaispaino saadaan hydraulisella ratkaisulla alhaisemmaksi kuin mekaanisella ratkaisulla.

Projekti on teknisesti valmis prototyypin toteuttamiseen. Kaikista osista ja käytetystä auton alustasta on saatu tarjous. Tämän lyhennetyn raportin liitteenä on yksi piirustus teknisestä toteutuksesta ja painolaskelmista. Piirustus on Teco Engineering Oy:n omaisuutta.

Ratkaisussa:

- Hakkuri sijoitetaan tilaelementin sisään siten, että sen kytkenät ja liittymät kuorma-auton tekniikkaan voidaan minimoida. Vetoauton pituutta on kas-

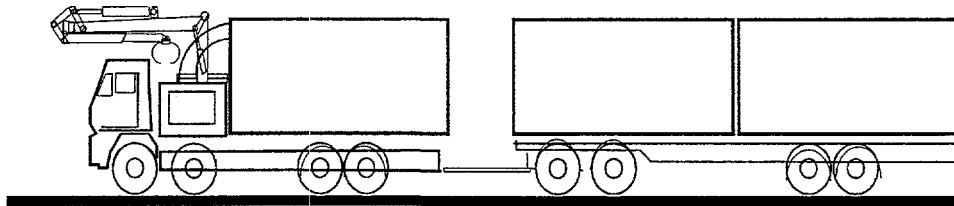
vatettu 2 metrillä normaalista, jolloin hakkurimoduli voidaan sijoittaa paikalleen ilman normaalisti vaadittavaa "sovittelua" ja siihen liittyvää suurta suunnittelupanosta. Tilamodulin käyttö helpottaa myös hakkurin valintaa - kaikki hakkurit, jotka mahtuvat ajateltuun kuutioon, ovat mahdollisia.

- Auton lisätty pituus antaa myös mahdollisuudet käyttää standardiratkaisuja vaihtolavatekniikan osalta. Käytettäessä normaali-kontteja auton kokonaiskorkeus vaihtolavalaitteilla nousee neljään metriin. Pitällä tähtäimellä vaihtolavalaitteiden rakenne voidaan kehittää sellaiseksi, että ne eivät lisää kuorman korkeutta. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan ole vielä käytettävissä. Laillista korkeutta ei ylitetä normaaliratkaisuissakaan, mutta painopisteen saaminen mahdollisimman alas on eduksi ajoneuvon maasto- ja maantiet ominaisuuksille.
- Haketusmoduli voidaan asentaa joko uuteen tai käytettyyn Sisu kuorma-autoon. Olemme selvittäneet, että myös vanhoihin autoihin voidaan asentaa jälkiasennuksena tarvittava voimanulosotto.
- Projekti on toteutettavissa esimerkiksi siten, että Sisu suorittaa käytettyyn autoon tarvittavat vaihtolavasovitukset ja yksityinen konepaja (Teco Engineering Oy) suorittaa hakkurin ja nosturin asennuksen. Ohjaamon rakenteeseen tarvittavat muutokset on myös kätevintä tehdä yksityisen konepajan toimesta.
- Auton runko on 2 m normaalia pidempi ja tästä johtuen ajoneuvon kokonaispituus on 24 metriä. Tähän tarvittava lupa saatiin vuoden 1994 kesällä Liikenneministeriöstä siten, että nyt on käytettävissä prototyypin rakentamiseen tarvittava lupa. Tyypilupa myönnetään prototyypistä saatujen kokemusten perusteella automaattisesti, mikäli ajoneuvon toiminnasta ei ole havaittu olevan haittaa muulle liikenteelle.

## 5 PROJEKTIN KUSTANNUSRAKENNE JA KILPAILUKYKY

Koko projektista on nyt käytettävissä tarjoushinta. Täten käytettyyn kuorma-autoon perustuva hakkurikuorma-auto on esitetyn ratkaisun mukaisesti tilattavissa hintaan, joka sijoittuu n. 2.0 - 2.5 milj.mk:n alueelle (uusi moottori). Vanhaa moottoria käytettäessä hinta putoaa oleellisesti. Pientä vaihtelua ai-

heutuu toimintojen automatisoinnin ja kauko-ohjauksen ratkaisuvaihtoehtoja. Uuteen autoon perustuva ratkaisu maksaa n. 3.0 - 3.5 miljoonaa markkaa.

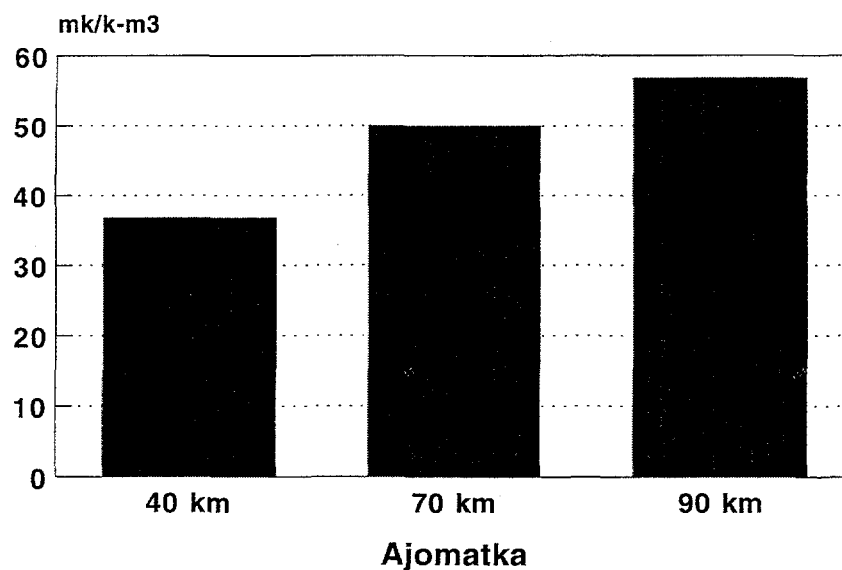


*Kuva 3. Sisu hakettava konttiauto.*

Seuraavat esimerkkikustannukset on laskettu 2 miljoonan mk käytettyyn autoon rakennetun järjestelmän mukaisesti.

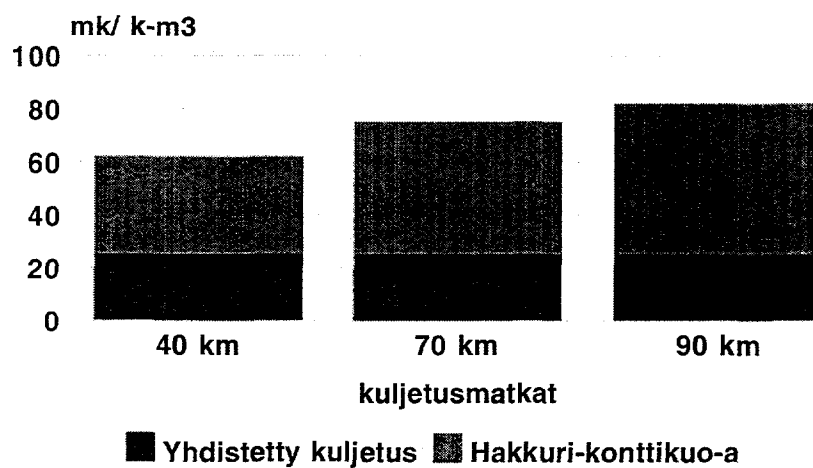
Kuvassa esiintyvä auton periaatekuva edustaa painolaskelmien perusteella parhaaksi katsottua akseliratkaisua.

Seuraava kustanuslaskelma esittää saman hakkurikonttiauton kustannukset sovellettuna ympärivuotiseen kaksivuorotyöhön 40km, 70 km ja 90 km matkoilla.



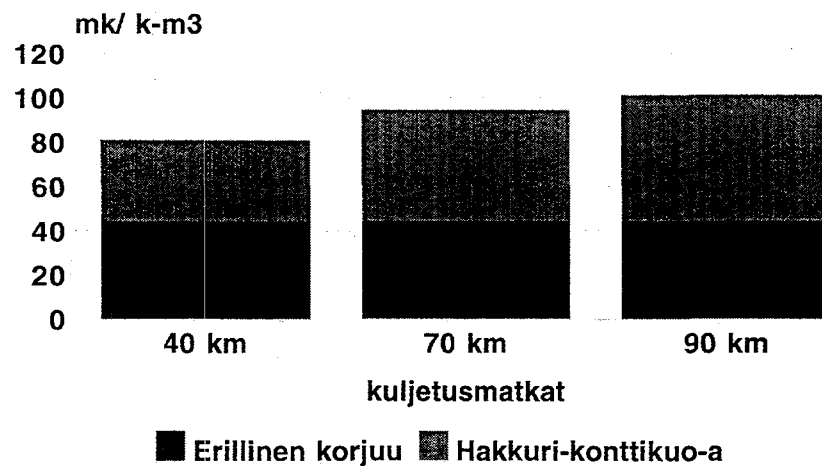
Kuva 4. Hakkurikonttiauto. Kustannukset eri etäisyyksillä.

Yhdistettäessä hakkuutähteiden korjuun kustannukset ja hakettavan kontti-kuorma-auton kustannukset saadaan seuraavat yhteenvetokuvat:



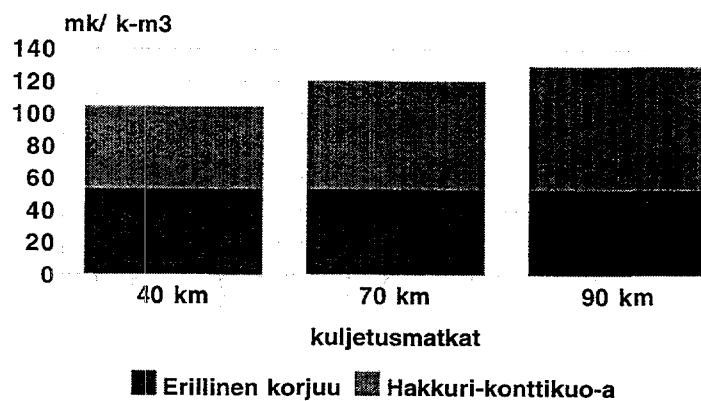
Toiminta 250 vrk - traktori 3-vuoro  
auto 2-vuoro

Kuva 5. Hakkuutähdeke. Yhdistetty korjuu. Hakkuri-konttikuorma-auto.



Toiminta 250 vrk - traktori 2-vuoro  
auto 2-vuoro

Kuva 6. Hakkuutähdekehake. Erillinen korjuu. Hakkuri-konttikuorma-auto.



Toiminta 250 vrk - traktori 1-vuoro  
auto 1-vuoro

Kuva 7. Hakkuutähdekehake. Erillinen korjuu. Hakkuri-konttikuorma-auto.

## 6 JATKOTOIMENPITEET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Menetelmän talous perustuu ympärivuotiseen toimintaan ja vuorotyön käyttöön. Suomessa on tällä hetkellä vähän sellaista metsähakkeen käyttöä, joka voisi tarjota tasaisen ns lämpökäyrästä riippumattoman kysynnän.

Tämä pulma koskee kaikkia metsähakkeen tuotantomenetelmiä. Lämmityskäyttö yksittäisissä kohteissa tai aluelämpöjärjestelmissä vaatii polttoainehuollolta mukautumista lämmön kysynnän vaihteluihin. Koska varastointimahdollisuudet ovat rajoitetut aiheuttaa tämä jaksoittaisuus myös jaksoittaisuuden koneiden käytölle niin metsässä, haketuksessa ja kuljetuksissakin.

Kuten selvityksen kustannusyhteenvedoista voidaan päätellä, kyseessä on merkittävä tekijä polttihakkeen kustannuksissa. Kysymyksessä on joko kannattava toiminta tai runsaasti yhteiskunnan tukea vaativa toiminta.

Voidaankin sanoa, että kuusivaltaisten päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuu avaa mahdollisuuden taloudellisesti terveeseen energian hankintaan, joka tulee toimeen ilman yhteiskunnan tukea. Edellytyksenä on jatkuvan käytön luominen metsistä syntyvälle hakkeelle.

Tämä tavoite on mahdollista toteuttaa suhteellisen yksinkertaisesti pienessä ja hajautetussa lämmön tuotannossakin, mikäli näin päätetään. Myös sähkön pienmittakaavainen tuotto voi olla taloudellisesti mahdollista näissä yhteyksissä. Ratkaisun avaimet löytyvät lämpökuorman tasaamisesta.

Helpoin tapa tämän tavoitteen saavuttamiseksi on etsiä sellaisia teollisia kohteita, joissa lämmön tarve on tasainen ympäri vuoden. Tällaisia ovat mm. sahhat (kuivaus), muut metsäteollisuusyritykset ja eräät meijerit.

On myös mahdollista toimittaa suurten laitosten peruskuorma nyt esillä olevalla menetelmällä ja tuottaa huiput turpeella ja muilla helposti varastoitavilla tuotteilla.

Edullisin ratkaisu bioenergian hyödyntämiseksi kansantalouden kannalta on pyrkiä kevytöljyn ja suoran sähkölämmityksen korvaamiseen hakkuutähdehakkeen avulla. Perustelu on yksinkertainen. Laitospoltossa bioenergiasta maksetaan 45 mk/MWh. Siinä ei ole mahdollisuutta suureenkaan työllistävään vaikutukseen.

Kevytöljyä tai sähköä korvattaessa energiasta maksetaan esimerkiksi 145 mk/MWh. Tällä kustannustasolla voidaan työllisyyden kannattavaan hoitamiseen saada 100 mk/MWh lisäpanostus. Ajateltu ratkaisu perustuu polttoaineen kuivaamiseen, osittaiseen jalostamiseen pelleteiksi ja käyttöön kevyissä paikallisissa kaukolämpöverkoissa (kuivattu hake) ja tai suoraan omakotitalojen ja muissa kevytöljyä käyttävissä uuneissa (pelletit).

Pelletit valmistetaan kuivatun hakkeen seulonnassa syntyvästä ylisuuresta ja alisuuresta fraktiosta, jotka jauhetaan ja puristetaan pelleteiksi.

Hakkeen kuivaaminen avaa sille ympärivuotisen käytön, joka taas vaikuttaa korjuukustannuksiin ratkaisevasti. Kuiva hake voidaan varastoida ja käyttää pakkaskautena.

Menetelmä synnyttää työtä polttoaineen korjuuseen, jalostukseen, jakeluun ja varsinaiseen lämpöurakointiin. Se myös maksimoi konepajojen ja rakennus- sekä vesi- ja lämpöurakoitsijoiden työllisyyden. Toiminta on maaseutukeskeistä ja paikallista, jolloin raha jää kiertämään ja hyödyttämään paikallista elinkeinoelämää.

Käytettäessä puupitoinen bioenergia ensisijaisesti keskitetyissä voimaloissa ei vastaavia vaikutuksia synny.

Suomesta puuttuu puupitoisen bioenergian käytön kokonaissuunnitelma, jonka avulla voitaisiin nähdä ja saada esiin tämän kansantalouden kannalta tärkeän sektorin mahdollisuudet. Aika on nyt kypsä näiden ratkaisujen tekoon. Tekninen valmius laajamittaiseen polttoaineen hankintaan on olemassa. Valmiutta ei vielä ole polttoaineen jatkojalostamiseen ja jalostetun polttoaineen optimaaliseen käyttöön eri kokoisissa kohteissa (esim. 10 kW - 1 MW).

## LAATU, TALOUDELLISUUS JA LOGISTIIKKA



# HAKE-, PUU- JA PUUTAVARALAJIMENETELMIEN TALOUEDELLISUUS MASSATEHTAAN KUITU- JA ENERGIAPUUN HANKINNASSA - 110

Vesa Imponen  
Metsäteho Oy  
PL 194  
00131 Helsinki

Puh. (09) 132 5243  
Fax (09) 659 202  
vesa.imponen@metsateho.fi

## **Abstract: The economy of ship, tree section and short wood methods in the procurement of a pulp mill**

Regional forest management plans for Finland's private, non-industrial forestry indicate that first thinnings account for 13% of the felling potential in these forests. The majority of first thinnings focus on pine-dominated stands. First-thinnings wood represents 29 % of the allowable cut consisting of pine pulpwood. However, small-diameter pine has not enjoyed great demand as raw material by the chemical pulp industry due to the high associated production costs and due to its inferior fibre properties when compared to large-sized softwood logs. Consequently, research and development work has been focused on the procurement, handling and usage of small-diameter wood, and especially of first-thinning pine.

Both defibration and use as fuel are options when considering how to exploit small-diameter softwood raw material. Integrated procurement of industrial wood and wood fuel have improve the profitability of wood from thinnings in pulp manufacture and in energy generation at the mill. These methods would appear to be economic in regard to both the wood procurement of the pulp mill even at the present prices paid for alternative fuels. Advances in combustion technology and increased generation of electric power improve the competitiveness of methods based on the harvesting tree sections in comparison with the shortwood system yielding delimbed roundwood. The adoption of longer timber lorry-trailer combination as recognised by EU directives wil

have the effect of reducing the transportation costs for non-delimbed and partially delimbed wood.

## 1 PROJEKTIN TAUSTA

Puunhankinnassa on edelleen erityistä kehittämistarvetta harvennuspuun korjuussa, kuljetuksessa ja käsittelyssä, jotta pieniläpimittaisen puun käyttömahdollisuudet kuidutuksessa ja energian tuotannossa paranisivat. Erilaisten tekniikoiden ja menetelmien toimivuutta ja taloudellisuutta on tarkasteltava tuotantotoimintaa harjoittavien yritysten näkökulmasta.

Metsäteollisuuden raaka-aineen hankinnassa tuotantoketjut muodostuvat korjuu-, kuljetus- ja puunkäsittelyvaiheista, jotka siirtävät puuta käsittelypaikasta toiseen tai muuttavat puuraaka-aineen muotoa. Yksittäisten työvaiheiden erillinen kehittäminen ei johda kokonaisuuden kannalta edullisimpien tekniikoiden löytämiseen. Yhdistetyssä aines- ja energiapuun tuotannossa oksa- ja latvusmassan arvo polttoaineena vaikuttaa oleellisesti erilaisten tekniikoiden edullisuussuhteisiin.

Metsäteollisuuden energian tuotannossa puupolttoainetta on valmistettu ainespuun hankinnan ja puunkäsittelyn sivutuotteena. Tavaralajimenetelmää sovellettaessa polttoaine koostuu kuoresta ja puuhävikin kautta kertyvästä puuaineesta. Poltettavaa puumäärää voidaan lisätä käyttämällä karsimatonta puuta tuottavia koko- tai osapuumenetelmiä. Myös kuitupuun minimiläpimitan pienentäminen tavaralaji- tai osapuumenetelmän yhteydessä kasvattaa energijakeen osuutta. Samalla kuitenkin hakkeen massa- ja kuituominaisuudet heikkenevät ja sellun valmistuskustannukset kasvavat. Ensiharvennuksissa käytettävien ns. integroitujen aines- ja energiapuun hankintamenetelmien edullisuuteen vaikuttaa luonnollisesti myös vaihtoehtoisten raaka- ja polttoainneiden hinnat.

## 2 TAVOITTEET

Projektin tavoitteena oli tutkia erilaisten yhdistettyjen aines- ja energiapuun tuotantomenetelmien taloudellisuutta massatehtaiden puunhankinnassa. Simulointi- ja optimointimallien avulla tarkasteltiin metsäteollisuuden näkökulmasta seuraavien menetelmien edullisuutta.

- Tavaralajimenetelmä, rumpukuorinta tehtaalla

- Osapuumenetelmä, rumpukuorinta tehtaalla
- Ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikköön perustuva hankinta
- Osapuumenetelmä, haketus ja hakkeen puhdistus tehtaalla
- Palstahaketus, hakkeen puhdistus tehtaalla

Erilaisten teknisten ratkaisujen taloudellisuutta tutkittiin järjestelmätasolla ottaen huomioon puunhankinta-, puunkäsittely- ja massanvalmistusvaiheet sekä tehtaan energian tuotanto. Hankkeessa tehtiin bioenergian tutkimusohjelman ja metsäteollisuusyritysten käyttöön tuotantoketjujen vertailulaskelmia. Lisäksi selvitettiin Kauppa- ja teollisuusministeriön toimeksiantona lääneittäiset puupolttoaineen tuotantopotentiaalit yhteistyössä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ja VTT Energian kanssa.

### 3 TOTEUTUS

Projektissa tutkittiin ja vertailtiin sellutehtaan tuotannon kannalta uusia ensiharvennuspuun hankintaketjuja mallitarkasteluihin perustuen. Tutkimuksessa otettiin huomioon puun hyödyntäminen jäteliemipolttoaineena ja kiinteää puuainetta käyttävän polttolaitoksen energianlähteenä. Tuotantovaiheiden ja puun ominaisuuksien mallintamisessa käytettiin tutkimusohjelman muiden projektien tuottamia perustietoja. Lisäksi ensiharvennusmännyn laatua ja käsittelyn vaikutuksia koskevaa tietopohjaa parannettiin Enocell Oy:ssä ja Enson Karjalan hankinta-alueen ensiharvennustyömailla tehdyillä kokeilla. Osaprojekteissa yhteistyökumppaneina olivat Metsäntutkimuslaitos, KCL, VTT Energia ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Hakkuiden rakenteen ja korjuuolosuhteiden selvittämistä varten hankittiin ja käsiteltiin kunnittaisia metsäsuunnitteluaineistoja. Korjuukohteiden puustoa kuvattiin runkolukusarjoilla, joita saatiin VTKK tallentamista vuoden 1990 laajoista pystymittaustiedostoista. Metsäntutkimus antoi Metsätehon käyttöön latvusmassamallien laatimista varten 6500 kaatokoepuun mittaustiedot.

Metsätehossa rakennettiin olio-ohjelmointikielellä ketjukarsinta-kuorintahaketusketjun optimointiin soveltuva simulointimalli. Lisäksi alueellisia ja tehdaskohtaisia tarkasteluja varten kehitettiin lineaariseen ohjelmointiin perustuva hankintamenetelmien optimointimalli.

VTT Energian asiantuntemusta hyödynnettiin sellutehtaan energian tuotantoa koskevissa tarkasteluissa. Nämä tiedot yhdistettiin KCL:n sulfaattimassan valmistuskustannusmalliin. Kun tähän malliin edelleen liitettiin tuotantoketju-

taiset tuottavuus- ja kustannustiedot, voitiin mäntysellun tuotantoa analysoida kokonaisuudessaan ottaen huomioon puunhankinta-, puunkäsittely- ja sellunvalmistus- ja energian tuotantovaiheet.

Projektin rahoitus oli vuosina 1993, 1994 ja 1995 yhteensä vuosittain 680, 680 ja 350 tuhatta markkaa, josta bioenergian tutkimusohjelman vastaavat vuosittaiset osuudet olivat 400, 400 ja 200 tuhatta markkaa. VTT Energia teki sellutehtaan energian tuotantoa koskevan osaselvityksen, ja KCL vastaavasti tutki ensiharvennusmännyn ominaisuuksia ja laski sellun tuotantokustannuksia. Yhteensä näihin alihankintatöihin käytettiin 100 tuhatta markkaa (+ALV). Lisätietoja projektin tuloksista antaa MH, KTM Vesa Imponen Metsäteho Oy, puh. 132 5243.

## 4 VUODEN 1996 TEHTÄVÄT

Tässä vuosiraportissa käsitellään aiemmin julkaisemattomia tuloksia, jotka koskevat vaihtoehtoisten, kuitu- ja energiapuuta tuottavien hankintaketjujen kilpailukykyä. Ketjukohtaiset laskelmat tehtiin ensimmäistä kertaa siten, että sellunvalmistus ja tehtaan energian tuotanto olivat mukana. Toisaalta osapuunakorjuuta tarkasteltiin osana hankinta-alueen toimintaa ottaen huomioon vaikutukset tavanomaisten korjuuketjujen ja autokaluston käyttöasteisiin ja kustannuksiin.

## 5 OSAPUUNAKORJUUSEEN PERUSTUVAT MENETELMÄT SELLUTEHTAAN PUUNHANKINNASSA

### 5.1 TAUSTA

Tämän projektin yhtenä tehtävänä bioenergia tutkimusohjelmassa on ollut vaihtoehtoisten tutkimus- ja kehittämistyön kohteena olevien ensiharvennuspuiden tuotantoketjujen vertailu sellutehtaan näkökulmasta. Tähän saakka näitä menetelmiä on verrattu toisiinsa selluhakkeen hinnan perusteella vaihdellen vaihtoehtoisen polttoaineen hintaa. Tällä tavalla menetellen analyysi on jäänyt puutteelliseksi. Vasta sellun valmistuskustannusten ja massatehtaan ulkopuolelle toimitettavan sähkö ja höyryn arvon huomioon ottaminen mahdollistaa erilaisten tekniikoiden kilpailukyyn vertailun. Toistaiseksi tässäkin on jouduttu rajoittumaan muuttuvien kustannusten laskentaan. Pitkäaikaisesti vaikut-

tavien ratkaisujen tutkiminen vaatisi lisäksi myös pääomakustannusten tarkastelua.

## 5.2 VAIHTOEHTOISTEN MENETELMIEN PUUNHANKINTA- JA SELLUNVALMISTUSKUSTANNUKSET

Puunhankintakustannukset tarkistettiin viimeisten tietojen mukaiseksi. Aiempaa oleellisesti parempia tehtaiden kuorimoita koskevia kapasiteetti-, tuottavuus- ja kustannustietoja ei ollut vielä käytettävissä. Koneellisen osapuuna korjuun tuottavuutta ei ole tutkimusohjelmassa päästy vielä perusteellisemmin tutkimaan. Tästä menetelmästä on jo kuitenkin käytännön kokemuksia, ja laskelmissa käytetty ajanmenekki sekä kustannukset olivat yritysten konemaksujen tasolla (taulukko 1).

*Taulukko 1. Ensiharvennusmänty, minimirunko  $d_{1.3}$  9 cm:n luokka. Kuitu- ja osapuun minimiläpimitta 7 cm. Hakkuukertymä 41 m<sup>3</sup>/ha. Rungon keskikoko 60 dm<sup>3</sup>. Metsäkuljetusmatka 250 m. Autokuljetusmatka 80 km.*

| Erittely                | Tavara-lajeina hankinta |                  | Osapuuna hankinta |                | Massahake |            |
|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|----------------|-----------|------------|
|                         | Yksinpuin               | Joukko-käsittely | Rumpu-kuorinta    | Ketju-karsinta | Osapuu    | Palstahake |
| Suhteellinen kertymä    | 100                     | 101.5            | 110               | 110            | 110       | 1.10       |
| Sellujakeen osuus       | 0.87                    | 0.85             | 0.71              | 0.74           | 0.70      | 0.70       |
| Kantohinta              | 75.0                    | 73.89            | 68.18             | 68.18          | 68.18     | 68.18      |
| Yleiskustannukset       | 25.0                    | 24.63            | 22.73             | 22.73          | 22.73     | 22.73      |
| Hakkuu                  | 78.0                    | 62.40            |                   |                |           | 44.50      |
| Metsäkuljetus/korjuu    | 23.0                    | 23.0             | 72.00             | 72.00          | 72.00     | 34.00      |
| Tienvarsi yhteensä      | 201.0                   | 183.92           | 162.91            | 162.91         | 162.91    | 169.41     |
| Kaukokuljetus, 80 km    | 28.27                   | 28.27            | 35.92             | 35.92          | 35.92     | 33.96      |
| Prosessoinnit tehtaalla | 10.01                   | 11.02            | 16.45             | 21.10          | 23.77     | 17.88      |
| Yhteensä                | 239.28                  | 223.21           | 215.28            | 219.93         | 222.60    | 221.25     |

Vertailulaskelmat tehtiin lähtien nykyisin sovellettavista havukuitupuun mitoista. Minimiläpimittana oli 7 cm ja minimirungon paksuudeksi määriteltiin

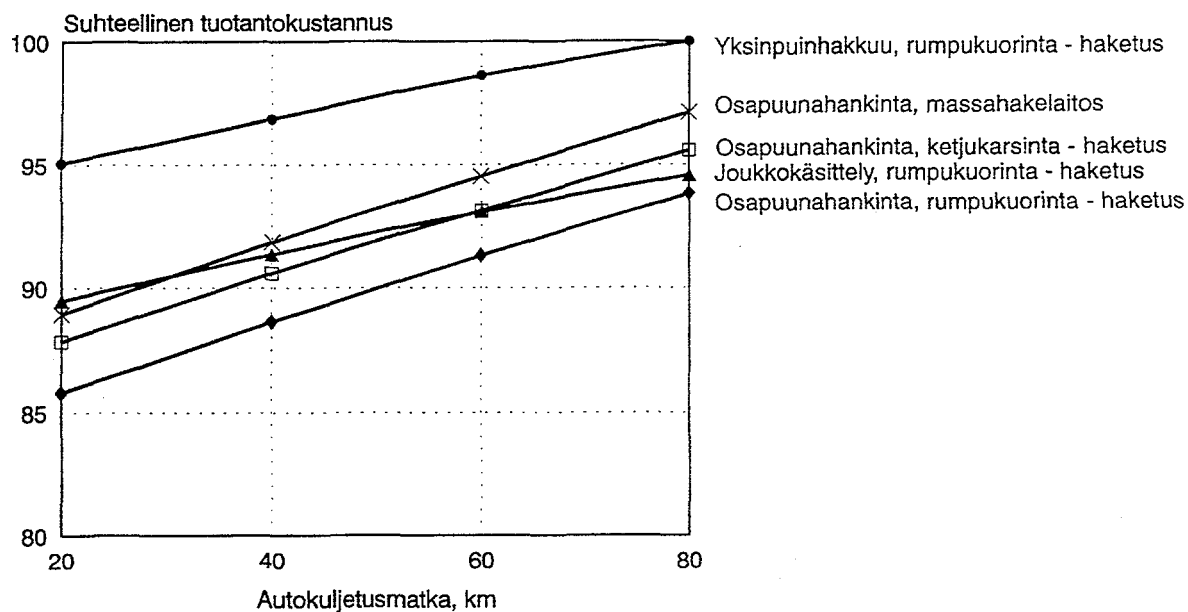
9 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokka. Ensiharvennusmännyn ominaisuuksien kuvaamisessa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen uusimpiin tutkimuksiin perustuvia tietoja ja Metsätehon laskentamalleja (Hakkila ym. 1995).

Sellunvalmistuksen kustannuslaskelmien perustana olivat Enocell Oy:n tehtaalte tehtyt puunkäsittelykokeet ja KCL:n näyte-eristä mittaamat havainnot. Laskelmat vastaavat keskimääräisen sellutehtaan tuotantoa; ne eivät ole tehdaskohtaisia. Vertailutilanne määriteltiin seuraavasti:

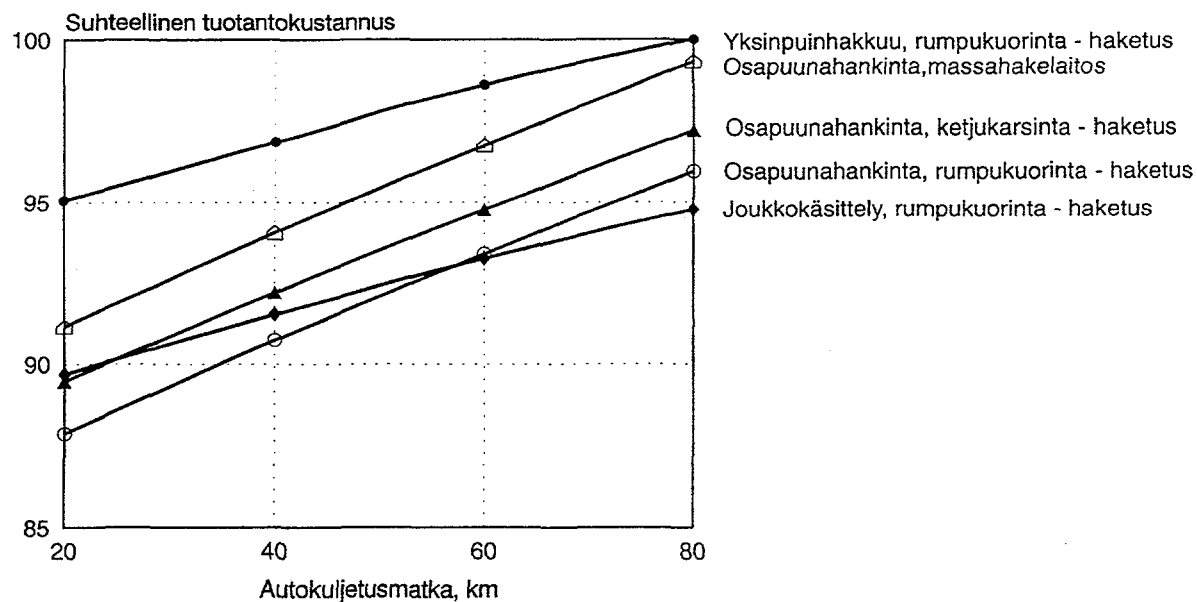
- Tällä hetkellä energiaa tuotetaan vaihtoehtoisella polttoaineella
- Kuitupuun mukana tuleva latvusmassa korvaa tätä polttoainetta
- Tuotettu höyry käytetään tuotantolaitoksilla
- Kuorikattila on tavanomista nykyistä tekniikka

Kun vaihtoehtoisen polttoaineen kustannukseksi oletettiin 45 mk/MWh, yhdistetyt kuitupuun ja puupolttoaineen tuotantomenetelmät olivat ensiharvennushakkuissa kustannuksiltaan kilpailukykyisiä joukkokäsittelevään hakkuukoneeseen perustuvan hankintaketjun kanssa (kuva 1). Esitetty laskentatilanne määriteltiin puupolttoaineen käytön kannalta edulliseksi, koska lisähöyrylle oletettiin olevan kysyntää. Tilanne muuttuu, jos sitä ei tarvita teollisuuden tuotantolaitoksilla tai kaukolämpönä.

Vaihtoehtoisen polttoaineen arvon aleneminen 30 mk:aan/MWh heikensi runsaasti polttojaetta tuottavien menetelmien soveltamismahdollisuuksia. Yli 60 km:in kuljetusmatkoilla joukkokäsittelyhakkuuseen perustuva ketju näyttäisi olevan edullisin (kuva 2). Silti kaikki integroidut tuotantoketjut olivat taloudellisempia ensiharvennusmänniköiden korjuussa kuin koneellinen yksinpuin hakkuu.



Kuva 1. Ensiharvennusmännystä valmistetun sellun suhteellinen tuotantokustannus (hankinta ja sellunvalmistus). Vaihtoehtoisen polttoaineen hinta 45 mk/MWh. Korjuu- ja puunkäsittelykustannukset taulukon 1 mukaiset.



Kuva 2. Ensiharvennusmännystä valmistetun sellun suhteellinen tuotantokustannus (hankinta ja sellunvalmistus). Vaihtoehtoisen polttoaineen hinta 30 mk/MWh. Korjuu- ja puunkäsittelykustannukset taulukon 1 mukaiset.

### 5.3 TARKASTELU

Koneelliseen korjuuseen ja tehtaalla tehtävään rumpukuorintaan perustuva osapuumenetelmä on kustannuksiltaan edullinen ja yksinkertainen ratkaisu karsimattoman puun hankintaan. Sen käyttö kuitenkin edellyttää kuorintaa karsitun puun joukossa, ja osapuun seososuus on pidettävä alhaisena, 10 - 15 %:na. Jos oksaista puuta halutaan hankkia enemmän, tarvitaan osapuu-rumpukuorinta -menetelmän rinnalle myös muita vaihtoehtoja.

Pohjois-Amerikassa kehitetty ketju-karsinta-kuorintatekniikka tarjoaa uuden vaihtoehdon pieniläpimittaisen karsimattoman puun käsittelyyn. Toisin kuin perinteinen, seosperiaatteella rumpukuorintaa hyödyntävä osapuumenetelmä, ketjukarsintamenetelmät tukevat pyrkimystä raaka-aineen lajitteluun. Tosin karsimattomat rangat ja muukin päävirrasta erotettava kuituraaka-aine on esimerkiksi mahdollista katkaista ennen rumpukuorintaa, ja rummun jälkeen nämä muita lyhyemmät pölkyt voidaan prosessoida omalla linjallaan.

Eräs kiintoisa mahdollisuus kuitujen laadun parantamisessa voisi olla oksapuun erottelu muun kuitupuun joukosta. Tähän eivät nykyiset mekaaniset karsinta-kuorintalaitteet kykene. Sen sijaan värierotteluun perustuvaa massahakemenetelmää lienee mahdollista kehittää tähän suuntaan.

Kustannusvertailuissa oletettiin, että kuoripitoisuus kaikkia erilaisia käsittelytekniikoita käytettäessä tavoitteiden mukainen. Mahdollisia eroja hakkeen palakokojakaumassa otettu huomioon.

Usein unohtuu, että teknologiat ovat sidoksissa vallitseviin toimintamalleihin. Suuret rumpukuorimo-haketuslaitokset hyödyntävät kyllä mittakaavaetua, mutta yrittäjyyden valjastaminen toiminnan laadun parantamiseen ja tehostamiseen on jäänyt käyttämättä mahdollisuutena. Puunkäsittely-yritystoiminta voi lähteä kehittymään uusien pienempien, ja joustavampien teknisten ratkaisujen pohjalta.

## 6 ENSIHARVENNUSPUUN KORJUU OSANA HANKINTA-ALUEEN TOIMINTAA

### 6.1 TAUSTA

Puunhankinnassa ei ole mahdollista ratkaista korjuu- ja kuljetusmenetelmiä yksittäisten puutavaralajien hankinnan ja käytön vaatimusten mukaan, vaan

suurten metsäteollisuusyritysten metsäorganisaatioiden on otettava huomioon toiminnan kokonaistaloudellisuus. Myös korjuuolosuhteiden painottuminen erilaisiin hakkuisiin vaikuttaa menetelmävalintaan. Viimeisen vuosikymmenen ajan korjuumenetelmien kehittämisessä on korostetusti ollut tavoitteena yleismenetelmien ja -tekniikoiden hyödyntäminen. Vallitsevan käsityksen mukaan useamman erilaisen hankinta- ja puunkäsittelyketjun rinnakkainen käyttö nostaa kustannuksia.

Tässä projektissa rakennettiin Imposen (1992) esittämän korjuumenetelmien optimointimallin tyyppinen kuitupuun ja puupolttoaineiden yhdistetyn tuotannon kilpailukyvyyn tutkimiseen soveltuva matemaattiseen ohjelmointiin perustuva laskentamalli. Tällä tutkimusvälineellä voidaan tarkastella tietyn sellutehtaan puunhankinnan toimintaolosuhteet huomioiden osa- tai kokopuumenetelmien taloudellisuutta tavanomaisiin tavaralajimenetelmiin verrattuna. Toiminta-olosuhteet kuvataan korjuukohdetyypeittäin ja kuljetusetäisyydet otetaan huomioon vyöhykkeittäin tai alueittain. Korjuukoneita ja kuljetuskalustoa tarkastellaan kone- ja laitekomponentteittain. Esimerkiksi puutavara-yhdistelmän vetoautolla, perävaunulla ja kuormaimella on omat pääomakustannuksensa. Puunkäsittelyä ja massanvalmistusta ei voitu vielä perusteiden puutteellisuuden vuoksi mallintaa näin tarkasti. Oleellinen ero aiemmin käytettyihin operaatioiden mallinnustapoihin on se, että myös koneiden käytöasteet ja pääomakustannukset ovat optimoinnissa muuttujia; eivät lukkoon lyötyjä syöttötietoja kuten tavallisesti. Tämä mahdollistaa yleis- ja erikoismenetelmien kilpailutilanteen realistisen tarkastelun. Mikrotiekoneessa ajettava sovellus on vielä testaus- ja validointivaiheessa

## 6.2 OSAPUUNAHANKINNAN KOKONAISKUSTANNUSVAIKUTUKSET

Kuitupuun ja puupolttoaineen yhdistettyjen tuotantomenetelmien kilpailukykyä tavaralajimenetelmän kanssa tutkittiin mallintamalla hankinta-alueen vuotuinen korjuu- ja kuljetustoiminta. Korjuuolosuhteet ja kuljetusetäisyydet vastasivat eteläisen Suomen länsirannikolla toimivan sellutehtaan toimintaolosuhteita. Tässä vaiheessa optimointiin otettiin mukaan vain puunhankinnan kustannukset.

Esitettävän case-tarkastelun lähtökohtana oli Metsäteollisuutta palvelevan puunhankinta-alueen vuotuinen toiminta, joka kuvattiin vuosikolmanneksittain tehtävinä korjuu- ja kuljetusoperaatioina. Kaikkien hakkuista kertyvien puutavaralajien korjuu- ja kuljetus olivat tarkastelussa mukana, jotta yleis- ja erikoistekniikoiden rinnakkaisen käytön kustannusvaikutukset saatiin selvitet-

tyä. Yhdistetty kuitupuun ja puupolttoaineen hankinta sijoitettiin osaksi hankinta-alueen toimintaa, ja optimointimallilla minimoitiin oman korjuun ja sitä vastaavan kuljetuksen kokonaiskustannukset sekä mitoitettiin töissä tarvittavat resurssit koneyksikön tarkkuudella.

Tavaralajimenetelmän hankintaketjujen rinnalla ensiharvennuksissa oli vaihtoehtona koneellinen osapuunahankinta. Muut kuin kuusivaltaiset metsät kuuluivat osapuun hankintapotentiaaliin. Karsimaton puu korjattiin kourasahalla varustetulla yhdistelmäkoneella, joka kaataa, katkoo ja kuljettaa puut metsätien varteen. Kaukokuljetuksessa oletettiin käytettävän karsimattoman puun kuljetukseen soveltuvaa laidallista puutavara-autoyhdistelmää, joka voi kuljettaa myös karsittua puutavaraa silloin, kun oksaista puuta ei ole ajettavana. Laskelmissa kuitupuun minimiläpimittana oli 7 cm. Näiden lähtökohtien mukaan tehty tarkastelu osoitti että, koneellinen osapuunmenetelmä sovitettuna hyvin yhteen joukkokäsittelyhakkuukoneiden toimintaan on taloudellinen ratkaisu ensiharvennuspuun hankinnassa (taulukko 2).

*Taulukko 2. Hankinta-alueen korjuu- ja kuljetuskustannukset ja kalusto karsimattoman ensiharvennuspuun korjuumäärien vaihdellessa. Ensiharvennusten, muiden harvennusten ja päätehakkuiden osuudet 12, 22 ja 66 %. Osapuunakorjuun osuutta ohjattiin asettamalla kourasahatraktoreita käyttöön 5, 10 ja 15 kpl (osapuu 1, 2 ja 3 vaihtoehdot).*

| Resurssit ja kustannukset                                                                                      | Tavaralaji-<br>korjuu | Osapuu<br>1 | Osapuu<br>2 | Osapuu<br>3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Pystykauppojen korjuu</i>                                                                                   |                       |             |             |             |
| Korjuumäärä, 1000 ainespuu-m <sup>3</sup> /v                                                                   | 2 000                 | 2 000       | 2 000       | 2 000       |
| Korjuusta osapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /v                                                                     | -                     | 56.6        | 107.7       | 158.8       |
| Lisäraaka-ainekerroin                                                                                          | -                     | 1.1         | 1.1         | 1.1         |
| Kuljetussäde, km                                                                                               | -                     | 45          | 70          | 85          |
| <i>Korjuuresurssit</i>                                                                                         |                       |             |             |             |
| Hakkuukoneketjut, kpl                                                                                          | 45.0                  | 42.2        | 39.9        | 37.5        |
| Ketjun käyttötuntikustannus, mk/h                                                                              | 715.8                 | 705.4       | 693.6       | 680.8       |
| Kourasahatraktorit, kpl                                                                                        | -                     | 5.0         | 10.0        | 15.0        |
| Traktorin<br>käyttötuntikustannus, mk/h                                                                        | -                     | 292.7       | 299.4       | 301.7       |
| <i>Kuljetusresurssit</i>                                                                                       |                       |             |             |             |
| Puutavara-auto, kpl                                                                                            | 63.5                  | 61.9        | 60.0        | 58          |
| Puutavara-auton<br>käyttötuntikustannus, mk/h                                                                  | 316.6                 | 316.6       | 316.7       | 316.8       |
| Osapuu-autot, kpl                                                                                              | -                     | 2.4         | 5           | 8           |
| Osapuu-auton<br>käyttö-tuntikustannus, mk/h                                                                    | -                     | 327.7       | 327.8       | 327.7       |
| <i>Kokonaiskustannukset</i>                                                                                    |                       |             |             |             |
| Korjuu- ja kuljetus<br>kustannus, mk/ainespuu-m <sup>3</sup><br>(sis. hyvitys lisäpolttoaineesta<br>30 mk/MWh) | 68.7                  | 68.5        | 68.5        | 68.6        |

Hankinnan optimointiaskelmat tehtiin omaa korjuuta vastaavalle puumäärälle. Optimiratkaisussa tavaralajeina hakkuu tehtiin joukkokäsittelevillä hakkuukoneilla, jotka toimivat ketjussa keskikokoisen kuormatraktorin kanssa. Polt-

toainehyvitystä laskettaessa oletettiin, että osapuun käsittelyä voidaan kehittää siten, että puuhäviö, hakepalakokojakauma ja hakkeen kuoripitoisuus saadaan vastaaviksi kuin joukkokäsittelyhakkuu - rumpukuorinta tekniikalla. Hakkuukoneketjujen tuntikustannukset laskivat samanaikaisesti, kun osapuun korjuuta ja kuljetusta ensiharvennuksissa lisätään. Samalla osapuunakorjuussa tuntikustannukset kasvoivat. Kaatavalla kourasahalla varastettujen kuormatraktoreiden käyttö pienirunkoisissa ja -kokoisissa kohteista alentaa muissa olosuhteissa käytettävän koneellisen tavaralajimenetelmän kustannuksia tosin vain 5 % taulukon 10 esimerkkitapauksessa, mutta tämä säästö koskettaa kaikkia hakkuuta ja puutavaralajeja, joiden valmistuksessa yleismenetelmää käytetään. Osapuuna korjattavan määrän kasvaessa kourasahatraktoreiden tuntikustannus taas kasvaa 3 %, kun karsimattoman puun korjuuta lisätään noin 20 000 kuutiometristä 160 000 kuutiometriin vuodessa. Autokuljetuksessa ei vastavia ilmiöitä esiinny. Tähän vaikuttanee osaltaan malliin asetut varastointirajotukset.

### 6.3 TARKASTELU

Ensiharvennuspuun korjuu koneellisella osapuumenetelmällä on kilpailukykyinen vaihtoehto ensiharvennuspuun korjuussa. Koska yhden koneen pääoma- ja siirtokustannukset ovat pienemmät kuin tavallisessa hakkuu- ja ajokoneeseen perustuvassa korjuussa, koneellista osapuumenetelmää voidaan käyttää osittain kausiluonteisesti. Kylmänä vuoden aikana kourasahatraktoreilla korjataan konekapasiteettia tehokkaasti hyödyntäen kuitupuun ohella latvusmassaa energian lähteeksi. Lämpimänä vuoden aikana tavaralajimenetelmän yleiskoneketjuilla on vähemmän töitä. Kesäaikana kantavien, kuivien maiden ensiharvennuksia on taloudellista korjata joukkokäsittelyllä hakkuukoneilla ja niiden kanssa ketjussa toimivilla kuormatraktoreilla. Kesäaikaiseen korjuuseen soveltuvat ensiharvennuspuustot kasvavat karummilla mailla, joilla latvusmassan korjaaminen saattaisi vaikuttaa haitallisesti kasvuun. Nämä soveltuvat hyvin vajaasti karsiville joukkokäsittelyhakkuukoneille. Talvelle useamman puun tehokasta käsittelyä tarvitaan päätehakkuuleimikoiden kylkiäisenä myydyillä ensiharvennuslohkoilla. Optimointilaskelmat osoittivat, että koneellinen osapuumenetelmä ja joukkokäsittelyhakkuu täydentävät hyvin toisiaan, kun otetaan huomioon korjuumäärien ja kohteiden kausittainen vaihtelu. Molemmat menetelmät tarvitaan kokonaistaloudellisuuteen tähtäävässä korjuutoiminnassa.

Kun 7 % ainespuusta hankintaan osapuumenetelmällä, samalla korjuukustannukset alenevat hakkuukoneketjujen tuntikustannukset alenevat 5 %. Hakkuu- ja metsäkuljetuskoneiden kapasiteetti on paremmin tasapainoissa ja siirtojen

osuus ajanmenekistä pienenee, koska pienirunkoiset ja -kokoiset kohteet korjataan osapuumenetelmää soveltaen yhdistelmäkoneilla. Kun muuttuvien kustannusten lisäksi koneiden käyttöaste ja pääomakustannukset ovat muuttujina optimointimallissa, on menetelmien välille löydettävissä tasapainoratkaisuja, joita ei voida ottaa huomioon tavanomaisissa kiinteisiin yksikkökustannuksiin perustuvissa taulukkolaskelmissa ja optimointitarkasteluissa.

Puunhankintaa ei liitetty suoraan optimointimallin sisällä sellun ja energian tuotantoon, koska hankinnan alueella esiintyviä tilanteita haluttiin tutkia ensin sellaisenaan ja toisaalta tarvittavia tietoja ei ollut vielä käytettävissä. Teknisesti tämä kytkentä on sinänsä ongelmaton, mutta osa perustiedoista on tehdas- ja yrityskohtaisia ja lisäksi varsinkin puunkäsittelyä koskevat tuotos-, ja kustannustiedot ovat puutteellisia. Resurssien puutteen vuoksi tapaustutkimuksia ei voitu tehdä niin laajoina kuin alunperin suunniteltiin. Toisaalta tietopohjassa olevien puutteiden vuoksi niihin ei vielä tässä vaiheessa ollut järkevää sijoittaa enempää tutkimusvaroja. Bioenergian tutkimusohjelman tarpeisiin integroituja aines- ja energianpuun tuotantoketjuja vertailut päivitetään Metsätehon vuoden 1997 jatkohankkeessa.

## 7 JATKOTOIMENPITEET

Puunhankinnan, energian tuotannon sekä sellun valmistuksen kattava erilaisen yhdistettyjen kuitupuun ja puupolttoaineen tuotantoketjujen taloudellisuuden vertailu, on mitä vaativin tehtävä, koska se edellyttää useiden asiantuntemus- ja tutkimusalojen tuottamien tietojen yhtäaikaista hallintaa ja mallintamista. Tämä työ on kuitenkin tehtävä ennenkuin käytössä voidaan aloittaa uusien tekniikoiden merkittävä soveltaminen. Tässä projektissa eri osa-alueet saatiin tutkijoiden ja yritysten yhteistyön avulla ja kokeellisen tutkimuksen pohjalta liitettyä niin pitkälle yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, että ensimmäisiä herkkyyksianalyysyjä voitiin tehdä. Jatkotutkimuksissa voidaan edetä jo pitemmälle esimerkiksi ottamalla paremmin huomioon sellutehtaan vaihtoehtoiset energian tuotannon tekniikat. Myös sellun valmistuskustannukset olisi selvitettävä kokonaisemmin sekä havusellun että koivusellun tuotannon näkökulmasta.

Useita tuotantovaiheita koskevat perusteet olivat vielä epävarmoja. Koneellisesta osapuun korjuusta ei esimerkiksi ollut saatavilla riittäviä aikatutkimustuloksia. Karsimatonta tai karsittua puutavaraa valmistavia ja kuljettavia yhdistelmäkoneita koskevat aikatutkimukset tehdään vuoden 1997 aikana, ja näiden tekniikoiden kokonaistaloudellisuutta tutkitaan tässä valmistuneessa

hankkeessa testatuilla menetelmillä. Puunkäsittelyn tekniikat ja erilaisen käsittelyn vaikutukset puuraaka-aineeseen ovat edelleen puutteellisesti tunnettuja. Toisaalta tältä alueelta saattaa löytyä uusia merkittäviä mahdollisuuksia pyrittäessä raaka-aineen lajitteluun ja massalaatujen parempaan tuotekohtaiseen erilaistamiseen.

## 8 JULKAISUT JA VIITTEET

### Raportit:

*Lilleberg R., Imponen V., & Yli-Hukkala T.* 1994. Energiapuun hankinta teollisuuden ainespuun hankinnan yhteydessä Kittilä-Sodankylän alueella. Metsätehon moniste 31.3.1994.

*Korpilahti A., Varhimo A., Keskinen S. & Lemmetty J.* 1995. Minimilatvaläpimitan vaikutus puunhankintaan ja sellunvalmistukseen. Metsätehon katsaus 11/1995.

*Vuorenpää T.* 1996. Peterson Pasific -haketusketjun optimointi. Esimerkki simuloinnin käytöstä. Metsätehon raportti 4 / 27.8.1996.

*Poikela A.* 1996. Latvusmassan pituussuuntainen jakauma. Metsätehon raportti 10. 11.12.1996.

*Imponen V., Hakkila P., Lilleberg R., Pennanen O. & Varhimo A.* 1997. Ensiharvennusmänty sellutehtaan raaka-aineena. Metsätehon raportti. Monistusvaiheessa.

*Imponen V., Korpilahti A., Lemmetty J., Lillebeg R., Pennanen O., Poikela A. & Vuorenpää T.* 1997. Hake-, osapuu- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus massatehtaan kuitu- ja energiapuun hankinnassa. Metsätehon raportti. Monistusvaiheessa.

### Viitekirjallisuutta:

*Hakkila P., Kalaja H., & Saranpää P.* 1995, Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582.

*Imponen V., Hämäläinen J., & Örn J.* 1992. Hakkuun koneellistamisen taloudelliset ja organisatoriset vaikutukset. Metsätehon tiedotus 407.

## ENERGIAPUUN KORJUUN JA KULJETUKSEN KUSTANNUSLASKENTAOHJELMISTO - 117

Tapio Ranta  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 672 722  
Fax (014) 672 799  
tapio.ranta@vtt.fi

### **Abstract: A calculation program for harvesting and transportation costs of energy and industrial wood**

A computer based model has been developed for calculating the production costs of industrial wood and wood fuel. Several calculation situations, which might be useful for decision-making in energy wood supply, are included into this software. The model will be easy to use for practical purposes and flexible so that different new model and changes in the basis of calculations are easy to implement. Model will offer open interfaces for importing and exporting information. Model includes selected wood delivery chains and open interfaces for adding data from different procurement sources.

The cost analysis model is built on Windows-based software, SQLWindows, using different sources of data (ODBC). With the model it is possible to manage these SQLBase databases with SQL-queries. The data included in the databases origins from various energy wood sources (local communities or part of them, forestry boards planning areas or even stands ready for cutting). By knowing the planned share of first thinnings, final cuttings and other harvesting operations it is possible to estimate the potential amount of wood fuel from each area. Also databases from energy wood users, forest and transportation machinery and distances are available in the system. Using the information it is possible to find out the fuel demand of power and heating plants in each moment (e.g., amount and quality), costs of various machines (harvesters, forwarders, trucks) as well as distances between energy wood sources and users.

# 1 TAUSTA

Integroidut energiapuun tuotantomenetelmät ovat viime vuosina kehittyneet voimakkaasti. Samoin konekaluston tuottavuudet ovat muuttuneet ja käyttöön on tullut kokonaan uusia laitteisto- ja organisointimahdollisuuksia.

Tämän projektin tavoitteeksi määriteltiin energiapuun hankintakustannukset laskevan ohjelmiston laatiminen, siten että puun hankintaketjukohtaisten tekijöiden lisäksi ohjelmistolla voitaisiin kuvata todellista toimintaympäristöä energiapuun tuotantomenetelmien, hankintalähteiden, käyttökohteiden ja niiden välisten etäisyyksien osalta.

Energiapuun kustannuslaskentaohjelmiston lähtökohdaksi on otettu joustavan ja monipuolisen laskennan ja suunnittelun apuvälineen toteuttaminen. Sillä voidaan joustavasti mallintaa erilaisia hankintaketjuja, laatia oletusskenaarioita, suorittaa vaihtoehtotarkasteluja sekä laskea eri tekijöiden vaikutukset talteensaatavaan energiapuumäärään sekä hankinnan kustannuksiin. Kustannustenlaskentamallissa huomioidaan työvaihekohtaiset olosuhdetekijät yksikkökustannusten määrittämiseksi niiden hankintaketjujen osalta, joista on olemassa ajantasaista ja luotettavaa tutkimustietoa.

# 2 TAVOITE

Ohjelmiston kokonaistavoitteena on toimia monipuolisena ja tarpeeksi helpokäyttöisenä apuvälineenä energia- ja ainespuun hankintakustannusten laskemisessa. Ohjelmistolle määriteltiin seuraavat osatavoitteet:

- Ohjelmistolla on voitava laskea saatavilla olevat alueittaiset puupoltoainemäärät sekä hankintakustannukset käyttöpaikalle toimitettuna.
- Ohjelmistolla on voitava suorittaa tuotantoketjuittaisia kustannusvertailuja osavaiheittain ja ketjuittain.
- Ohjelmiston on oltava joustava, looginen ja tiedonhallintaratkaisuiltaan avoin mm. lähtötietojen syöttämisen ja lopputulosten viemisen osalta muihin sovelluksiin, kuten taulukkolaskenta- ja karttaohjelmistoihin.

### 3 TOTEUTUS

Energiapuun korjuun ja kuljetuksen laskentaohjelmisto toteutettiin Bioenergian tutkimusohjelmassa loppuvuonna 1995 ja 1996. Projektin toteutus jakaantui kolmeen päävaiheeseen. Ne olivat ohjelmiston suunnittelu ja määrittely, ohjelmiston toteutus sekä pilotoinnin käynnistäminen. Suunnittelu- ja määrittely-vaiheessa hahmoteltiin ohjelmiston toiminta sekä periaatteelliset ratkaisut, joita ohjelmiston toteutuksessa noudatettiin. Samassa yhteydessä rajattiin mukaan otettavat hankintaketjut ja ajanmenekkipunktioiden määrittelyt eri työvaiheiden osalta.

### 4 TEHTÄVÄT

Ohjelmiston suunnittelusta ja toteutuksesta vastasi VTT Energia. Ohjelmiston toteuttaneessa työryhmässä toimivat DI Tapio Ranta, metsänhoitajat Pekka-Juhani Kuitto ja Tero Vesisenaho VTT Energiasta ja metsänhoitajat Jouko Örn ja Teppo Oijala Metsäteho Oy:stä. Metsäteho Oy toimitti alihankintana pääosan ainespuun korjuun ajanmenekkipunktioista sekä tuntikustannuslaskentaa varten Excel-perusmallit moto-ketjujen ja puutavara-autojen osalta.

### 5 RAHOITUS

Taulukossa on esitetty projektin rahoitus rahoittajittain.

| Rahoittaja          |            |
|---------------------|------------|
| MMM                 | 150 000 mk |
| Keski-Suomen Liitto | 70 000 mk  |
| VTT Energia         | 100 000 mk |
| Yhteensä            | 320 000 mk |

### 6 TULOKSET

#### 6.1 OHJELMISTON TOTEUTUSYMPÄRISTÖ

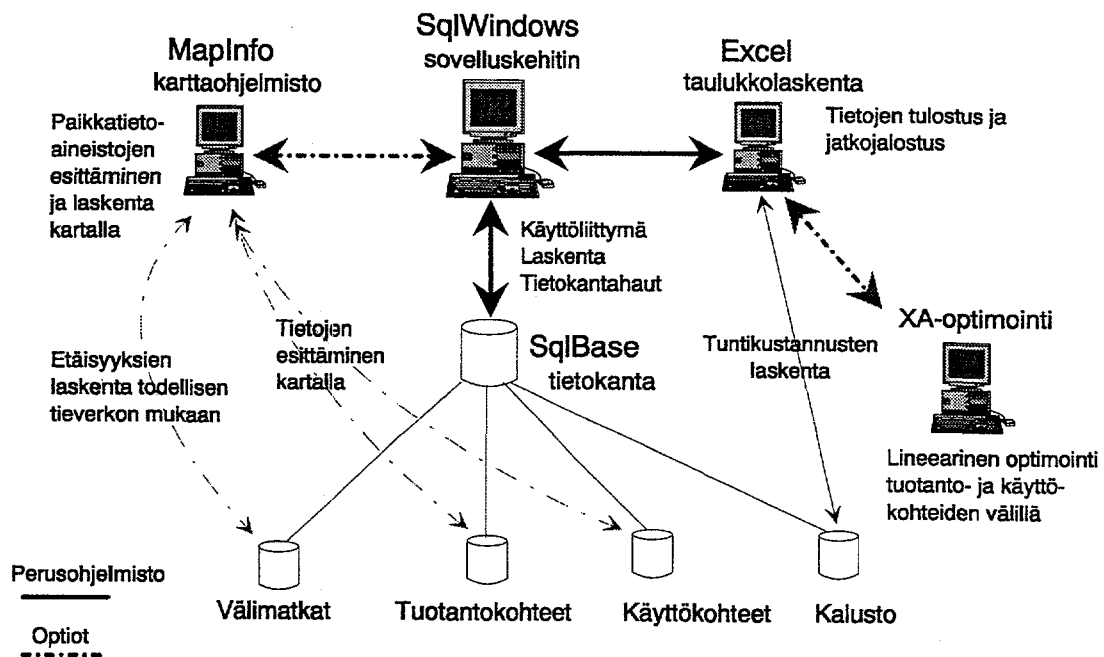
##### 6.1.1 Laitteistoympäristö

Ohjelmisto on toteutettu sekä yksittäisessä mikrotietokoneessa että hajautettuna lähiverkkosovelluksena toimivaksi. Ohjelman laskentaosuudet toimivat

Windows-pohjaisessa pc-työasemassa. Tietokanta voi sijaita joko samassa koneessa kuin laskentaohjelmat tai vaihtoehtoisesti verkon palvelimessa, jolloin tietokanta voi olla yhteiskäyttöinen usealle eri käyttäjälle.

### 6.1.2 Ohjelmiston kokonaisrakenne

Ohjelmisto perustuu rakenteeltaan hajautettuun client/server arkkitehtuuriin, jossa tiedot on keskitetty yhteen tietokantaan ja laskenta sekä tulostenkäsittely on hajautettavissa useaan eri sovellukseen. Kuvassa 1 esitetään ohjelmiston kokonaisrakenne.



Kuva 1. Kustannuslaskentaohjelmiston kokonaisrakenne.

Laskentaohjelmisto on normaali pc/Windows sovellus, joka koostuu useasta eri näytöstä, joiden avulla käyttäjä suorittaa haluamansa määrittelyt sekä käynnistää laskennan. Ohjelmiston sovelluslogiikka on toteutettu ohjelman sisäisten funktioiden avulla. Funktioiden käynnistäminen tapahtuu näytöillä olevien komentopainikkeiden ja valintamenujen avulla. Ohjelmiston toimintojen sisäinen rakenne ei näy käyttäjälle.

### **6.1.3 Tiedonhallinta**

Ohjelmiston tiedonhallinta on toteutettu SQLBase tiedonhallintaohjelmalla. Toteutuksessa on käytetty SQLBase versiota 4.1, joka on Windows-työasemassa toimiva yhden käyttäjän tiedonhallintajärjestelmä. Laadittu sovellus toimii samassa työasemassa laskentasovelluksen kanssa. Toteutetut tietokantamäärittelyt ja laskentasovellukset on siirrettävissä yhteiskäyttöiseen verkon palvelimeen. Tiedonhallinnan toteutuksessa on käytetty SQL-standardin mukaisia tuotteita, mikä mahdollistaa tietokannan ja ohjelmiston siirtämisen myös muihin tiedonhallintaympäristöihin.

### **6.1.4 Laskentaohjelmisto ja tulostenkäsittely**

Laskentaohjelmisto on toteutettu pc-työasemassa toimivaksi Windows-sovellukseksi. Toteutuksessa on käytetty SQLWindows (versio 3.0) sovelluskehittintä. Tämän lisäksi osia ohjelmistosta on toteutettu Excel-tilukkolaskentaohjelmalla ja tehty mahdolliseksi mm. MapInfo-karttaohjelmiston käyttö.

SQLWindows on lähiverkon työasemasovellusten kehittämiseen tarkoitettu graafinen sovelluskehitin, jonka avulla voidaan maalata ohjelman näytöt, toteuttaa ohjelman laskentarutiinit sekä hoitaa tiedon siirto ja vastaanotto tietokannasta. Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto on toteutettu lähes kokonaisuudessaan SQLWindows sovelluskehittimellä. Excel-tilukkolaskentaohjelmalla on toteutettu tulosten jatkokäsittely sekä graafisten esitysten piirtäminen tulosten pohjalta sekä tuntikustannusten laskenta Metsätehon tuottamilla Excel-sovelluksilla. MapInfo-karttasovelluksella on toteutettu kaukokuljetusetaisyyksien laskenta sekä tulosten esittäminen karttapohjalla. Ohjelmiston käyttö ei edellytä karttasovellusta, sillä energiapuun käyttö- ja tuotantokohteiden ja niiden välisen etäisyyden syöttäminen onnistuu myös ohjelmiston keskusteluikkunoiden välityksellä manuaalisesti.

## **6.2 OHJELMISTON RAKENNE JA TOIMINTA**

### **6.2.1 Laskennan toimintaperiaatteet**

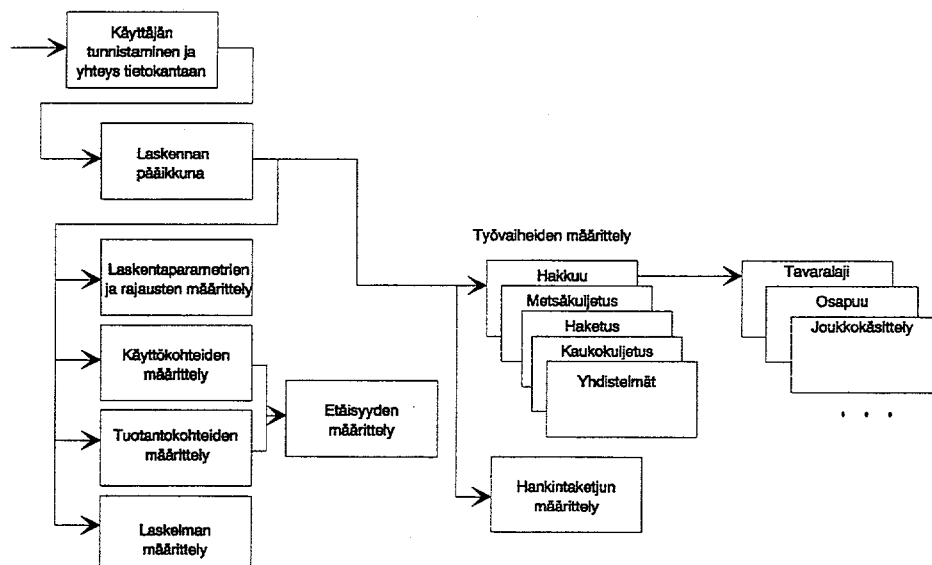
Ohjelmisto laskee tuotantokohteista saatavat energiapuumäärät käytettävissä olevan energiapuutietokannan perusteella sekä hankintakustannukset käyttökohteisiin valitun hankintaketjun avulla. Vaihtoehtoisesti käyttäjä voi tehdä laskelman ainespuun hankintakustannuksista. Laskenta tapahtuu tietokantaan tallennettujen määrittelyiden ja lähtötietojen pohjalta. Myös laskennan välitulokset ja lopulliset tulokset tallennetaan tietokantaan. Ennen laskennan aloit-

tamista on kaikkien laskennassa tarvittavien määrittelyjen oltava tietokannassa.

Laskenta aloitetaan tuotantokohteiden (voivat olla yksittäisiä leimikoita tai laajempia alueita) valinnalla käyttäjän antamien rajausten perusteella. Esimerkiksi voidaan valita kuusivaltaiset päätehakkuukohteet yksityismetsistä alle 120 kilometrin etäisyydellä käyttökohteesta. Laskennan aikana ohjelmisto suorittaa jokaiselle tuotantokohteelle erikseen kaikki ne työvaiheet, jotka tarvitaan tuotantokohteesta saatavan energiapuun toimittamiseksi valituille käyttöpaikoille. Hankintaketjussa olevat työvaiheet suoritetaan määrittelyn mukaisessa järjestyksessä. Jokaisessa työvaiheessa syntyneet kustannukset kumuloidaan tietokantaan. Kohteen energiapuumäärää pienennetään jokaisessa työvaiheessa vaiheen tuotantohävikin verran. Laskennan jälkeen jokaisesta tuotantokohteesta tiedetään talteensaatava puupolttoaineen määrä ja syntynyt kokonaiskustannus käyttökohteittain.

### **6.2.2 Laskentaohjelmiston ikkunat**

Ohjelmisto koostuu useasta eri ikkunasta. Järjestelmän pääikkuna on Laskenta-näyttö, josta käsin avataan kaikki muut ohjelman näytöt. Laskenta-näytön lisäksi ohjelmassa on joukko määrittelynäyttöjä, joiden avulla laskennan vaatimat erilaiset määrittelyt voidaan suorittaa. Kukin määrittely on ikkunoittan suoritettava loppuun ja ikkuna on suljettava ennen kuin ohjelmassa voidaan siirtyä muihin osiin. Kaikki määrittelyikkunat ovat toteutusperiaatteiltaan samankaltaisia. Kuvassa 2 on esitetty laskentaohjelmiston pääikkunat ja niiden hierarkia.



Kuva 2. Ohjelman näyttöjen hierarkia.

Ohjelman käyttö tapahtuu normaalin windows-ohjelman tavoin. Ohjelman käynnistytyn ja tietokantaan kirjoittautumisen jälkeen avautuu ohjelman pääikkuna. Pääikkunasta suoritetaan laskennassa käytettävien määrittelyjen valinta, määrittelyikkunoiden avaaminen, laskennan käynnistys, tulosten siirtäminen jatkokäsittelyyn, raporttien tulostus sekä ohjelman lopetus. Kaikki muut ikkunat ovat määrittelydialogeja, jotka suljetaan välittömästi suoritettua määrittelyä jälkeen. Kuvassa 3 esitetään ohjelman pääikkuna.

Laskenta suoritetaan valitsemalla ensin alasvetovalikoista laskelman nimi, käytettävä hankintaketju, käytettävät rajaukset sekä yksi tai useampia käyttökohteita. Halutessaan käyttäjä voi lisätä tietokantaan uusia määrittelyitä tai käydä muuttamassa jo aiemmin tehtyjä määrittelyitä joko painamalla ...-nappulaa vastaavan valintakentän perässä tai valitsemalla halutun määrittelyn "Määrittelyt"-menusta. Varsinainen laskenta käynnistetään painamalla jotakin vaihtoehtoisista "Laske"-painikkeista. Laskennan tuloksena saadaan suoraan näytölle käyttökohteisiin hankittavan puupolttoaineen kokonaismäärä ( $\text{m}^3$  ja MWh), keskihinta ( $\text{mk}/\text{m}^3$  ja  $\text{mk}/\text{MWh}$ ) koko valitulle energiapuumäärälle, keskimääräinen ja maksimi kuljetusmatka käyttökohteeseen (km), laskennassa mukana olleiden käyttökohteiden kokonaismäärä ja rajausten mukainen valittujen kohteiden lukumäärä. Tämän jälkeen käyttäjä voi halutessaan siirtää

tulokset tiedostoon jatkokäsittelyä varten painamalla ”Siirrä tulokset”-painiketta tai ajamalla halutun raportin näytölle tai tulostimelle menuvalintojen mukaisesti.

| Tulokset yhteenveto                 |          |       |             |
|-------------------------------------|----------|-------|-------------|
| Energiaapumäärä:                    | 2545     | m3    | 4581 MWh    |
| Energiaapuun hankintakustannus:     | 96.0     | mk/m3 | 53.0 mk/MWh |
| Ainespuumäärä ja hankintakustannus: |          | m3    | mk/m3       |
| Hankinta-alue:                      | keskim.  |       | maksimi     |
| Hankintaetäisyys:                   | 70       | km    | 120 km      |
|                                     | vallitui |       | kaikki      |
| Hankintakohteet:                    | 48       | kpl   | 205 kpl     |

Kuva 3. Laskentaohjelman pääikkuna.

## 7 JATKOTOIMENPITEET

Ohjelmaa sovelletaan sellaisenaan energiapuun kustannus- ja saatavuusselvityksissä VTT Energian ja Metsäteho Oy:n tutkimustyössä. Käyttäjakohtaisten räätälöintien myötä ohjelmaa voidaan käyttää hyvin monenlaisissa toimintaympäristöissä, joissa on tarve selvittää energiapuun saatavuutta ja vaihtoehtoisia tuotantokustannuksia. Loppukäyttäjiltä ohjelmiston käyttöönotto vaatii Windows-käyttöjärjestelmän lisäksi SQLBase-tietokannan hankinnan, sillä ohjelmisto on käännetty Windows-sovellus, joka käsittelee SQLBase-tietokantaa.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

*Kuitto P.-J.* 1996. Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto. Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirja 1995, VTT Energia, Jyväskylä, 4 s.

*Ranta T.* 1996. Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto, väliraportti, 1996, VTT Energia, Jyväskylä, 10 s.

*Ranta T.* 1997. Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto, loppuraportti, VTT Energia, Jyväskylä, 28 s.



# ESISELVITYS ENERGIA-JA TEOLLISUUSPUUN KÄSITTELYLAITTEISTOSTA JA LOGISTIIKASTA - D112

Pekka Laurila  
Biowatti Oy  
Revontulentie 8C  
02100 Espoo

Puh. (09) 4694 210  
Fax (09) 4694 298

**Abstract: Feasibility study about handling plant and logistics of rotted spruce for energy and pulpwood**

The aim of this feasibility study is to clarify the handling demands, technical and logistical possibilities, profitabilities both outlays and benefits in combined energy- and pulpwood production from rotted spruce raw material. The results of the study will be taken into consideration, if a handling plant will be decided to build and demonstrate beside the Forssa biomass power plant.

## 1 TAUSTA

Kuusitukin tyvilaholle on metsäteollisuudessa eri yhteyksissä selvitelty ja etsitty hyödyntämismahdollisuuksia. Tyvilahon aiheuttamat ongelmat ovat keskittyneet eteläisen Suomen rannikkoalueelle, jossa alueittain voi tyvilahon osuus olla jopa neljännes kuusitukin määrästä. Metsäteollisuus sallii B-laatuokan havukuitupuussa lahoa enintään puolet läpimitasta. Tämän lahomäärän ylittävällä kuitupuulla ei ole juuri muita vaihtoehtoja kuin jättää metsään tai käyttää energiaksi. Suurin osa tällaisen kuitupuun tilavuudesta käsittelee kuitenkin tervettä ja teollisuudelle käyttökelpoista kuituainesta.

## 2 TAVOITTEET

Tavoitteena on selvittää tyvilahokusesta erillisessä käsittelylaitteistossa tehtävän hiertämö-, sellu- ja polttohakkeen liiketaloudelliset ja tekniset perusteet ja tuotantomahdollisuudet sekä Forssan voimalaitoksen yhteyteen sijoitetun erillisen haketuslaitoksen toteuttamismahdollisuudet. Tätä varten selvitetään haketuslaitteiston tekniset toteutusvaihtoehdot ja mahdolliset kehittämiskohdeet ottaen samalla huomioon lopputuotteiden laatuvaatimukset. Tavoitteena on myös selvittää käytettävissä olevat ja toimivat logistiikkaketjut ja niiden vaikutukset liiketaloudelliseen kannattavuuteen.

## 3 TOTEUTUS

Hankkeen toteutuksessa käsittelylaitteistoa koskevat tekniset ja taloudelliset selvitykset tekee EP Consulting Oy sekä logistiikkaselvitykset FWI Wood International Oy. Raaka-aineen saatavuuksia ja selluhakkeiden käyttömahdollisuuksia selvitetään yhteistyössä Metsäliitto Osuuskunnan kanssa. Hankkeen toteuttamisen kokonaisvastuu on Biowatti Oy:llä. Hankkeen toteutus käynnistyi vuoden syksyllä 1996.

## 4 TEHTÄVÄT

Lähtökohtana on ollut selvittää useita tuote- ja tuotantovaihtoehtoja. Teollisuuden raaka-aineksi menevät tuotteet ovat hiertämö- ja selluhake. Energiaksi käytettävät jakeet ovat kuori ja puru sekä polttohake. Polttohake sisältää raaka-aineesta teollisuudelle kelpaamattoman osan.

Eri tehtävät hankkeessa ovat:

1. Mitoitusperusteiden selvittäminen raaka-aineen määrien ja laatuojen perusteella
2. Haketuslaitoksen tuotantoteknillinen selvitys
3. Haketuslaitoksen investointikustannuslaskelmat
4. Haketuslaitoksen tuotantokustannuslaskelmat
5. Logistiikkakustannusten selvitys
6. Haketuslaitoksen kannattavuuden arviointi
7. Toteutussuunnitelma

## 5 RAHOITUS

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Biowatti Oy                     | 131 500 mk |
| Kauppa- ja teollisuusministeriö | 131 500 mk |
| Yhteensä                        | 263 000 mk |

## 6 TULOKSET

Hanke oli vuonna 1996 esiselvitysvaiheessa. Tämän perusteella määriteltiin käsiteltävän raaka-aineen minimimääräksi 100 000 m<sup>3</sup> ja maksimimääräksi 200 000 m<sup>3</sup>. Jatkoselvityksissä tuotteina käsitellään polttotuotteitten lisäksi ainoastaan selluhaketta. Laiteteknisissä vaihtoehdoissa jatkoselvitys keskittyy 1) kiinteään panosajona ajettavaan laitteistoon sekä 2) kiinteään keskitetyn ohjauksen laitteistoon. Hanke valmistuu ja lopulliset tulokset saadaan vuoden 1997 aikana.

## 7 JATKOSUUNNITELMAT

Hankkeen tuloksilta odotetaan, että niiden perusteella on päätettävissä hake- tus- ja käsittelylaitteiston rakentamisesta Forssan voimalaitoksen yhteyteen.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Hankkeesta ei ole julkaistu väliraportteja.



## KESKI-SUOMEN METSÄENERGIAPROJEKTI - D106

Martti Ahokas  
Keski-Suomen Liitto  
Sepänkatu 4  
40100 Jyväskylä

Puh. (014) 652 220  
Fax (014) 652 277  
martti.ahokas@ksliitto.reg.reg.elisa.fi

Pekka-Juhani Kuitto  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 672 611  
Fax (014) 672 597  
pj.kuitto@vtt.fi

### Abstract

The Forest Energy Project of Central Finland (1994 - 1996) was one of the top leading regional demonstration project in Finland for testing and studying of the complete energy wood delivery chains and energy wood utilization. The target of this provincial project was to collect and demonstrate the most promising energy wood procurement technologies and methods for utilization of energy producers, forest industry and small and medium sized industries co-operating with forest owners, contractors and forest organizations.

The project was a large development and technology transfer venture concentrated primarily on practical needs. Total delivery chains were formed of the best machine and method alternatives, and they were also demonstrated. The project offered hence a wide test field for regional and national techno / economical wood fuel development.

The Forest Energy Project of Central Finland was a demonstration project supervised by the Regional Council of Central Finland. The project was a part of the national Bioenergy Research Programme. VTT Energy and the Forestry Board of Central Finland were responsible for the practical development work. A large number of provincial partners interested in wood fuels took part in the project.

The project were carried out during the years 1994 - 1996. The total costs were 4.4 million FIM. The aim is to create a practical model for the entire system, by which enables the economically profitable increment of the utilization

of chip fuels in Central Finland by 100 GWh/1996 and 500 GWh/a (about 250 000 m<sup>3</sup>) to the end of the decade.

## 1 TAUSTAA

Keski-Suomen Metsäenergia -projekti 1994 - 1996 oli Keski-Suomen Liiton johtama alueellinen demonstraatioprojekti ja se oli mukana valtakunnallisessa Bioenergian tutkimusohjelmassa. Projekti oli ensisijaisesti laaja maakunnallinen kehittämis- ja teknologiansiirtoprojekti suoraan käytännön tarpeisiin.

Projekti käynnistyi rahoittajista koostuvan tukiryhmän päätöksellä 17.2.1994 ja toteutettiin kolmivuotisena. Päätösseminaari pidettiin 5.3.1997 ja projektin päätöskokous 12.3.1997. Kokonaiskustannukset olivat 4.4 milj. mk. Tavoitteena oli mahdollistaa metsähakkeen taloudellisesti kannattava käytön lisääminen Keski-Suomessa 100 GWh:n tasolle vuonna 1996 sekä 500 GWh:n (250 000 m<sup>3</sup>) tasolle 1990-luvun loppuun mennessä.

Projekti sovelsi valtakunnallisia alan tuloksia sekä täydensi niitä omilla selvi-tyksillä keskisuomalaisiin oloihin. Keskeisenä keinona oli kokeilla ja soveltaa käytännön mittakaavassa uusimpia puupolttoaineen hankinta- ja käyttöketjuja ja osoittaa niiden teknistaloudellinen toimivuus. Tavoitteena oli saada sove-liaimmat ja taloudellisestikin parhaat tuotanto- ja ohjaustekniikat kestävästi käyttöön.

Demonstraatio- ja kehittämistyöstä vastasivat VTT Energian ja Keski-Suo-men metsäkeskuksen asiantuntijat. Kehittämistyön päätavoitteena oli, että muodostettujen tuotantoketjujen piti pärjätä ilman subventioita tai muita kil-pailua vinouttavia toimenpiteitä. Samoin eri energialaitoksille tuotettavien puupolttoaineiden tuli laadultaan olla riittävän hyviä.

Projektin keskeiset osapuolet ja rahoittajat olivat Keski-Suomen Liitto, VTT Energia, Keski-Suomen metsäkeskus, Keski-Suomen Metsänhoitoyhdistysten Liitto, Keski-Suomen Maaseutuelinkeinopiiri, Jyväskylän Energiantuotanto Oy / IVO Tuotantopalvelut Oy, Jyväskylän Energia Oy, Keski-Suomen Valo Oy, Pappilanvuoren Lämpöhuolto Oy, Saarijärven Kaukolämpö Oy, Biowatti Oy, Vapo Oy sekä kunnista: Jyväskylän kaupunki, Jyväskylän maalaiskunta, Jämsänkoski, Konnevesi, Laukaa, Pihtipudas ja Toivakka sekä kauppa- ja teollisuusministeriö.

Käytännön yhteistyöhön osallistuivat lisäksi mm. metsänhoitoyhdistykset, Metsäliitto Osuuskunta, Kumpuniemen Voima Oy, Metsä-Serla Oy:n Äänekosken tehtaات, Laukaan aluelämpölaitos, UPM-Kymmene Oy:n metsäosasto ja Kaipolan voimala, Oy Logset Ab, Outokummun Metalli Oy, Sisu Logging Oy, Timberjack Oy ja Jämsänkosken ja Saarijärven metsäoppilaitokset. Lisäksi mukana olivat useat maakunnan koneyritykset ja laitevalmistajat. Käytännön tietoa vaihdettiin erityisesti Mikkelin seudun alueellisen Puuha-projektin kanssa. VTT Energian lisäksi selvityksiin osallistuivat mm. Keski-Suomen metsäkeskus, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho Oy ja Työtehoseura.

*Projektin rahoittajista koostuvan tukiryhmän puheenjohtajana oli koulutus-päällikkö Petri Kilpinen Keski-Suomen metsäkeskuksesta. Projektin vastuullisena johtajana ja johtoryhmän puheenjohtajana toimi kehittämisjohtaja Martti Ahokas Keski-Suomen Liitosta. Projektipäällikkönä oli metsänhoitaja Pekka-Juhani Kuitto VTT Energiasta ja projektin metsäpäällikkönä metsätalousinsinööri Markku Paananen Keski-Suomen metsäkeskuksesta.*

## 2 DEMONSTRAATIO- JA KEHITTÄMISTOIMIN- NASTA 1996

Keski-Suomi on vahva metsämaakunta ja ainespuun suurhyödyntäjä. Puuta käytetään myös merkittävästi energiantuotantoon (ainespuun kuori, puunjalostusprosessien jäteliemet sekä sahojen purut). Lisäksi metsähakkeen tuotanto ja käyttö on saatu noin 100 000 MWh:n vuositasolle. Mutta edelleen käyttämättömä energiapuupotentiaalia on runsaasti.

Vuonna 1996 projektissa selvitettiin sekä maakunnan metsien puupolttoainevaroja kunnittain että mekaanisen metsäteollisuuden tuottamat puupolttoaineen määrät tuotantolaitoksittain.

Suurimmat käyttökelpoiset hakkuutähdemäärät ovat Keski-Suomen keski- ja eteläosan kuusivaltaisissa kunnissa. Kuusivaltaisilta uudistushakkuilta saadaan puupolttoainetta 55 - 130 m<sup>3</sup>/ha. Ensiharvennusten energiapuu painottuu maakunnan pohjoisosan mäntyvaltaisiin kuntiin. Näistä kohteista kertyy kuitupuuta 10 - 16 m<sup>3</sup>/ha ja energiapuuta 21 - 26 m<sup>3</sup>/ha.

Vuosittain teknisesti korjattavissa oleva hakkuutähdemäärä on nykyolosuhteissa noin 900 000 m<sup>3</sup>. Taloudelliset rajoitteet huomioiden talteensaatava

määrä on 260 000 m<sup>3</sup>, joka vastaa 520 000 MWh energiaa. Tämä vastaa siten 25 % maakunnan koko hakkuutähdepotentiaalista, koska laskelman perusrajoitteet asetettiin tiukoiksi. Jos toimituskustannukset käyttöpaikalle olisivat asetetun keskimääräisen kustannuksen 41 mk/MWh (max. 45 mk/MWh) sijasta 42 mk/MWh (max. 50 mk/MWh) käyttökelpoinen hakkuutähdemäärä lisääntyisi noin 13 %.

Ensiharvennuksista on mahdollista saada 45 000 m<sup>3</sup> energiaositetta (40 % harvennustarve-alasta). Lisäksi energiapuuharvennuksilta (mm. myöhästyneet taimikonhoidot) on mahdollista saada 23 500 m<sup>3</sup> energiapuuta.

Keskisuomalaiset sahat ja muut mekaanisen metsäteollisuuden yksiköt tuottivat sivutuotteinaan purua ja muuta polttokelpoista puujätettä vuonna 1995 yhteensä 1 300 000 MWh. Siitä myytiin ulkopuolisille energiakäyttöön 736 000 MWh:ta (taulukko 1). Määrä on pysynyt suhteellisen vakiona viimeisimmät vuodet.

*Taulukko 1. Keski-Suomen mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden = puupolttoaineen määrät vuonna 1994 ja 1995 (i-m<sup>3</sup> ja GWh).*

|                       | 1994             |              | 1995             |              |
|-----------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
|                       | i-m <sup>3</sup> | GWh          | i-m <sup>3</sup> | GWh          |
| <b>KOKONAISMAÄRÄT</b> |                  |              |                  |              |
| - teollisuussahat     | 1 529 000        | 952          | 1 466 000        | 913          |
| - piensahat           | 197 000          | 146          | 118 000          | 87           |
| - vaneritehtaat       | 251 000          | 152          | 360 000          | 218          |
| - muut laitokset      | 149 000          | 97           | 123 000          | 80           |
| <b>YHTEENSÄ</b>       | <b>2 126 000</b> | <b>1 347</b> | <b>2 067 000</b> | <b>1 298</b> |
| <b>OMAKÄYTTÖ</b>      |                  |              |                  |              |
| - teollisuussahat     | 546 000          | 369          | 535 000          | 360          |
| - piensahat           | 0                | 0            | 0                | 0            |
| - vaneritehtaat       | 216 000          | 133          | 319 000          | 195          |
| - muut laitokset      | 16 000           | 10           | 11 000           | 7            |
| <b>YHTEENSÄ</b>       | <b>778 000</b>   | <b>512</b>   | <b>865 000</b>   | <b>562</b>   |
| <b>MYYNTI ULOT</b>    |                  |              |                  |              |
| - teollisuussahat     | 983 000          | 583          | 931 000          | 553          |
| - piensahat           | 197 000          | 146          | 118 000          | 87           |
| - vaneritehtaat       | 35 000           | 19           | 41 000           | 23           |
| - muut laitokset      | 133 000          | 87           | 113 000          | 73           |
| <b>YHTEENSÄ</b>       | <b>1 348 000</b> | <b>835</b>   | <b>1 203 000</b> | <b>736</b>   |

HUOM. Selluteollisuuteen menevän hakkeen määrät eivät ole taulukossa.

Keski-Suomeen on keskittynyt laaja puuvarojen ja energian tuotannon ja käytön tietotaito. Suuret metsäteollisuuskeskittymät sijaitsevat Äänesseudulla, Jyväseseudulla ja Jämsänjokilaaksossa. Maakunnassa on noin 20 käyttöpaikkakuntaa ja kohdetta, joissa on aluelämpö- tai voimalaitoskokoluokassa tekniset edellytykset energiapuun polttoon (taulukko 2). Lisäksi kiinteistöt tarjoavat runsaasti pienemmän kokoluokan kohteita. Alueen etuina ovat myös siellä sijaitsevat alan tutkimus- ja opetusyksiköt (mm. VTT Energia ja yliopisto), konepajateollisuus sekä osaava puunhankinnan yrittäjäkunta.

Valtaosa laitoksista pystyy teknisesti käyttämään puupolttoainetta. Pääpolttoaine on useimmiten pala- tai jyrshinturpe. Metsäteollisuuslaitoksissa tärkeä polttoaine on luonnollisesti teollisuuden puutähdet ja jäteliemet. Sahojen puun ja metsähakkeen käyttö on nousussa. Seospolttoaineet ovat kasvavan mielenkiinnon kohteena.

*Taulukko 2. Puun ja turpeen suurkanäyttölaitokset Keski-Suomessa 1995.*

|                                      | Laitoskoko | Puu            | Turpe          |
|--------------------------------------|------------|----------------|----------------|
|                                      | MW         | GWh            | GWh            |
| <b>METSÄTEOLLISUUS:</b>              |            |                |                |
| UPM-Kymmene Oy, Kaipola              | 105        | 325            | 285            |
| UPM-Kymmene Oy, Jämsänkoski          | 50; 50     | 282            | 465            |
| Metsä-Sellu Oy, Äänekoski            | 76         | 477            |                |
| Kumpuniemen Voima Oy, Suolahti       | 25         | 92             |                |
| Finnforest Oy, Suolahti              | 9          | 24             |                |
| Schauman Wood Oy, Jyväskylä          | 22,5       | 55             |                |
| Schauman Wood Oy, Säynätsalo         | 33         | 77             |                |
| Vapo Timber Oy, Hankasalmi           | 5; 5       | 48             |                |
| Keuruun Voima Oy (Finnforest Oy)     | 10         | 55             |                |
| <b>VOIMA- JA ALUELÄMPÖLAITOKSET:</b> |            |                |                |
| Jyväskylän Energiantuotanto Oy       |            |                |                |
| - Rauhalahden voimalaitos            | 295        | 217            | 1 434          |
| - Savelan voimalaitos                | 49         |                | 11             |
| Viitasaaren Lämpö Oy                 | 13         | 81             |                |
| Vapo Oy, Tikkakoski                  | 3,5        | 2              | 25             |
| Saarijärven Kaukolämpö Oy            | 4          | 8              | 18             |
| Laukaan kunta                        | 5          | 22             |                |
| Puolustusvoimat, Keuruu              | 2,9; 2,9   | 8              |                |
| Petäjäveden kunta                    | 2,5        | 7,5            |                |
| Kinnulan kunta                       | 2          | 5,5            |                |
| Kannonkosken kunta                   | 1          | 3,5            |                |
| <b>Yhteensä</b>                      |            | <b>1 789,5</b> | <b>2 238,0</b> |

Vuonna 1994 maakunnan energialaitoksissa käytettiin puujätettä ja metsähaketta yhteensä noin 1 483 000 MWh. Valtaosa siitä oli kuitenkin puunjalostusprosessien kuorta ja jäteliemiä sekä sahoilta saatua sahanpurua. Metsähaketta käytettiin erittäin vähän.

Seuraavana vuonna puun polttokäyttö laitoksissa oli kohonnut 1 789 500 MWh:iin (taulukko 2). Koko määrästä metsähakkeen osuus oli edelleen pieni ollen kuitenkin noin 56 000 MWh. Suurlaitosten lisäksi puuta käytettiin kiinteistöjen energiantuotantoon noin 30 - 40 000 MWh.

Projektille asetettiin metsähakkeen tuotannon ja käytön tavoite vuodelle 1996. Tavoitteena oli mahdollistaa metsähakkeen taloudellisesti kannattava käytön lisääminen Keski-Suomessa vähintään 100 000 MWh:n (125 000 i-m<sup>3</sup>) vuositasolle vuoden 1997 alkuun mennessä.

Tavoite saavutettiin. Erityisesti Rauhalahden voimala Jyväskylässä alkoi ostaa myös metsähaketta energiantuotantoon (taulukko 3). Samoin alkoivat mm. UPM-Kymmene Oy:n Kaipolan tehtaille metsähaketoimitukset. Metsäteollisuuden ja Rauhalahden voimalat sekä maakunnan aluelämpölaitokset käyttivät suoraan metsästä hankittua metsähaketta runsaat 66 000 MWh. Mp-kohteilta laitoksille toimitettiin metsähaketta lisäksi 40 000 MWh. Myös varastoihin korjattiin polttopuuta vuotta 1997 varten. Arvioitu määrä on 4 - 6 000 MWh. Kiinteistöjen puupolttoaineen käyttötaso on pysynyt ennallaan: 30 - 40 000 MWh.

Rauhalahden voimalaitokseen tuotiin yhteensä 264 kuorma-autollista metsähaketta. Hakkeen tuonti ja käyttö jakaantui kuukausittain seuraavasti vuonna 1996:

*Taulukko 3. Metsähakkeen toimitusrytmitys Rauhalahden voimalaan vuonna 1996.*

| RAUHALAHTI  | Puupolttoaineen        |           |
|-------------|------------------------|-----------|
| 1996        | kk-osuus vuosikäytöstä | kosteus-% |
| • tammikuu  | 3,5                    | 56,5      |
| • helmikuu  | 2,2                    | 56,4      |
| • maaliskuu | 7,8                    | 53,0      |
| • huhtikuu  | 9,2                    | 51,5      |
| • toukokuu  | 2,8                    | 40,5      |
| • kesäkuu   | 0                      | 0         |
| • heinäkuu  | 10,6                   | 41,5      |
| • elokuu    | 8,9                    | 41,2      |
| • syyskuu   | 12,5                   | 39,0      |
| • lokakuu   | 20,2                   | 46,2      |
| • marraskuu | 14,1                   | 56,5      |
| • joulukuu  | 8,3                    | 59,8      |
| Yhteensä    | 100,0 Keskimäärin      | 49,3      |

Hakkuutähdettä olisi suhteellisen hyvin saatavilla. Lisäksi metsähakkeen käyttöpotentialiaali nykyiseen verrattuna on esim. Rauhalahden suurvoimalassa monikymmenkertainen. Potentiaalia olisi siten myös lisätuotantoketjujen työllistämiseksi. Harvennuspuukertymät jäivät tavoitetta pienemmäksi johdettua mm. ensiharvennusainespuun heikosta menekistä teollisuuteen.

Suurimmat metsähakkeen tuottajat olivat Biowatti Oy, Pekka Lahti Kotimaiset Energiat Ky ja Vapo Oy. Käyttökohteita oli lukuisia (Rauhalahden voimalaitos Jyväskylässä, metsäteollisuus Jämsänjokilaaksossa ja Äänessseudulla sekä maakunnan aluelämpölaitoksia).

Sekä Biowatti Oy että Vapo Oy käyttivät omia Chipset-hakeharvesteriketjujaan maakunnan metsähaketuotannossaan (palstahakkuri). Pekka Lahti Kotimaiset Energiat Ky:n tuotanto perustui välivarastohaketukseen: Evolution-rumpuhakkuri. Yhtiöllä on useita autoalustaisia hakkureita. Tuotantotyön ohella Chipset -hakeharvesteri -ketju ja Evolution -ketju olivat mukana useissa projektin järjestämissä puupolttoaineen tuotantonäytöksissä.

Demonstraatioiden ohella projekti jatkoi vuonna 1996 selvityksiä puupolttoaineen tuotanto- ja käyttötekniikoista. Painopiste oli energialaitospään selvietyksissä. Niissä tarkasteltiin kustannusten ohessa erityisesti hakkeiden laa-

tuominaisuuksia ja miten hake-erät käyttäytyvät vastaanottolaitteistoissa ja kuljettimissa.

Hakkuutähteet kuivuvat kesällä kasoissa palstalla hyvin. Suurissa välivarastokasoissa kuivuminen on hidasta. Laitoskohtaisissa käyttökokeissa tuoreen hakkuutähdehakkeen kosteus vaihteli 45 - 60 %:iin. Kesällä tehty kokopuu-hake oli alimmillaan kosteudeltaan 40 %. Tuhka-% oli 0,8 - 3,1 %.

#### Partikkelikoko:

- nykyisellä hakkuritekniikalla yleensä alle 45 mm, pitkien yksittäisten kappaleiden osuus vähentynyt
- yleensä partikkelikoko ei aiheuttanut ongelmia käsittely- ja syöttölaitteissa. (*holvaantuminen*: ei läpäise esim. palaturpeelle suunniteltua vastaanotto-taskun ritilää tai polttoaine ei valu kattilasiilosta sulkusyöttimelle; *suuret kappaleet*: ellei ole seulaa, ongelmia saattaa olla kattilaan syötössä: ruuvit, sulkusyöttimet)
- partikkelikoko sopiva leijukerrospoltoon
- arinakattiloille partikkelikoko voisi olla suurempikin
- arinakattiloilla runsas hienoaineksen osuus voi aiheuttaa ongelmia
  - osa polttoaineesta läpäisee arinan
  - ei valu tasaisesti arinalle.

#### Kosteus:

- tuoreen puupolttoaineen kosteus yleensä 50 - 55 %
- biopolttoainekattilat suunniteltu yleensä tälle kosteudelle
- talvisin yksinkäyttynä usein liian kosteaa: seospolttoaineena turpeen tai kuivemman puupolttoaineen kanssa
- kosteus lisää polttoaineen käsittelylaitteissa
  - jäätymisongelmia
  - holvaantumisongelmia
  - vaikeuttaa sekoittumista (esim. lämmin jyrshinturpe ja kylmä, kostea puupolttoaine).

#### Energiasisältö:

- yleensä puulla 0,7 - 0,85 MWh / i-m<sup>3</sup>
- korkeampi kuin yleisimmillä teollisuuden puutähteillä (sahanpuru, kuori)
- hieman pienempi kuin jyrshinturpeella (0,9 MWh / i-m<sup>3</sup>)
- kattiloissa jotka suunniteltu turpeen polttoon ei hakkeella saada täyttä tehoa talvikuukausina
- hakkeella tehot riittävät yleensä huhtikuusta marraskuuhun Keski-Suomessa.

### 3 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ TULOKSISTA

- Metsähakkeen käytön lisäämisvolyymit edelleen suurissa energiantuotantokohteissa (Keski-Suomessa etenkin Rauhalahden voimala Jyväskylässä sekä Jämsänjokilaakson ja Äänesseudun metsäteollisuuden voimalat).
- Pienissä kohteissa (aluelämpölaitokset ja suurkiinteistöt) alueellinen merkitys on suuri. Hankinnan organisointi ja kustannusvastaavuus tehostuu, jos useampi käyttökohde voi hankkia yhdessä puupolttoaineensa.
- Hakkuutähteet suurin potentiaali. Harvennuspuun markkinoille saaminen ajoittain vaikeata.
- Nykyisissä laitoksissa ei suuria teknisiä esteitä metsähakkeen käytön lisäämiselle.
- Laitoskohtaiset ennakoasenteet muuttuneet hakkeelle myönteiseksi usein lyhyenkin käyttökokeen jälkeen.
- Käsittelylaitteissa estettävä määrän polttoaineen jäätyminen ja holvaantuminen.
- Hakkuutähdehakkeen laatu odotettua parempaa.

#### Keskeisiä tekijöitä metsähakkeen lisäkäytölle:

- saatavuus
- toimintavarmuus
- hakkeen laatuvarmuus (keskipalakooltaan sekä kuiva-arvoiltaan haluttua laitoskohtaista tuotetta; eikä kuntaa, kiviä tai metallia tai pitkiä tikkuja/oksakeppejä hakkeen joukossa)
- suuret määrät (metsähakkeen teollinen tuotanto)
- varmuusvarastoinnit (mm. kelirikkoajat)
- hinta ja hintakilpailukyky käyttöpaikalla
- verotuspolitiikka

Maakunnassa on merkittävä määrä omaa puupolttoainevarantoa. Asenteet ovat muuttumassa tai muuttuneet ympäristöystävällisen ja uudistuvan luonnonvaran - puun kannalle. Metsien hoidon edistäminen, oman polttoaineen maakunnalliset hintahyödyt, järkevät työllistämismahdollisuudet ja konepajateollisuuden odotukset ovat lisäpontimina, kun harkitaan puunkäytön lisäystä laitoksittain tai kunnittain. Energialaitosten tekniikat ovat nykyoloissa valmiit puulle. Kotimaisen puupolttoaineen etuna on lisäksi myönteiset vaikutukset laitosten päästöihin. Ympäristövaikutukset ja imagokysymykset tullevat edelleen painottumaan. Puupolttoaine soveltuu myös seospolttoaineeksi turpeen tai kivihiilen kanssa.

Ratkaisevaa on kuitenkin puupolttoaineen hintakilpailukyky energialaitoksella ja mikä on kilpaileva polttoaine. Energiapuun hinta käyttöpaikalla vaihtelee Keski-Suomessa 31 - 66 mk/MWh. Pienkäytössä hyvälaatuinen kuivahko ranka- tai kokopuuhake maksaa 60 - 90 mk/MWh, aluelämpölaitoksella hakkuutähdehake 40 - 67 mk/MWh ja suurvoimaloissa tuore hakkuutähdehake ja sahanpuru 31 - 43 mk/MWh. Jos puun käyttö (metsähake ja sahanpuru) laitoksella suhteessa lisääntyy, sen hintakilpailukykykin samalla paranee. Voilymin kasvu parantaa maksuvalmiuksia ja "häntähinta-tilanne" eli marginaalipolttoaineen tyypillinen ongelma vähentyy.

## 4 TIEDOTUS JA RAPORTOINTI 1996

Laajan teknologiansiirtoprojektin viimeisenä toimintavuotena 1996 järjestettiin lukuisia info- ja tiedotustapahtumia maakunnassa. Demonstraatiotoimintaan kytkettiin voimakas tiedotus- ja koulutuspanos. Demonstraatioilla tähdättiin energiapuun korjuuketjujen vakiinnuttamisiin alkuavun jälkeen. Lisäksi projekti osallistui IEA:n kolmen metsäaktiviteetin vuosikokous- ja retkeilyjärjestelyihin Keski-Suomessa syyskuun alussa 1996.

Projektista ja sen osahankkeista valmistettiin vuonna 1996 kirjallisia tutkimusraportteja, selvityksiä ja tiedotteita projektin rahoittajille sekä lehtiartikkeleita. Projekti avusti myös kolmantena vuotenaan asiantuntijalausunnoin kone- ja laitekehittäjiä innovaatioiden jatkokehittämisessä sekä opastettiin rahoituksen hankinnassa.

Projektia esiteltiin esitelmin, tiedottein tai työmaavierailuin seuraavasti:

- Keski-Suomesta bioenergiaa -seminaari. Hot. Laajavuori, Jyväskylä. 15.4.1996. Seminaarin järjestelyt ja esitelmät, esitteitä.
- Bioenergian tutkimusohjelman vuosikokous. Jyväskylä. 16.-17.4.1996. Esitelmä ja vuosiraportti sekä maastokohteiden järjestelyt.
- ELMIA ENERGY 96 -messut. Jönköping, Ruotsi. 4.1996. Posterit.
- Metsänhoitoyhdistysten toimihenkilöiden tutustumisretkeily Oulaisten lämpölaitokselle toukokuussa. Järjestelyt ja esitys.
- 9th European Bioenergy Conference Kööpenhaminassa 24.-27.6.1996. Kirjoitus konferenssijulkaisussa ja posterit.
- Puunvuosi Jyväskylän kävelykadulla -tapahtuma. Jyväskylä 28.8.1996. Infopiste.
- Maakunnan kansanedustajien metsäretkeily syksyllä. Järjestelyt ja esitelmä.
- METKO-metsäkonemessut. Jämsä. 5.-6.9.1996. Esitteitä ja infopiste.

- IEA:n vuosikokous Keski-Suomessa ja metsäretkeily 9.-13.9.1996. Esitelmä ja posterit. Maastokohteiden järjestelyt.
- Kone-Killeri 96. Jyväskylä. 11.1996. Esitteitä ja infopiste. Posterit.
- Jämsänkoksen ja Petäjäveden kuntien edustajien tutustumiskäynti Perhönkunnassa (hakeosuuskunta). Järjestelyt.
- Ruotsin Skogsstyrelsenin edustajien energiapuuvierailu Jyväskylässä 17.12.1996. Esitykset ja järjestelyt.
- Lämpöyrittäjäyys ja metsäenergia -seminaari. Saarijärvi. 23.1.1997. Esitelmä.
- Keski-Suomen Metsäenergia -projektin päättöseminaari. Jyväskylä. 5.3.1997.

## 5 PROJEKTIN JULKAISUT JA RAPORTIT 1996 -

*Ahokas, M. & Kuitto, P.-J.* 1996. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti - D106. Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995. Osa I. Julkaisuja 11. Jyväskylä. Väli raportti. 14 s.

*Ahokas, M., Kuitto, P.-J. ja Paananen, M.* 1997. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti 1994 - 1996. Jyväskylä 5.3.1997. Loppuraportti.

*Ahokas, M., Kuitto, P.-J. ja Paananen, M.* 1997. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti 1994 - 1996. Jyväskylä. Loppuraportti projektin rahoittajille. Luotamuksellinen.

*Impola, R. & Flyktman, M.* 1996. Hake-turve -seospolttoaineen käyttökokeilu Saarijärven Kaukolämpö Oy:ssä. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 27 s.

*Impola, R.* 1996. Hake-turve -seosaumojen polttokokeet Saarijärven Kaukolämpö Oy:ssä. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 13 s.

*Impola, R.* 1996. Hakkuutähdehakkeen käyttökokeilu Pihtiputaan kunnan lämpölaitoksella. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 14 s.

*Kauppinen, V.-P.* 1996. Keski-Suomen metsien puupolttoainevarat. Saarijärvi. Selvitys. 30 s.

*Kivi-Mannila, H. & Vesisenaho, T.* 1997. Energiapuuhakkeen proomukuljetusmahdollisuudet Keitele - Päijänne-vesistöalueella. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 23 s.

*Koskenranta, R.* 1996. Hakkuutähteet ja metsänuudistaminen - tietoa korjuun vaikutuksista. Jämsä. Tiedote. 3 s.

*Koskenranta, R. & Reiman, H.* 1997. Energiapuun korjuun vaikutuksia metsäekosysteemiin ja metsänuudistamiseen. Jyväskylä. Selvitys. 22 s.

*Kuitto, P.-J.* 1996. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti. Keski-Suomesta bioenergiaa -seminaari 15.4.1996. Jyväskylä. Esitelmämoniste.

*Kuitto, P.-J.* 1996. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti. Lehtiartikkeli. TEHO-lehti.

*Kuitto, P.-J.* 1996. Integrated Harvesting Methods and the Forest Energy Project of Central Finland. Jyväskylä. IEA:n vuosikokous 10.9.1996. Jyväskylä. Esitelmämoniste.

*Kuitto, P.-J. & Paananen, M.* 1996. The Forest Energy Project of Central Finland 1994 - 1996. Kirjoitus konferenssijulkaisussa ja posterinä. 9th European Bioenergy Conference in Copenhagen 24.-27.6.1996.

*Kuitto, P.-J.* 1996. Keski-Suomen Metsäenergia -projektin tuloksia. 4.10.1996. Forssa. Raporttimoniste.

*Laihanen, M.* 1996. Keski-Suomen sahojen sivutuoteselvitys. Jyväskylä. Tutkimusraportti. Luottamuksellinen.

*Nilson, K (toim.).* 1996. Valtakunnan ykkösprojekti - Keski-Suomen Metsäenergia. Espoo. Lehtiartikkeli. Koneviesti-lehti 4.4.1996.

*Nojonen, P. & Vesisenaho, T.* 1996. Joukkokäsittelyhakkuulaitteen käyttö aines- ja energiapuun korjuussa. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 34 s.

*Paananen, M.* 1996. Keski-Suomen Metsäenergia -projektin tuloksia käytäntöön. Keski-Suomesta bioenergiaa -seminaari 15.4.1996. Jyväskylä. Esitelmämoniste.

*Paananen, M.* 1996. Keski-Suomen Metsäenergia -projektin tuloksia. 4.6.1996 Muurame. Raporttimoniste.

*Paananen, M.* 1996. Lämpöyrittäjäyys maaseudun pienyrittämismuotona. Jyväskylä, Laukaa, Pihtipudas. Esitelmämonisteet.

*Paananen, M.* 1997. Lämpöyrittäjäyys ja metsäenergia. Lämpöyrittäjäseminaari. Saarijärvi 23.1.1997. Moniste.

*Paananen, M.* 1996. Heinäaholta korjattiin risutkin. Jyväskylä. Lehtiartikkeli. Metsäneuvoja 1/16.

*Pekkanen, J.* 1996. Lämpöyrittäjäyys - työtä maakuntaan. Jyväskylä. Lehtiartikkeli. Metsäneuvoja 1/16.

*Pekkanen, J.* 1996. Hakkuutähteet energiaksi uudistusaloilta. Espoo. Lehtiartikkeli. Koneviesti 1996.

*Pöyhönen, P. & Leinonen, A.* 1997. Puuhake / Turve -seospolttoaineen varastointikokeet. Jyväskylä. Loppuraportti. 34 s.

*Sauranen, T. & Vesisenaho, T.* 1996. Hakkuutähteen hankinta - nykYTEkniiKka ja toteutus. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 46 s.

*Sauranen, T. & Vesisenaho, T.* 1996. Hakkuutähdekuorman tiivistäminen tukeilla. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 21 s.

*Sauranen, T. & Vesisenaho, T.* 1996. Kuormatraktorin peruskunnostus ja varustaminen hakkuutähteen metsäkuljetukseen. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 20 s.

*Sauranen, T. & Vesisenaho, T.* 1996. Hakkuutähteen autokuljetus. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 23 s.

*Suni, H., Reiman, H., Vääränen, K.* 1997. Energiapuun korjuun kehittäminen metsänparannushankkeissa. Jyväskylä. Selvitys. 20 s.

Energiapuun korjuun alustava kohdevalintasuositus Keski-Suomeen. 1996. Jyväskylä. Opaslehtinen.

Hakkuutähteet ja metsänuudistaminen - tietoa hakkuutähteen korjuun vaikutuksista. 1996. Jyväskylä. Opaslehtinen.

Hakkuutähteen korjuuohjeet. 1996. Jyväskylä. Opaslehtinen.



## KOKOPUUN KÄSITTELY POLTTOAINEEKSI JA RAAKA-AINEEKSI - 132

Veli-Juhani Aho  
VTT Energia  
PL 1603  
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 672 611  
Fax (014) 672 596  
veli-juhani.aho@vtt.fi

### **Abstract: Processing of whole-wood to fuel and raw material**

The forest industry's need of wood has increased remarkably during this decade, and will probably continue to increase also during the next few years due to the realization of the extension investments of the production.

Mechanizing of whole-tree and tree-section harvesting, development of the lorry transportation of whole-trees and tree-sections, and the improvement of the yield and the quality of pulp-chip fraction produced using integrated harvesting methods are important development targets for the production methods research.

The objective of this project is to develop research equipment, by which it is possible to study the unit processes of wood processing, and to develop new wood processing concepts, by which whole-trees could be used for fuel and forest industrial raw material purposes optimally, by combining the unit processes.

The research equipment will be of full scale so that it will enable the processing of whole-trees, whole-tree bundles, felling residues and stem-wood fragments. The research equipment consists of versatile measuring and data collection equipment, enabling the processing and analysis of research data.

The research will be carried out mainly by the personnel of VTT Energy. External planning offices will be used for the realization of the equipment needed for the research on unit processes, and engineering workshops for con-

struction of the equipment. The realization of the project will be controlled both by executive and control groups of the project, the latter consisting of representatives of the forest industry and the research institutes of the research area.

A compaction equipment has been developed in the project, and the development of debarking and feeding units has been started. Additionally, a crushing equipment serving the needs of the research projects of VTT Energy's research programme "Solid fuel processing technology" has been constructed in the project. The data collection system and the high-speed camera have been acquired to VTT Energy to be used for the measuring equipment. Application of the high-speed camera

## 1 TAUSTA

Metsäteollisuuden puuntarve on kasvanut tällä vuosikymmenellä voimakkaasti ja tulee lähivuosina kasvamaan edelleen tuotantokapasiteetin laajennusinvestointientien käyttöönoton myötä. Harvennukset (ensiharvennus, myöhemmät harvennukset) tulevat olemaan entistä kiinnostavampi metsäteollisuuden raaka-ainelähde. Puunhankintakustannukset harvennusleimikoista ovat tavanomaisilla korjuumenetelmillä korkeat. Uusilla hankintamenetelmillä, joissa yhdistetään aines- ja energiapuun korjuu, on mahdollista alentaa yksikkökustannuksia sekä energia- että ainespuujakeen hankinnassa. Myös erilaiset metsien käyttörajoitteet ja raaka-aineketjujen sertifioinnit tullevat vaatimaan teknisesti ja laadullisesti entistä parempia puunkäsittelykonsepteja talousmetsistä käyttöpaikoille.

Tuotantomenetelmien tärkeitä kehityskohteita lähivuosina ovat koko- ja osapuuna korjuun koneellistaminen, koko- ja osapuun autokuljetuksen kehittäminen sekä integroiduilla tuotantomenetelmillä tuotetun selluhakkeen saannon ja laadun parantaminen. Näillä osa-alueilla on osoitettu olevan merkittävää kehityspotentiaalia /Nousiainen et al. . Puupolttoaineiden tuotannon tutkimus- ja kehitystyön suuntaaminen vuosille 1996-98/.

Puunkäsittelyn yksikköprosessien systemaattinen tutkimus on ollut erittäin vähäistä. Tutkimus- ja kehitystyöstä on suurin osa ollut menetelmäkehitystä, jossa koneketjut on koottu markkinoilla olevista laitteista ja ketjujen tuotosta on mitattu, tai laitekehitystä, jossa rakennettua prototyyppiä on käytännön kokeilla testattu. Systemaattinen yksikköprosessien tutkimustyö antaa vankan

perustan uusien menetelmien tai laitteiden kehittämiseksi ja nopeuttaa tuotekehitysvaihetta, koska kehitystyö ei perustu 'yritys ja erehdys' -menetelmään.

## 2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on kehittää tutkimuslaiteympäristö, jolla voidaan tutkia puun käsittelyn yksikköprosesseja ja niitä yhdistämällä kehittää uusia puunkäsittelykonsepteja, joissa kokopuu voidaan hyödyntää optimaalisesti polttoaineeksi ja metsäteollisuuden raaka-aineeksi.

Tutkimuslaitteisto mitoitetaan täysimittaiseksi siten, että laitteistolla voidaan käsitellä kokopuita, kokopuunippuja, hakkuutähteitä sekä runkopuun osia. Tutkimuslaiteympäristö käsittää monipuoliset mittaus- ja tiedonkeruulaitteet, jotka mahdollistavat tutkimustiedon käsittelyn ja analysoinnin.

Tutkittavia yksikköprosesseja ovat

- kokopuiden/hakkeen purkaminen ja syöttö
- puun katkaisu
- kokopuiden, latvusmassan ja hakkuutähteiden tiivistys
- kokopuiden karsinta
- kuorinta
- haketus, murskaus, jauhatus
- polttoainejakeen jatkokäsittely
- kuoritun ja kuorimattoman puun/hakkeen erottelu ja lajittelu.

Yksikköprosessien perusteiden tutkimuksen tavoitteena on vertailla käytössä olevia teknisiä toteutusvaihtoehtoja, parantaa niiden suorituskykyä ja energiataloutta sekä kehittää etenkin uusia teknisiä ratkaisuja. Esimerkkinä puun katkaisu, jossa sahauksen vaihtoehtona olevilla erityyppisillä leikkauksilla voidaan vähentää puuhäviötä sekä nopeuttaa ja tarkentaa toimintoa.

Yksikköprosesseista koottavan tiedon avulla kehitetään puunkäsittelykonsepteja seuraaville alueille:

- uudet konseptit puunkäsittelyterminaaleille, joissa erotetaan puupolttoaine ja teollisuuden raaka-aine kemialliseen ja mekaaniseen metsäteollisuuteen, (esim. ensiharvennuspuun käyttö saha-, kuitu- ja energiapuuksi, lahovikaisen puun käsittely)

- uudet konseptit metsäteollisuuden kuorimon rinnalle rakennettavaksi pienikokoisen kuitukokopuun käsittelylinjaksi.

Puunkäsittelykonseptien toimivuus todennetaan ja konsepteja kehitetään edelleen tutkimusympäristössä tehtävillä koeajoilla. Konseptien kehitys sisältää myös teknistaloudelliset laskelmat, joilla konseptien kilpailukykyä verrataan muihin käytössä ja kehitteillä oleviin menetelmiin.

### 3 TOTEUTUS

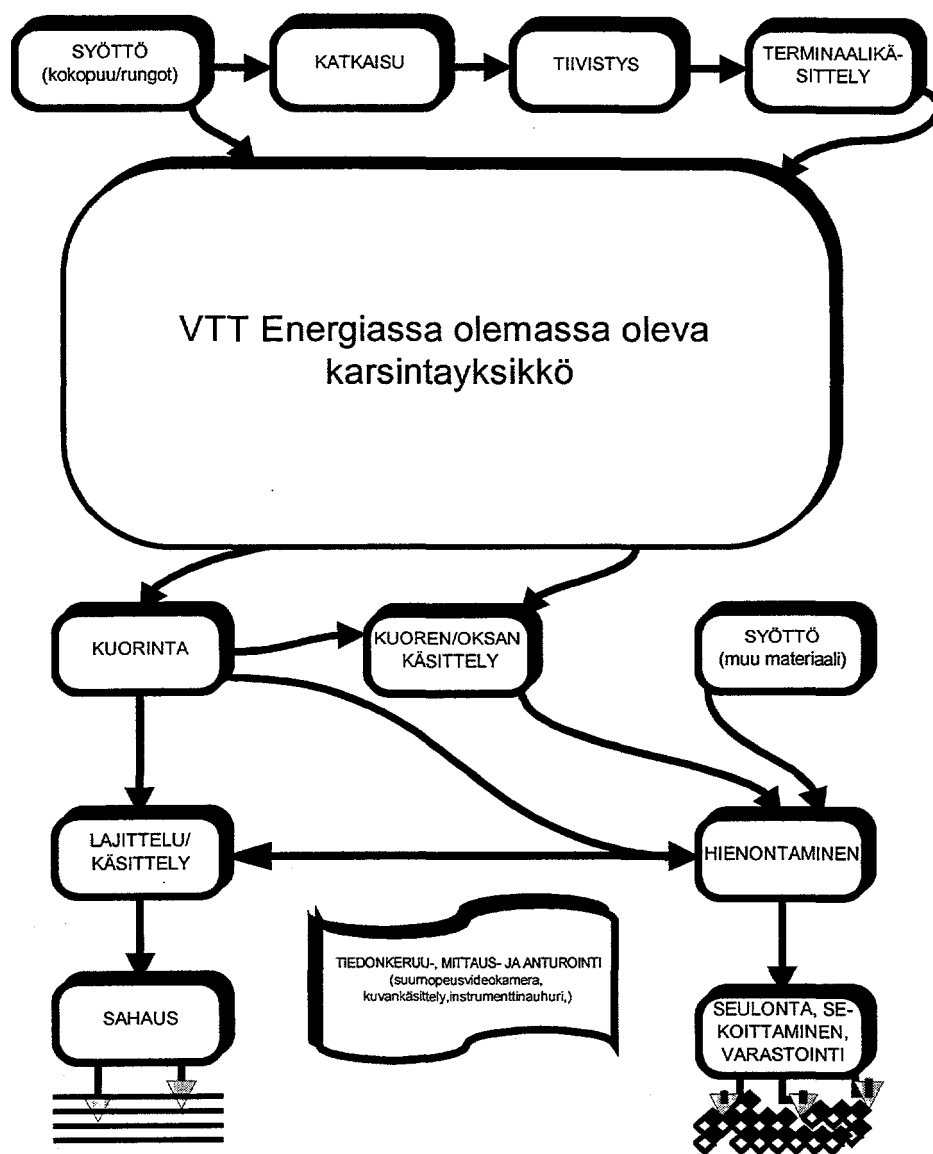
Tutkimus toteutetaan pääosin VTT Energian henkilökunnan toimesta. Yksikköprosessien tutkimuksissa käytettävien laitteiden toteutuksessa käytetään ulkopuolisia suunnittelutoimistoja ja laitteiden rakentamisissa alaan liittyviä konepajoja.

Projektin toteutusta ohjaa sekä projektin johtoryhmä että projektin ohjausryhmä, joka koostuu metsäteollisuuden ja alan tutkimuslaitoksien edustajista.

### 4 TEHTÄVÄT

Projektin ensimmäisen vuoden tehtävät kohdistuvat seuraaviin yksikköprosesseihin:

- 1) Kuorinta
- 2) Tiivistys
- 3) Hienontaminen
- 4) Mittauslaitteisto



Kuva 1. Koko projektin suunniteltu laiteympäristö.

## 5 RAHOITUS

Tutkimustyön kokonaisrahoitus

| Rahoitussuunnitelma (1000 mk) | 1996 | 1997 | 1998 | Yhteensä | Rah. % |
|-------------------------------|------|------|------|----------|--------|
| Yksityinen/Muu rahoitus       | 0    | 300  | 350  | 650      | 11     |
| TEKES                         | 1900 | 800  | 800  | 3500     | 57     |
| VTT Energia                   | 1300 | 400  | 250  | 1950     | 32     |
| Yhteensä                      | 3200 | 1500 | 1400 | 6100     | 100    |

Projektiin kuuluvia erillisiä investointeja rahoittavat Jyväskylän kaupunki vuonna 1996 2,5 milj. markalla ja VTT Energia vuonna 1997 1,2 milj. markalla.

## 6 PROJEKTISSA TOTEUTETUT LAITE- YMPÄRISTÖT

Projektissa on vuoden 1996 toteutettu tiivistyslaitteisto, sekä aloitettu kuorintayksikön ja syöttöyksikön toteuttaminen. Lisäksi projektissa on toteutettu ”Kiinteän polttoaineen käsittelytekniikka” -ohjelman tutkimusprojektia palveleva murskauslaitteisto. Mittauslaitepuolella projektissa on hankittu tiedonkeruulaitteisto sekä suurnopeuskamera. Suurnopeuskameran käyttösovellutuksia ollaan parhaillaan soveltamassa ensivaiheessa ketjukuorinnan tutkimukseen.

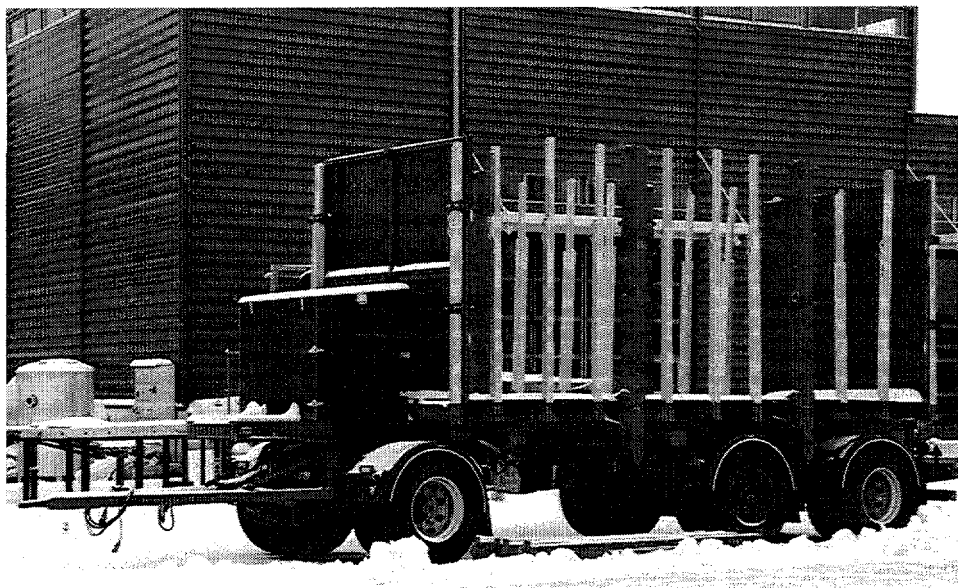
Seuraavassa on hahmotelmia projektissa toteutetuista ja valmisteluvaiheessa olevista tutkimuslaiteympäristöistä.

### TIIVISTYSPROSESSI

Tiivistämistutkimuksen taustalla on tarve parantaa eri muodoissa kuljetettavan puun kuormatiheyttä ja kuljetusten tuottavuutta. Sitä kautta mahdollistetaan alemmat kuljetuskustannukset ja laajemmat taloudellisesti kannattavat kuljetusalueet.

Maassamme on käytössä joitakin tiivistyslaitteilla varustettuja osapuuautoja. Laitteet eivät kuitenkaan ole yleistyneet, koska systemaattinen tutkimus tiivistysilmiöstä ja eri tiivistystekniikoiden toimivuudesta sekä alan tuotekehitys on puuttunut. Samoin metsäkuljetuksen kuormien tiivistämistutkimukset ovat olleet toistaiseksi erittäin suppeita.

Puun energiakäytön lisääntyminen, integroidut korjuumenetelmät sekä puunkäsittelyn siirtämistavoitteet tienvarsilta terminaaleihin edellyttävät uudenlaisia logistisia ratkaisuja puun hankintaan. Kuljetettavien materiaalien tiiviys vaikuttaa oleellisesti eri tuotantoketjujen tuottavuuksiin ja kuljetustalouteen.



*Kuva 2. Tukkiperäkärryn alustalle rakennettu tiivistyslaitteisto.*

#### **Tiivistämislaitteiston kuvaus:**

Tiivistämistutkimukseen valmistettava laite koostuu seuraavista osista: tiivistämislaitteiston runko kiinnitinkappaleineen ja antureineen sekä tiivistämistila, jonka mittoja voidaan vaihdella, eri muotoiset tiivistämisvarret, kuormain ja purkulaitteet, vaihdettavat syöttöpöytä ja kouraratkaisut eri materiaaleille, voimansiirto- ja välittämislaitteet, eli mekanismit, joilla tiivistämisvoimat voidaan ohjata eri suunnista, eri muodoilla ja voimilla tiivistettävään materiaaliin, paineilmaan perustuva tutkittavan materiaalin kiintoainetilavuuden mittaussyksikkö ja niputusyksikkö.

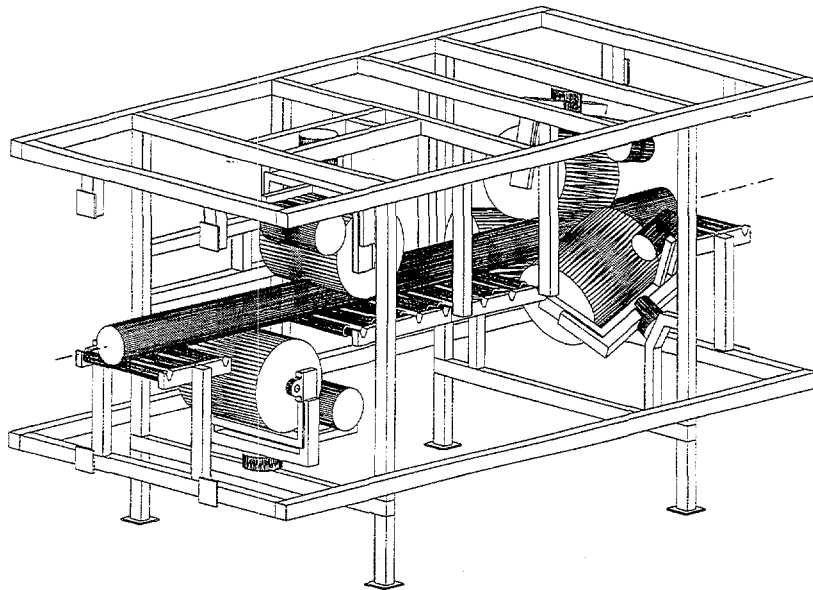
Tiivistämislaitteistolla tehdään tutkimusta Bioenergia -ohjelmaan liittyvässä ”Tiivistämisparametrit ja -tekniikat puupolttoaineiden metsä- ja kaukokuljetuksessa” projektissa.

## KUORINTAPROSESSI

Kuorintayksiköllä tehdään metsä - ja terminaalikuorintaan liittyvää tutkimusta. Jos karsinta ja kuorinta yhdistetään, on niiden oltava hyvän tuloksen kannalta niin voimakasta, että päästään riittävän pieneen tuotteen kuoripitoisuuteen. Puuhäviöt muodostuvat liian suuriksi, jolloin arvokasta puuainesta tuhoutuu ja lisäksi jäävän puuston pinta viottuu ja siitä tulee tikkuista. Tämä vaikuttaa haitallisesti hakkeen tasalaatuisuuteen.

Kuorinnan on oltava hellävaraisempaa kuin karsinta, ja toisaalta tarkempaa, jotta kyetään irrottamaan kuori riittävän tarkasti jatkojalostuksen vaatimuksiin.

Kuorintayksiköllä voidaan myös tutkia puiden kuorinnan ja pintalautojen laadun priimausta (parantaa kuorinnan tulosta).



*Kuva 3. Tutkimusympäristöön rakennettava kuorinta- ja priimausyksikkö.*

### Kuorintaprosessin kuvaus:

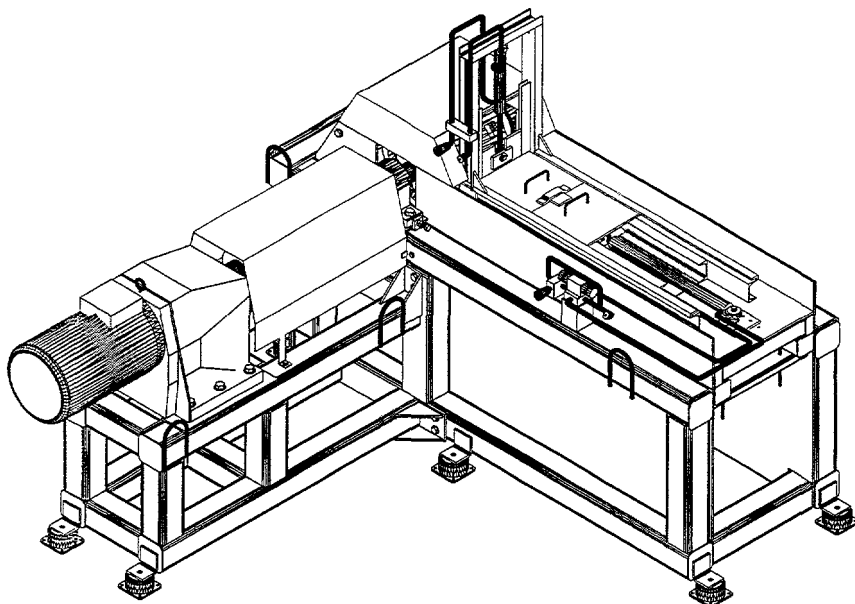
Kuorintayksikkö on monipuolisempi kuin karsintayksikkö. Laitteessa on samanlaisia yksiköitä kuin karsintayksikössäkkin (vaakarummut ketjulle ja harjoille). Lisäksi kuorintayksikössä on kahdet rummut vaakatasossa, kaksi rum-

pua pystytasossa ja lisäksi 3 kuorintarumpua lähes syötetyn puun pituussunnassa.

Kuorinta- ja priimausyksiköllä tehdään tutkimusta Bioenergia -ohjelmaan liittyvässä "Ketjuharja-menetelmä puun karsinnassa ja kuorinnassa" projektissa.

## **HIENTAMISPROSESSI**

Hienontamisyksikön tutkimukselliset tarpeet ovat hyvin laajat. Tutkimustarpeet jakaantuvat haketukseen, murskaukseen ja jauhamiseen, joihin kuhunkin kohdistuu erilaisia tutkimus- ja kehitystarpeita massateollisuuden ja energian käyttöön. Ensimmäisessä vaiheessa on toteutettu murskaukseen liittyvä tutkimusympäristö. Tämä laitteisto liittyy läheisesti "Kiinteän polttoaineen käsittelytekniikka" - tutkimusohjelman tutkimukseen



*Kuva 4. Tutkimuslaitteeympäristöön toteutettava murskauslaitteisto.*

### **Murskauslaitteen kuvaus:**

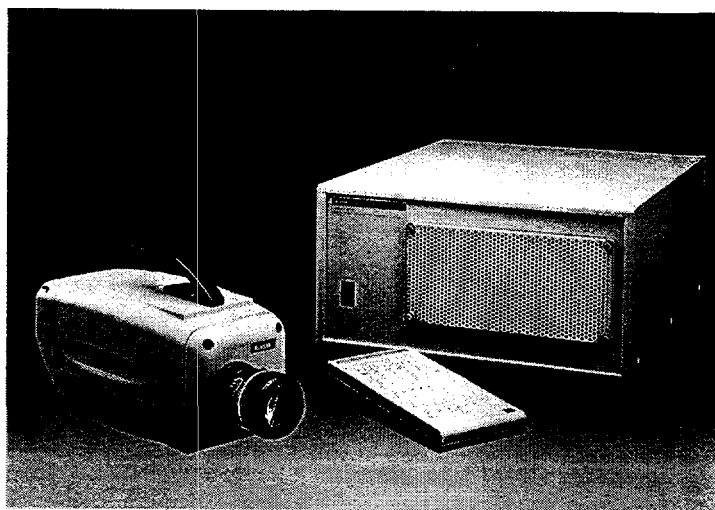
Murskauslaitteella rummun kierrosnopeutta voidaan vaihdella nykyisellä välityksellä 0 ja 200 r/min välillä. Lisäksi murskausrumpuun voidaan sijoit-

taa erilaisia murskausrumpuja (max halkaisija 900 mm) ja vastateriä. Murskauslaite on anturoitu ja erilaisissa tutkimuksissa voidaan käyttää lisäksi esimerkiksi suurnopeuskameraa.

Murskauslaitteistolla tehdään tutkimusta VTT Energian Kiinteän polttoaineen käsittelytekniikka -ohjelmaan liittyvässä "Leikkaus ja murskaus" -osaprojektissa.

## MITTAUSLAITEYMPÄRISTÖ

Projektin yhtenä tärkeänä kokonaisuutena on mittauslaiteympäristö. Tämä alue toteutetaan siten, että se palvelee parhaiten kaikkia varsinaisia tutkimusympäristöjä. Alkuvaiheessa on toteutettu tiedonkeruulaitteisto ja suurnopeuskamera.



*Kuva 5. Mittauslaiteympäristön eräs tärkeä tutkimusväline; suurnopeuskamera*

### **Mittauslaiteympäristöön kuuluva suurnopeuskamera:**

Mittauslaiteympäristöön liittyvällä suurnopeuskameralla kyetään ottamaan ja käsittelemään videokuvia nopeista liikkuvista tapahtumista. Esimerkiksi voidaan tutkia ketjukarsijen ketjujen kuorintatapahtumaa, murskaustapahtumaa ja hakkurin terän leikkaustapahtumaa. Suurnopeuskameralla kyetään ottamaan kokokuvia 4500 kuvaa/sekunnissa ja osakuvia 40500 kuvaa/sekunnissa, jotka tallennetaan muistiin, josta ne voidaan siirtää mikrolle ja/tai videonauhalle myöhempää käsittelyä varten.

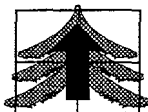
## 7 VUODEN 1997 TEHTÄVÄT

Vuoden 1997 tehtävät tulevat tarkentumaan projektin tukiryhmän kokouksessa sekä tutkimuslaiteympäristöön liittyvien toteutuvien projektien tarpeiden mukaisesti.

## 8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Projektissa ei ole vielä tehty varsinaisia raportteja ja julkaisuja.

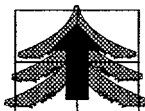




# BIOENERGIA

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA  
BIOENERGY RESEARCH PROGRAMME

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                            |                                                  |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|
| Julkaisija (nimi ja osoite)<br>Jyväskylän Teknologiakeskus Oy<br>Ylistönmäentie 31<br>40500 Jyväskylä<br>Puh. (014) 4451 100, fax (014) 4451 120<br>bioenergia@jso.fi<br>www.jso.fi/bioenergy/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Projektin tunnus/projektinumero<br>Y001                                                    | Paikka ja päiväys<br>Jyväskylä<br>maaliskuu 1997 |                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Toimeksiantaja(t)<br>Bioenergian tutkimusohjelma                                           |                                                  |                                |
| Tekijä(t)<br>Pirjo Nikku (toim.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Projektin nimi<br>Bioenergian tutkimusohjelman esitutkimukset,<br>koordinointi ja tiedotus |                                                  |                                |
| Raportin nimi<br>Vuosikirja 1996, Osa I, Puupolttoaineiden tuotantotekniikat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                            |                                                  |                                |
| Tiivistelmä<br><p>Bioenergia-tutkimusohjelman toiminta-ajatuksena on teknisen tutkimus- ja kehitystyön keinoin lisätä taloudellisesti kannattavaa ja ympäristöystävällistä bioenergian käyttöä parantamalla nykyisten puu- ja turvepolttoaineiden kilpailukykyä, kehittämällä uusia kilpailukykyisiä biopolttoaineita sekä bioenergian käyttöön ja jalostukseen liittyvää teknologiaa. Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus oli vuonna 1996 27,3 milj. mk ja projekteja oli käynnissä kaikkiaan 63. Näistä puupolttoaineen tuotantoon liittyviä projekteja oli 36.</p> <p>Ohjelman päätavoite on kehittää uusia puupolttoaineiden tuotantomenetelmiä, joilla tuotettu polttoaine on kilpailukykyistä tuontipolttoaineisiin nähden (tuotantokustannukset käyttöpaikalla suurkanäytälle noin 45 mk/MWh 100 km:n kuljetusmatkalla) ja yhteenlaskettu lisäkäyttöpotentiaali vähintään 1 milj. toe/a (11 TWh) eli n. 5,5 milj. m<sup>3</sup>.</p> <p>Puun pientuotannon osalta tavoitteena on 20 %:n kustannusten pienentäminen vuoden 1992 teknologiatasoon verrattuna. Kehitystyö kohdistuu lähinnä klapien ja polttohakkeen tuotantoon ns. kevyen polttoöljyn kokoluokkaan alle 1 MW:n lämmityskohteisiin.</p> <p>Tässä julkaisussa on esitetty käynnissä olevien projektien keskeisiä tuloksia. Merkittävimpiä tutkimus- ja kehitystyön tuloksia ovat tiedot ensiharvennuspuun ominaisuuksista teollisuuden raaka-aine- ja polttokäytön kannalta. Suurin osa projekteista on liittynyt puupolttoaineiden tuottamiseen integroidusti teollisuuden ainespuun kanssa ja uudistushakkuiden hakkuutähteiden talteenottoon ja siihen liittyvän tuotantokaluston kehittämiseen. Evolution-hakkurin seurantatutkimus päättyi hyvin laatu- ja tuotos-tuloksiin. Laaja Keski-Suomen Metsäenergia -projekti päättyi. Projekti oli merkittävä teknologian ja tiedon siirron kokonaisuus.</p> |                                                                                            |                                                  |                                |
| Avainsanat (Avainsanat suomeksi ja englanniksi)<br>biomassa, bioenergia, biopolttoaineet, puupolttoaineet, hake, korjuu, hakkuutähteet, metsät, kustannukset, logistiikka, tutkimusprojektit, Bioenergian tutkimusohjelma                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                            | Luokitus ja/tai indeksointi (kirjasto täyttää)   |                                |
| ISSN ja avainnime<br>1236-4738                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                            | ISBN<br>952-5165-02-7                            |                                |
| Kokonaissivumäärä<br>352 s.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Kieli<br>suomi, englanninkieliset tiivistelmät                                             | Hinta<br>350 mk                                  | Luottamuksellisuus<br>julkinen |
| Julkaisun jakaja (nimi ja osoite)<br>Bioenergian tutkimusohjelma<br>Jyväskylän Teknologiakeskus Oy, Ylistönmäentie 31, 40500 Jyväskylä                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                            | Lisätietoja<br>Dan Asplund<br>Pirjo Nikku        |                                |



# BIOENERGIA

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA  
BIOENERGY RESEARCH PROGRAMME

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                           |                                                                           |                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Publisher (name and address)<br>Jyväskylä Science Park<br>Ylistönmäentie 31<br>FIN-40500 Jyväskylä<br>Tel.+358-14-4451 100, fax +358-14-4451 120<br>bioenergia@josp.fi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                           | Project code/project number<br>Y001                                       | Date and place<br>Jyväskylä<br>March, 1997 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                           | Commissioned by<br>Bioenergy Research Programme                           |                                            |
| Author(s)<br>Pirjo Nikku (ed.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           | Name of project<br>Bioenergy - Coordination and information dissemination |                                            |
| Title<br>Yearbook 1996, Part I, Production of wood fuels                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |                                                                           |                                            |
| Abstract<br><p>The aim of the research programme is to increase the use of economically profitable and environmentally sound bioenergy, by improving the competitiveness of present peat and wood fuels. Research and development projects will also develop new economically competitive biofuels, new equipment and methods for production, handling and using of biofuels. The total funding for 1996 was 27,3 million FIM, and the number of projects 63. The number of projects concerning wood fuel production was 36.</p> <p>The main goals of the wood fuel production research are to develop new production methods for wood fuels in order to decrease the production costs to the level of imported fuels (100 km distance). The total potential of the wood fuel use should be at least 1 million toe per year (5,5 million m<sup>3</sup>).</p> <p>The second goal is to decrease the small scale production costs by 20 % as compared with the 1992 technology level. Also, new harvesting technology and new work methods will be developed for forest owners and small-entrepreneurs in the course of the research programme.</p> <p>Results from the projects that were going in 1996 are presented in this publication. The integrated harvesting methods, which supply both raw material to wood products industry and wood fuel for energy production, have been chosen the main research area because they seem to be most promising. Most of the projects are focused in the wood fuel production from first thinnings and from final fellings. The projects broadly covered the research area focusing from material flows, productivity studies, basic wood properties to several case studies. The follow up project of Evaluation-drum chipper was completed with good fuel chip quality and productivity results. Also the large Forest Energy Project of Central Finland was completed. The project was a significant technology transfer and information dissemination project.</p> |                                           |                                                                           |                                            |
| Keywords<br>biomass, bioenergy, biofuels, wood fuels, chips, harvesting, logging residues, forests, costs, logistics, research projects, Bioenergy Research Programme                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                           | Classification                                                            |                                            |
| ISSN series title<br>1236-4738                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           | ISBN<br>952-5165-02-7                                                     |                                            |
| Pages<br>352 s.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Language<br>Finnish, English<br>abstracts | Price<br>350 Fmk                                                          | Confidentially<br>non confidential         |
| Distributed (name and address)<br>Bioenergy Research Programme<br>Jyväskylä Science Park Ltd, Ylistönmäentie 31,<br>40500 Jyväskylä, Finland                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                           | Further information<br>Dan Asplund<br>Pirjo Nikku                         |                                            |