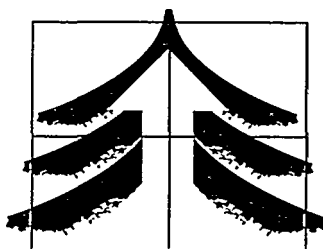


BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 11

Vuosikirja 1995

Osa I
Puupolttoaineiden tuotantotekniikka



MASTER

BIOENERGIA

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

VTT Energia
Jyväskylä 1996

DISCLAIMER

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

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 11

Vuosikirja 1995

OSA I Puupolttoaineiden tuotantotekniikka

Eija Alakangas (toim.)

VTT Energia

Jyväskylä 1996

TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISKESKUS
ENERGIATEKNOLOGIAN TUTKIMUSOHJELMA 1993 - 1998

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma
Koordinointi:
Jyväskylän Teknoliakeskus Oy

Ylistönmäentie 31, 40500 JYVÄSKYLÄ
Puh. (941) 4451 100, faksi (941) 4451 120
sähköposti: bioenergia@jso.fi

Tutkimusohjelman johtaja Dan Asplund

ISSN 1236-4738
ISBN 952-9500-75-0

ESIPUHE

Bioenergian tutkimusohjelmassa edetään parhaillaan toista puoliaikaa. Arvioinnit ensimmäisen puoliajan suunnasta ja tuloksista olivat pääpiirteissään myönteisiä, joten ohjelmaan ei ole tarvinnut tehdä suuria uudelleenpainotuksia. Ohjelman loppujaksolla pääpaino on kuitenkin selvästi siirtymässä tutkimuslaitoshankkeista yrityshankkeiden suuntaan.

Ohjelmassa tehtävä väliarviointi pohjustaa tutkimusohjelmapaketin jälkeistä jatkotyötä, jota ollaan vähitellen käynnistämässä rahoittajan suunnalla. Eväitä tarvitaan "vanhojen" ohjelmien hyvistä ja huonoista kokemuksista sekä saavutetuista ja saavuttamattomista tuloksista, jotta uutta ohjelasukupolvea voidaan suunnitella. Todennäköistä on, että energiatutkimusohjelmia käynnistyy tulevaisuudessa vähemmän, erilaisilla aikatauluilla, pienempinä ja useammin yritysvetoisina kuin nykyisin. TEKES, uutena rahoittajana, luo viitekehyksen, johon Bioenergia-ohjelmankin on sopeuduttava

Tutkijan näkökulmasta Bioenergian ohjelmassa on viimeisen parin vuoden sisällä tapahtunut varsin monia muutoksia. Useat henkilövaihdokset ohjelmaorganisaatiossa, etenkin rahoittajan roolissa eivät varmaankaan ole helpottaneet toimintaa. Rahoitushankkeiden käsittelykin on pitkittynyt ikävästi vahdinvaihtojen yhteydessä. Toivottavasti vuosi 1996 on lähempänä normaalia, ja tutkijat voivat keskittyä oleelliseen eli tutkimiseen ja hyvien tutkimustulosten synnyttämiseen.

Tämänvuotinen ohjelmarahojen 40 %:n leikkaus tutkimuslaitoshankkeissa ei ole TEKESin teknologiapoliittinen kannanotto alueeseen, vaan valtion budjettitilanteen sanalemaa. Vuosien positiivinen suunta teknologian kehittämisrahoissa katkesi tänä vuonna, ja se heijastui myös kaikkien energiatutkimusohjelmien rahoitukseen. Valtiovalta pyrkii kuitenkin hoitamaan tilannetta lisäbudjeteilla, joista ensimmäinen toi TEKESille myöntövaltuuksia EU-rakennerahastoihin 115 Mmk ja pk-yrityksille myönnettävien pääomalainojen muodossa 70 Mmk.

Lopuksi haluaisin toivottaa kaikille Bioenergian ohjelmassa mukanaoleville työntäyteistä ja menestyksestä loppujaksoa sekä antoisia seminaaripäiviä täällä Laajavuoressa.

Tarja-Liisa Perttala
TEKES

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I

Esipuhe <i>Tarja-Liisa Perttala, TEKES</i>	3
Bioenergian tutkimusohjelman sisältö, keskeiset tulokset vuonna 1995 ja näkymät vuodelle 1996 <i>Dan Asplund & Pirjo Nikku, Bioenergian tutkimusohjelma</i>	9
Puupolttoaineiden tuotantotekniikka - tutkimusalueen katsaus <i>Antti Korpilahti, Metsäteho</i>	35
Puupolttoaineen pientuotanto ja -käyttö - katsaus tutkimusprojekteihin <i>Seppo Tuomi, Työtehoseura</i>	51

ENERGIAPUUVARAT

Biomassatase ja energiapuun kertymä ensiharvennuksissa - 105 <i>Pentti Hakkila, Metsäntutkimuslaitos</i>	61
Energiapuuvarat ja niiden hyödyntämisedellytykset - D105 <i>Veijo Vesterlin, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio</i>	75

PUUN KORJUU JA HAKKUUTÄHTEET

Energiapuun korjuu taimikon harvennuksen yhteydessä - 113 <i>Jarmo Hämäläinen & Risto Lilleberg, Metsäteho</i>	87
Päätehakkuiden hakkuutähde polttoainelähteenä - 114 <i>Pentti Hakkila & Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos</i> <i>Antti Asikainen, Joensuun yliopisto</i> <i>Antti Korpilahti, Metsäteho</i>	95
Hakkuutähteiden ja kokopuiden niputus ja nippujen käsittely - 115 <i>Heikki Kaipainen, Veli Seppänen & Samuli Rinne, VTT Energia</i>	109
Nippukorjausharvesteri - Y113 <i>Kari Koponen, Eko-Log Oy</i>	121

Pienpuun keräilykaatoon perustuvan harvennuskoneen
kehittäminen - 106
Risto Lilleberg, Metsäteho 125

Joustava hakkeen valmistus ja logistiikka - D104
Matti Hämäläinen & Panu Pankakari, Metsäenergia Meter Ky 135

INTEGROIDUT MENETELMÄT

Yhdistelmäkoneen kehittäminen pienpuun korjuuseen sekä
ensiharvennukseen - Y115
Pekka Nevalainen & Kari Kinnunen, Outokummun Metalli Oy 141

Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-
kuorintatekniikalla - 101, D102
Kaarlo Rieppo, Metsäteho
Pentti Hakkila, Metsäntutkimuslaitos
Veli-Juhani Aho, VTT Energia 145

Teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto - Y106
Kari Kuvaja, Enso-Gutzeit Oy 163

Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa ja integroitu
energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa - D103, Y114
Ari Hooli, Hooli Oy
Pekka-Juhani Kuitto, VTT Energia
Tapio Ranta, Finntech Ltd Oy 167

Puun korjuu palahakkeena ja monivaiheinen lastuaminen - 102
Heikki Kaipainen & Veli Seppänen, VTT Energia 181

MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä mekaanisen
massan raaka-ainetuotantoon - 104
Mikko Ahonen, Veli Seppänen & Lauri Nikala, VTT Energia 193

MASSAHAKE-demonstraatiolaitoksen seuranta - D108
Timo Hartikainen, Pohjois-Satakunnan Massahake Oy 205

Puupolttoaineen tuottaminen kokopuujuontomenetelmillä - Y109
Ismo Nousiainen, Finntech Ltd Oy
Tero Vesisenaho, VTT Energia 213

LAATU, TALOUDELLISUUS JA LOGISTIIKKA

Hake-, puu- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus massatehtaan kuitu- ja energiapuun hankinnassa - 110 <i>Vesa Imponen, Metsäteho</i>	229
Puupolttoaineen hankintalogistiikan kehittäminen - 111 <i>Heikki Laitinen, VTT Energia</i>	241
Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto - 117 <i>Pekka-Juhani Kuitto, VTT Energia</i>	251
Palstahaketuksen logistinen ketju - 116 <i>Jaakko Nuuja, Joensuun yliopisto</i> <i>Antti Asikainen, Metsäosaamiskeskus</i>	255
Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla - D101 <i>Timo Saksa, Metsäntutkimuslaitos</i> <i>Pekka Auvinen, Mikkelin kaupunki</i>	265
Keski-Suomen Metsäenergia -projekti - D106 <i>Martti Ahokas, Keski-Suomen Liitto</i> <i>Pekka-Juhani Kuitto, VTT Energia</i>	275

POLTTOPUUN TUOTANTO JA JAKELU

Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa - 108 <i>Jouko Mäkelä & Seppo Ryyänänen, Työtehoseura</i>	291
Urakointi-, puoliurakointi- ja isännänlinjan polttopuunkorjuun kehittämisprojekti - Y110 <i>Kyösti Reponen, Tume Oy</i>	303
Laite polttopuun tekoon - Y111 <i>Esa Jaatinen, Hämeen Teräsrakenne Oy</i>	307
Polttopuun käsittely- ja jakelulogistiikka - D107 <i>Aki Nevalainen, Tulipuu Oy</i>	311
Ostopilkkeen mitta- ja laatuvaatimusten kehittäminen - 118 <i>Jouko Mäkelä & Seppo Tuomi, Työtehoseura</i>	323

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMAN SISÄLTÖ, KESKEISET TULOKSET VUONNA 1995 JA NÄKYMÄT VUODELLE 1996

Dan Asplund, Pirjo Nikku
Bioenergian tutkimusohjelma
Ylistönmäentie 31
40500 Jyväskylä
Puh. (941) 4451 112, 4451 102
Faksi (941) 4451 120
sähköposti: dan.asplund@jsp.fi tai pirjo.nikku@jsp.fi

1 JOHDANTO

Suomen energiastrategia marraskuulta 1992 perustuu talouteen, ympäristöön ja varmuuteen. Nämä on otettu huomioon vuonna 1993 käynnistetyn kahdeksan energiateknologiatutkimusohjelman tavoitteissa ja sisällössä. Vuosi 1995 oli ohjelmien kolmas vuosi ja kaikkiaan ohjelmien kesto on kuusi vuotta. Energiatutkimusohjelmat siirrettiin vuoden 1995 alusta KTM:sta TEKESiin. Energiatutkimusohjelmien siirtyminen TEKESiin on tuonut tutkimusohjelmalle synergiaetuja muihin teknologiaohjelmiin. Energiateknologian ohjelmakäytäntöä voitaisiin puolestaan soveltaa muihinkin ohjelmiin. BIOENERGIA-tutkimusohjelman erikoisuutena on lisäksi hyvin konkreettiset tavoitteet, yritysten vahva osallistuminen johtoryhmätyöskentelyyn ja tutkimuslaitoshankkeiden arviointiin.

Vuonna 1995 BIOENERGIA-tutkimusohjelma oli kolmanneksi suurin kaikista meneillään olevista TEKESin teknologiaohjelmista. Ohjelma keskittyy biopolttoaineiden tuotantoon, käyttötekniikkaan pienimuotoisesta lämpövoimasta talojen lämmittämiseen sekä kemialliseen jalostukseen.

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 CO₂-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. Biopolttoaineiden käytön lisääminen vaikuttaa erityisesti hiilidioksi- mutta myös rikkipäästöjä vähentävästi.

Suomen bioenergiavarat ovat runsaat (taulukko 1). Turpeen vuotuinen käyttö vie ainoastaan pienen osan varoista ja vuosikasvu on suurempi kuin käyttö. Metsän runkopuu sisältää 350 milj. toe:n energiamäärän ja muu biomassa n. 250 milj. toe. Vuosittainen puubiomassan kasvu on 24 milj. toe vuodessa, mikä teoreettisesti vastaa 80 % Suomen kokonaisenergiankäytöstä. Vuosittaisesta kasvusta käytetään 20 % energian tuotantoon (4,3 milj.toe) ja 23 % teollisuuden raaka-aineeksi.

Taulukko 1. Suomen biomassavarat ja niiden käyttö.

	Varat TWh	Mtoe	Käyttö Mtoe/a
Turve	6200	550	
Turpeen kokonaiskasvu/vuosi	28	2,5	1,6
Runkopuu	4000	350	
Muut puunosat	2800	250	
Puun kokonaiskasvu vuodessa	270	24	4,6
Energiahuolto vuodessa *)	11	1	0
Olki vuodessa	6,8	0,6	0
Kunnallista jätettä vuodessa	6,8	0,6	0,01

6,2 yht.

*) Ruokohelpi 5 t ka/ha, 0,5 milj. ha

Valtioneuvosto hyväksyi 7.4.1994 bioenergian edistämishjelman /1/. 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 edistämishojelman toteuttamista. Ohjelman pääpaino on puun energian käytön lisäämisessä. Bioenergian ja muun uusiutuvan energian merkittävää asemaa energiateknologian julkisrahoitteisessa tutkimus- ja kaupallistamistyössä painotetaan. Kotimaisten energialähteiden kilpailukykyyn edistämiseksi tuetaan uutta teollisuutta luovaa ja vientiä lisäävää tutkimus- ja kehitystoimintaa ja demonstraatiolaitoksia. Energiamarkkinoita vinouttavia investointi- ja verotukia vähennetään ottaen kuitenkin huomioon bionergian käytölle asetetut erillistavoitteet.

Kauppa- ja teollisuusministeriö esitti marraskuussa 1994 arvionsa /2/ sähkön kulutuksen kehityksestä vuoteen 2005. Arvion mukaan vuonna 2000 tarvitaan lisäkapasiteettia 2000 MW ja vuoteen 2005 lähes 5000 MW. KTM:n mukaan uusi kapasiteetti muodostunee fossiilisia polttoaineita ja kotimaisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten ja sähkön tuonnin yhdistelmästä. Arvioitu fossiilisten polttoaineiden käytön kasvu nostaisi selkeästi hiilidioksidipäästöjä nykytasosta. Tämä lisää haastetta kilpailukykyisen bioenergian lisäkäytön kehittämislle.

Bioenergian nykyisestä ja tulevasta käytöstä EU-maissa on julkaistu komission toimesta vuonna 1994 arvio /3/, joka osoittaa tavoitteena olevan bioenergian suhteellisen merkityksen kasvun. Komissio on asettanut 13.9.1993 tavoitteeksi /4/ uusiutuvien energialähteiden osuuden nostamisen vuodesta 1991 vuoteen 2005 mennessä 4 prosentista 8 prosenttiin energian kokonaiskulutuksesta (8 % vastaa 109 milj.toe:ia). Sähkön osalta tavoitteena on kolminkertaistaa tuotanto 135 TWh:iin (poislukien suuret vesivoimalat). Liikenteen osalta tavoitteena on, että biopolttoaineilla on 5 %:n markkinaosuus vuoteen 2005 mennessä. Valmisteilla olevassa Alternen II ohjelmassa tavoitteita esitetään vielä tarkistettavaksi merkittävästi ylöspäin. Arviot biomassojen tulevasta käyttömäärästä ovat suuria Suomeen verrattuna, joten kotimaassa kehitettävän tekniikan vientipotentiaali on merkittävä.

2 TUTKIMUSOHJELMAN TOIMINTA-AJATUS JA TAVOITTEET

Vuonna 1995 tutkimusohjelma teki väliarvioinnin ohjelmasta ja lisäksi erillisiä selvityksiä ohjelman suuntaamista varten. Selvitykset tehtiin puupolttoaineen tuotannosta /6/, turvetuotannosta /7/, biopolttoaineiden tuotannosta ja käytöstä kiinteistö- ja aluelämmityksessä /8/, pienvoimalaitostekni-

koista sekä teknologia- ja laitevientimarkkinoista. Näiden pohjalta on ohjelman johtoryhmä täsmentänyt perusteita, tavoitteita ja painopisteitä. Perusteet on jo aikaisemmin mainittu.

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.

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. m³. Tavoite on entinen, mutta kuljetus- ja jäätävyydeksi on täsmennetty 100 km.

Toinen tavoite on parantaa turpeen 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 tavoitteet ovat:

Kehittää demonstraatioasteelle 3 - 4 biopolttoaineen käsittelyyn tai kuivaamiseen liittyvää liittyvää uutta laitetta tai menetelmää, jotka mahdollistavat ympäristöystävällisen ja kilpailukykyisen energiantuotannon ja kehittää pienikäytön (< 20 MWth) laitetekniikkaa ja vähentää päästöjä.

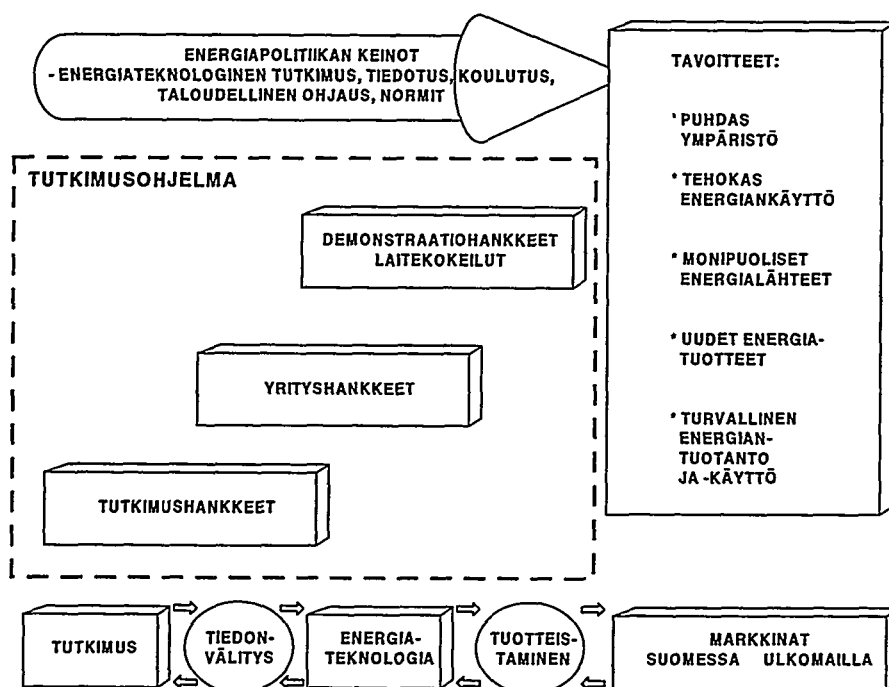
Uuden pienvoimalaitostekniikan kehittäminen, esimerkiksi flashpyrolyysiöljydieselini, kaasutusmoottorin ja pölypolttokaasutusturbiinin.

Ohjelmassa demonstroidaan vähintään 2 - 3 uutta suuren kokoluokan käyttökohteita, joissa kussakin käyttöpotentiaali koko maassa on vähintään 0,2 - 0,3 milj. toe/a vuoteen 2000 mennessä.

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

Lähi vuosina niin EU:ssa kuin Suomessa vapautuu pelloja muuhun kuin ravinnon tuotantoon. Eräs mahdollisuus on käyttää vapautuvaa pelloalaa energiakasvien tuotantoon. Vuonna 1995 Bioenergian tutkimusohjelman johtoryhmä yhdessä MMM:n kanssa arvioi tarvetta laajentaa tutkimusohjelmaa peltobiomassojen tutkimukseen asettamalla alueelle konkreettiset tavoitteet. Päätettiin, että jatketaan projektipohjalta ja vuoden 1996 lopussa tehdään erillinen arvio kun nykyinen projektikokonaisuus päättyy.

BIOENERGIA-tutkimusohjelmassa on tavoitteena edetä kullakin alueella tutkimuksesta yritysten kehitystoiminnan kautta kaupalliseen toimintaan kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Tutkimuksesta kaupalliseksi toiminnaksi.

3 TUTKIMUSOHJELMAN RAHOITUS JA ORGANISOINTI

Tutkimusohjelman johtoryhmä toimii yritysveltoisesti. Johtoryhmään on kuulunut rahoittajien (TEKES, KTM ja MMM), teollisuuden ja tutkimuslaitosten edustustajia, teollisuuden edustuksen ollessa erittäin merkittävä. Johtoryhmä tekee vuosittaisen ehdotuksen tutkimuslaitoshankkeista rahoittajien antamissa puitteissa. Tällä tavoin teollisuus ohjaa myös varsinaista tutkimusta. Yritysveltoisten tuotekehitys- ja demonstraatioprojektien rahoituspäätökset on tehty TEKESissä ja kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosastolla, ja johtoryhmä on arvioinut hankkeiden aihealueiden sopivuutta tutkimusohjelman painopisteisiin. Vuoden 1994 lopussa energian tutkimusohjelmien tutkimus- ja tuotekehitysrahoitus siirtyi TEKESin energiateknologian linjaan, mutta uuden teknologian demonstrointiin tulevat investointiavustukset rahoitetaan edelleen KTM:n energiaosastolta. Ohjelmaan kuuluu pienimuotoiset demonstraatio-investoinnit ja erityisesti demonstraatiohankkeiden seuranta.

Bioenergian tutkimusohjelman alkuperäinen suunniteltu rahoitus on kokonaisuudessaan 210 milj. mk ja vuosittain 35 milj. mk. Rahoitukseen ovat osallistuneet sekä kauppa- ja teollisuusministeriö että maa- ja metsätalousministeriö. Vuosina 1993-95 myönnetty kokonaisrahoitus on yhteensä lähes 150 milj.mmk, mikä ylittää suunnitelman lähes 50 %. Yritysten ja muiden rahoittajien osuus kokonaisrahoituksesta jatkoi vuonna 1995 edelleen kasvuaan, alkuperäinen suunnitelman mukaisesti ollen kuitenkin suhteellisesti arvioitua suurempi eli jo lähes 60 %:ia (taulukko 2).

Taulukko 2. BIOENERGIA-tutkimusohjelman rahoitus.

RAHOITTAJA	Suunniteltu rahoitus vuosittain 1993-98		Päätökset, milj.mmk		1995	1996
	1993	1994	1993	1994		
TEKES/KTM, yhteensä	16	96	27	20	19,4	
-tutkimuslaitoshankkeet			8	8	8	5
-yrityshankkeet			8	7	5,2	*
-demonstraatiohankkeet			11	5	6,2	*
MMM	7	42	1,5	2,8	2,7	*
Yritykset ja muut rahoittajat	12	72	22	23	29,4	7.6
YHTEENSÄ	35	210	50,5	45,8	51,5	12,6

* päätökset vielä tekemättä (29.3.1996)

4 PROJEKTIT VUONNA 1995

Ohjelmassa oli menossa 1995 lopussa kaikkiaan 66 projektia (taulukko 3): 32 niistä toteutetaan yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa, 19 oli yrityshankkeita ja demonstraatioprojekteja oli 15. Tutkimushankkeiden lukumäärä kasvoi merkittävästi. Teollisuus- ja demonstraatioprojektien lukumäärä pysyi edellisen vuoden tasolla. Puupolttoainetuotannon alueella projekteja on käynnissä 31, bioenergian käytössä 14, turvetuotannossa 10 ja jalostuksessa 8. Lisäksi erillisiä peltobiomassan projekteja oli 3, mutta muutamia oli myös käyttö- tai jalostustutkimuksen alueella.

Noin 60 % vuonna 1995 päätetystä rahoituksesta käytetään puupolttoaineen tuotantoa koskevaan tutkimustoimintaan (taulukko 4). Tämän osuuden kasvu on merkittävä. Turvetuotantoon suuntautui noin 15 %, joka on 5 prosenttiyksikköä vähemmän kuin 1994. Liitteessä 1 esitetään vuonna 1995 lopussa käynnissä olleet eri tutkimusalueiden projektit osana kehitysketjua tutkimuksesta kaupalliseksi toiminnaksi kuvan 1 kaavion mukaisesti.

Taulukko 3. BIOENERGIA-tutkimusohjelman käynnissä olevat projektit 1995 (suluissa 1994, 1993).

	Tutkimus- projektit	Yritys- projektit	Demonstraatioprojektit	Yhteensä
Puupolttoainetuotanto	14 (11,11)	8 (8,7)	9 (8,3)	31 (27,21)
Turvetuotanto	6 (5,5)	4 (5,6)	- (1,1)	10 (11,12)
Bioenergian käyttö	6 (4,5)	6 (4,2)	2 (4,3)	14 (12,10)
Bioenergian jalostus	4 (3,2)	1 (3,4)	3 (4,1)	8 (10,7)
Peltobiomassan tuotanto	2	-	1	3
Yhteensä	32 (23,23)	19 (20,19)	15 (17,8)	66 (59,50)

Taulukko 4. Vuonna 1995 päätetyn kokonaisrahoituksen jakautuminen.

Milj.mk	Tutkimus- projektit	Yritys- projektit	Demonstraatioprojektit	Yhteensä
Puupolttoainetuotanto	6,4	4,7	19,6	30,7 (60%)
Turvetuotanto	3,5	4,1	-	7,6 (15%)
Bioenergian käyttö	3,0	4,1	-	7,1 (14%)
Bioenergian jalostus	1,9	1,3	0,7	3,9 (7%)
Pelto- ja metsäbiomassan tuotanto	1,0	-	-	1,0 (2%)
Koordinaatio	1,2	-	-	1,2 (2%)
Yhteensä	17,0	14,2	20,3	51,5 (100%)
Osuus	33%	28%	39%	
Vuonna -94	37%	30%	33%	

Ohjelmaan osallistui vuonna 1995 kaikkiaan yli 30 yritystä. Yritys- ja demonstraatiohankkeissa puupolttoaineiden tuotantoalueella vuonna 1995 tehtiin 11 hanketta pienissä ja keskiuurissa yrityksissä. Lisäksi useita pk-yrityksiä oli osarahoittajina tutkimuslaitoshankkeissa. Samoin pk-yritysten kanssa tehtiin muuta yhteistyötä lähinnä Työtehoseuran projekteissa. Bioenergian käyttö -alueella oli mukana 2 pk-yritystä omilla hankkeillaan. Lisäksi käyttö-alueella oli useita yrityksiä mukana tutkimushankkeissa.

Taulukossa 5 on esitetty TEKESin vuoden 1996 ja suluissa vuoden 1995 tutkimushankkeiden rahoitusrakenne. Yritysrahoituksen osuus on merkittävä.

Taulukko 5. TEKESin rahoittamien tutkimuslaitoshankkeiden rahoitusrakenne vuonna 1996 (vuonna 1995).

Tutkimusalue milj.mk	TEKES	Oma rahoitus	Yritysrahoitus	Muu rahoitus	Kokonaiskustannukset
Puupolttoaineiden tuotanto	2,22 (2,77)	0,88 (1,41)	0,57 (0,45)	0,24 (0,80)	3,92 (5,43)
Turvetuotanto	0,52 (1,91)	0,23 (0,86)	0,25 (0,70)		1,00 (3,47)
Biopolttoaineiden käyttö	0,96 (1,32)	1,00 (0,66)	0,45 (0,5)	1,8 (0,37)	4,24 (2,85)
Biomassan jalostus	1,00 (0,86)	0,68 (0,36)	0,45 (0,35)	0,9 (0,28)	2,99 (1,85)
Peltoenergia	0,30 (0,18)	0,04 (0,04)	0,09		0,43 (0,21)
Yhteensä	5,00 (7,04)	2,84 (3,32)	1,82 (2,0)	2,92 (1,45)	12,6 (13,81)

TEKESin tutkimuslaitoshankkeiden kokonaisrahoitus on pienentynyt rahoitusleikkauksen vuoksi 8 milj. markasta 5 milj. markkaan. Vuoden 1996 koordinaattorirahoitus 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. Merkittävä muutos on lisäksi turvetuotannon tutkimuksen TEKES-rahoituksen pieneneminen lähes 1,5 milj. markalla, jolloin kokonaisrahoitus pienenee vastaavasti 2,5 milj. mk.

5 VUODEN 1995 TULOKSIA

Tutkimusohjelman tavoitteista on puupolttoaineen ja turpeen tuotantotekniikan alueilla jo osa saavutettu - runsaasti etuajassa. Uusien tekniikoiden demonstrointi on aloitettu. Monen hankkeen osalta on päästy jo tutkimuksesta demonstraatiohankkeisiin ja uusia vientituotteitakin on syntynyt. Tutkimus- ja kehitystyön ansiosta on voitu täsmentää uusia tutkimustarpeita ja esittää uusia ideoita kokeilua ja demonstroimia varten. Seuraavassa on lyhyesti esitelty tuloksia uusien menetelmien ja laitteiden demonstroinnin näkökulmasta. Tutkimus- ja kehitystyötä on tarkemmin esitelty eri alueiden katsauksissa ja yksittäisten projektien tulosten esittelyssä.

5.1 PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka

Polttopuun tuotanto

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 itse vaikea ongelma toimitetun hakkeen energiasällön 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".

Puupolttoaineiden tuotanto taimikon harvennuksista

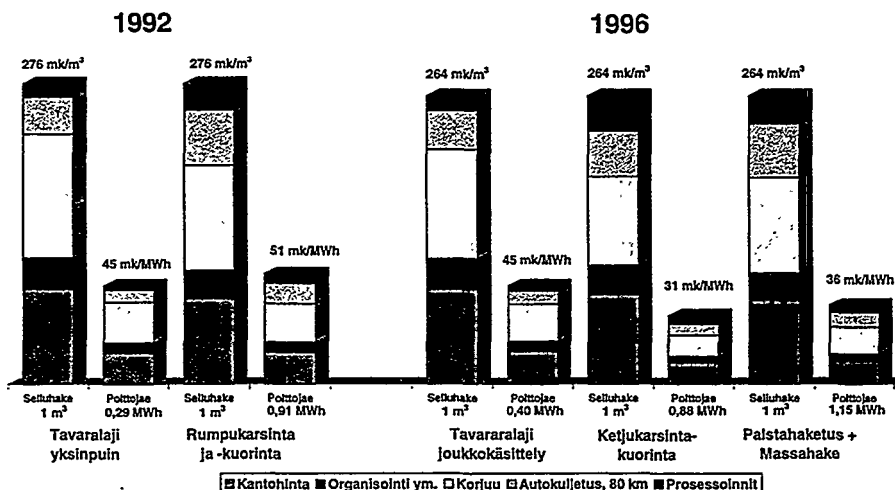
Taimikonhoidon ohjeita on hiljattain tarkistettu siten, että harvennus tulisi tehdä aiempaa myöhemmin, puun 4 - 7 metrin pituusvaiheessa. Kaadettavat

puut ovat silloin jo niin kookkaita, että hehtaarikohtainen 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. m³ (lähes 0,5 milj. toe) vuodessa.

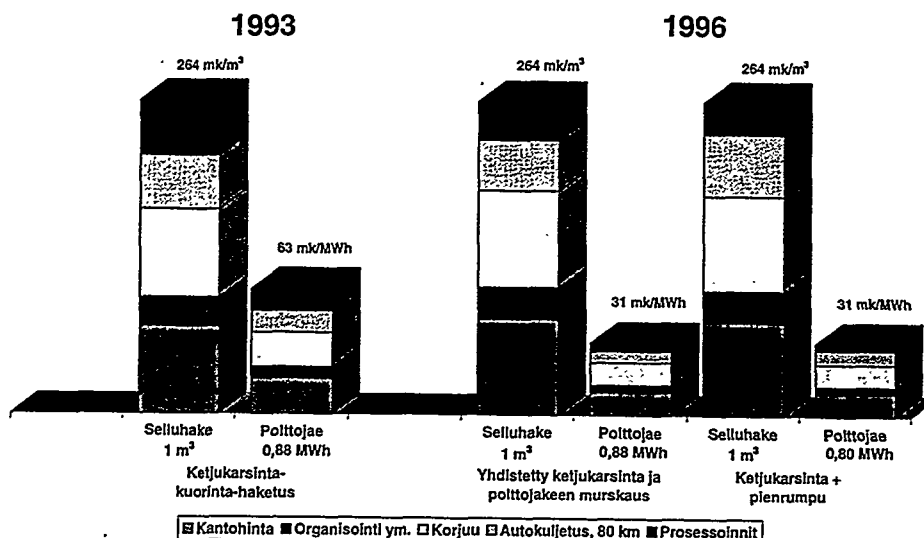
Puupolttoaineiden tuotanto harvennushakkuista

Puupolttoaineen tuottamisessa ensiharvennusvaiheen metsiköistä keskeisenä kehittämiskohteenä on ollut teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto. Yhteenveto tutkimusohjelmassa mukana olleiden integroitujen tuotantomenetelmien kustannusten nykytasosta ensiharvennushännälle on esitetty kuvassa 2. 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. 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 3 on tarkemmin esitetty ohjelmassa kehitettyjen menetelmien kehitys ja teknistaloudellinen vertailu.

Harvennuspuun korjuuta ja puupolttoaineen tuotantoa on tutkittu erityisesti hännällä. Se on perusteltua, sillä mäntyvaltaisten metsiköiden osuus ensiharvennuksista on noin 80 %. Ensiharvennushakkuisten hakkuutarve yksityismetsistä on vähintään 6 milj. kuutiometriä runkopuuta vuodessa.



Kuva 2. Puupolttoaineen tuotanto harvennushakkuista (ensiharvennushännä), tutkittujen ja kehitettyjen tuotantomenetelmien kustannusvertailu.



Kuva 3. Ohjelmassa tapahtunut ketjukarsintamenetelmiin liittyvä kehitys.

Oy Logset Ab:n kehittämä hakeharvesteri on edennyt demonstraatiovaiheeseen. Ensimmäinen kone on toimitettu demonstrointiin ja myös vienti Saksaan on käynnistymässä.

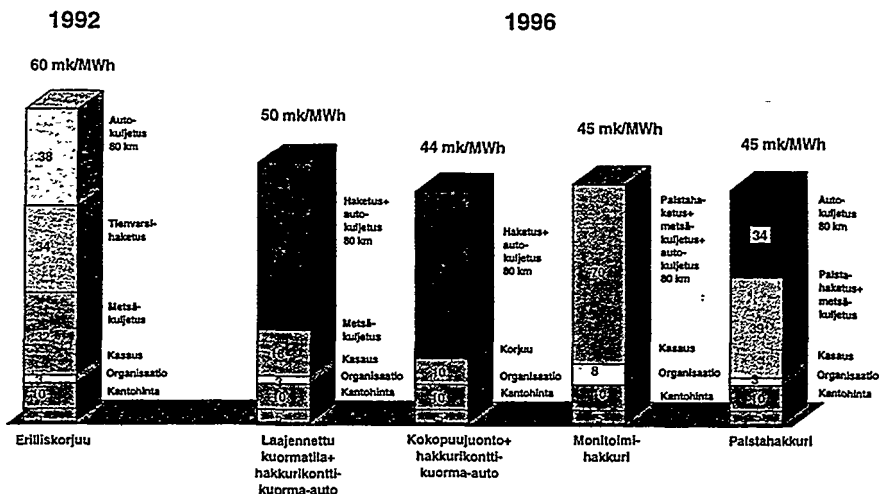
Joukkokäsittelyharvesterilla, joka on kehitetty pienpuun käsittelyyn kuorinainharvesterista, saavutettiin tutkituilla kohteilla 20 % korkeampi tehotuotanto kuin yksinpuinkäsittelyllä. Tämä merkitsee noin 5 - 15 mk/m³ vähennystä puun hankintakustannuksiin. Kehitystyötä tekivät Outokummun Metalli Oy ja Metsäteho yhteistyössä Enso-Gutzeit 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.

Ketjukarsintakuorinnan ongelmana on hakkeen korkea kuoripitoisuus talviolosuhteissa, minkä alentamiseksi on käynnistetty ketjukarsintakuorinnan tutkimus tutkimuslaitteen avulla. Pilot-laitos, joka soveltaa ketjukarsintakuorintateknologiaa yhdistettynä pienrumpukuorintaan valmistui vuonna 1995 metsäteollisuuden yhteysteen. Hooli Oy:n demonstraatiohankkeessa on valmistettu karsintakuorintatekniikkaan ja vasaramurskaukseen perustuva laiteyhdistelmä, joka oli kokeiluvaiheessa viime vuonna.

Puupolttoaineiden tuotanto päätehakkuista

Yhteenvedo kuusivaltaisten päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuuseen soveltuvien tuotantomenetelmien kustannusten nykytasosta on esitetty kuvassa 4, jonka tulokset osoittavat, että tavoitteeksi asetettu 45 mk/MWh, on mahdollista saavuttaa. Tuotantopotentiaali Suomessa päätehakkuissa on 1,0 milj.toe/a. Kuvassa esiteltyjen tuotantomenetelmien kehitystaso vaihtelee: osa menetelmistä olisi otettavissa käyttöön nykykalustolla välittömästi, mutta suuressa osassa tarvitaan vielä keskeisten laitteiden tuotekehitystyötä tai koko ketjun demonstrointia.



Kuva 4. Tutkimusohjelmassa tutkittujen ja kehitettyjen hakkuutähtehakkeen tuotantoketjujen kustannusvertailu. Metsäkuljetusmatka 250 m, autokuljetusmatka 80 km.

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. Chipset-palstahakkuriin perustuva uusi päätehakkuumenetelmä on demonstraatiovaiheessa.

Hakkurilla varustetun kuorma-auton, joka voi kulkea palstalla, ja siirtokonttien käyttöön perustuvalla tuotantoketjulla päästään kilpailukykyiseen hintaan, kun hakkuuvaiheessa tehdään haketus ja laitteelle saadaan ympärivuotinen käyttö. Menetelmän kaupallinen koekäyttö aloitettiin vuonna 1995.

Menetelmän kehittäminen Jaakko Pöyryn konseptin pohjalta tarjoaa edelleen kehityspotentiaalia. Tällöin hakkuutähteiden korjuu tehdään samalla kalustolla ja samanaikaisesti kuin ainespuun korjuu tienvarteen ja hoidetaan

haketus hakettavalla konttikuljetuskalustolla ja kaukokuljetus kolmella kontilla.

Kuusivaltaisissa päätehakkuissa on kokeiltu myös kokopuujuontoon perustuvaa ainesrunkopuun ja energiapuun integroitua korjuumenetelmää, jolla hakkuutähteisiin kohdistuvat korjuukustannukset olivat jopa alle 10 mk/m³. Tämä merkitsisi polttoaineelle alle 45 mk/MWh tuotantokustannuksia käyttöpaikalla 80 km:n etäisyydellä, jos menetelmään liittyvät kehitystarpeet esimerkiksi välivarastojärjestelyjen osalta pystytään ratkaisemaan. Menetelmä on valmis demonstroitavaksi.

5.2 TURVETUOTANTO

Tärkeimmät tutkimuskohteet turvetuotannossa, joilla tavoite turvetuotantotekniikassa saavutetaan, ovat ojitus- ja kunnostustekniikka, kuivatustekniikka, konetekniikka, menetelmätekniikka, puun korjuun ja turvetuotannon integrointi ja Optimiturve-tutkimusohjelman tulosten hyödyntäminen käytännössä.

Tärkeimmät vuoden 1993 - 1995 tutkimustulokset ovat:

- Todennettu laskentamallilla, että avo-ojalevyttä voidaan kasvattaa 20 m:stä 60 m:iin käyttäen salaojia. Tuloksia todennetaan käytännössä.
- Muodostettu turpeen kuivumisen fysikaalinen malli, jolla konstruoidaan kuivumisnopeuden ja tuoton kannalta optimaalinen kuivatettavan turvekerroksen rakenne.
- Muodostettu tiivisturpeen tuotantoperiaate, jolla aikaansaadaan kuivumisen tehostuminen ja jonka tärkeimpiä osia tutkittu laboratoriossa, on valmis tekniseen kehitystyöhön.
- Kehitetty turpeen siirtomenetelmä ns. Tarkkaturvemenetelmä, joilla suon pohjalle jäävän turpeen määrä voidaan vähentää puoleen. Menetelmään on lisäksi kehitetty prototyyppiasteelle kevyt ja paloturvallinen koneketju. Se koostuu muovijyrsimestä, kevyestä kuormaajasta ja kokoojavau-numenetelmästä. Vuonna 1995 uusi turpeen siirtomenetelmä oli käytössä lähes 500 ha alueella ja vuonna 1996 menetelmää suunnitellaan käytettävän yli 1000 ha alalla.
- Suon tarkempaan hyödyntämiseen on myös kehitetty palaturpeen levitysvaunumenetelmä. Menetelmä on tuotannollisessa koekäytössä.

- Kehitetty ja otettu käyttöön menetelmä, jossa haketta käytetään muovin korvaajana turveauman peittomateriaalina. Vapo Oy:ssä käytettiin noin 0,5 miljoonaa irtokuutiometriä puupolttoainetta turveaumojen peittoon vuonna 1995.
- Käynnistetty uuden suurtuotannon palaturpeen karhekuivausmenetelmän koneketjun kehittäminen ja rakennettu jo karheen prototyyppi.
- Ohjelman alkuaikoina kehitetty uusi viivotinkarheja oli tuotantokaudella 1995 suuressa osassa käytössä jyrshinturvetuotannossa.

Turvetuotannon tutkimusalueen tavoite on tutkimustulosten valossa mahdollista saavuttaa mikäli osatavoitteet saavutetaan. Avo-ojaleveyden kasvattaminen 20 m:stä 60 m:iin alentaa tuotantokustannuksia 5 %, aurinkoenergian hyväksikäyttöasteen 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 osatavoitteiden saavuttaminen myös käytännön turvetuotannossa pienentää yhdessä tuotantokustannuksia 23,8 %.

5.3 BIOENERGIAN KÄYTTÖ

Bioenergian käyttöalueen projektien painopiste on ollut polttoaineiden käsittely- ja kuivatustekniikassa sekä lämmityslaitteiden kehittämisessä kiinteistökokoluokkaan. Poltto-aineiden käsittelytekniikassa hankkeet ovat keskittyneet polttoaineiden syöttöön paineistetuissa voimalaitosprosesseissa. Itse termiset prosessit ovat LIEKKI II tutkimusohjelmassa.

Yritysprojekteina on käynnistynyt kahden erityyppisen kuivurin kehitystyö. 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 kehitteillä olevassa 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 demonstrointiin Högfors Lämpö Oy:n toimesta. Prototyyppikattilasta (200 kW) saatujen kokemusten perusteella rakennettiin 500 kW:n kattila, joka laboratoriotestausten jälkeen sijoitettiin kauppapuutarhan lämmityslaitteeksi vuonna 1995.

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.

5.4 BIOMASSAN JALOSTUS

Biomassan jalostustutkimus on keskittynyt vuonna 1995 edelleen selluteollisuuden sivutuotteiden jalostaminen ja kiinteän biomassan jalostus polttonesteeksi flash pyrolyysillä.

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 kehitytyötä pyrolyysiöljylle jatketaan.

5.5 PELTOBIOMASSAN TUOTANTO

Useita tutkimushankkeita oli käynnissä. Hankkeet ovat tässä vaiheessa lähinnä tutkimuspainotteisia. Vapo Oy:n projektissa on kuitenkin käynnistetty laajamittainen kokeilu.

6 JULKAISU- JA TIEDOTUSTOIMINTA JA KANSAIN- VÄLISET YHTEYDET

Tutkimusohjelman vuosiseminaari järjestettiin 14. - 15. maaliskuuta 1995 Tampereella. Osanottajia seminaarissa oli yli 200. Metsäteollisuudelle suunnattu seminaari: Metsäteollisuuden energiateknologiat järjestettiin yhdessä KESTÄVÄ PAPERI-, LIEKKI 2- ja SIHTI 2- ohjelmien kanssa 10. - 11. toukokuuta. Seminaarin osallistui 130 metsäteollisuuden energia- ja metsäammattilaista.

Tutkimusohjelman kolmiosainen vuosikirja, suuntaamisselvitykset (3 kpl) ja puupolttoaineiden integroituja menetelmiä käsittelevä esiselvitys julkaistiin ohjelman sarjassa vuoden 1995 aikana. Lisäksi tutkimusprojektien tuloksia on julkaistu METLAn, Työtehoseuran, VTT:n ja Metsätehon julkaisusarjoissa.

Tutkimusohjelman tiedotuslehteä julkaistiin kaksi kappaletta: toukokuussa ja marraskuussa. Lehti välittää käytännönläheisesti ohjelman projektien tuloksia ja tietoa valmistuneista raporteista. Lehden jakelu on ollut 1000 kpl. Tutkimusohjelman tuloksia esiteltiin useissa näyttelyissä ja konferensseissa: maaliskuussa Metsäyhdistyksen Metsäviikolla, ja elokuussa IUFRO:n kansainvälisessä Metsäkonferenssissa Tampereella ja 2nd American Biomass konferenssissa USA:ssa sekä syyskuussa Puu ja Metsämessuilla Jyväskylässä. Näyttelyitä varten laadittiin ohjelman puupolttoaineiden tutkimustuloksia esittelevä näyttelystandi suomen- ja englanninkielisenä, lisäksi laadittiin puupolttoaineiden projektien tuloksia esitteleviä tiedotteita. Projektien tuloksia esitteleviä tiedotteita jaettiin vuoden 1995 aikana lähes 10 000 kpl. Puu ja Metsä -messuilla esiteltiin myös metsäkonenäyttelyssä viiden projektin tuloksena syntyneitä koneita. Ohjelman tuottamaa tiedotusmateriaalia; tiedotuslehtiä, videoita, raportteja ja julkaisuja on toimitettu alan asiantuntijoille viikoittain useita kappaleita.

Tiedotustoiminnassa on noudatettu vuonna 1994 yhdessä TEKESin ja BNL Information kanssa laadittua viestintäsuunnitelmaa, jossa tutkimusohjelman tiedotuksessa on käytetty monipuolisia keinoja: seminaareja, tiedotteita, näyttelyitä ja pidetty jatkuvaa yhteyttä alan lehtiin. Tutkimusohjelman johtaja tiedotti tuloksista myös sidosryhmien johdolle. Ohjelman konkreettisten tuloksien tiedottamiseksi järjestettiin Otaniemessä 30. marraskuuta tiedotusseminaari, jossa esiteltiin yritysprojektien tuloksia niin tiedotusvälineille kuin alan asiantuntijoille. Myös ALTENER-ohjelman seminaarien yhteydessä esiteltiin useiden puuprojektien tuloksia erityisesti Keski-Suomen Metsäenergia- projektin. VTT Energia on välittänyt tietoa Bioenergian tutkimusohjelmasta ja sen tuloksista myös ALTENER-ohjelman European Energy Network (EnR) ja AFB-NETT-projektin kautta.

Suomi on osallistunut IEA-yhteistyöhön Bioenergy Agreementin puitteissa, joka on alunperin metsäenergian tutkimusohjelmasta alkanut bioenergian tutkimusohjelma. IEA:n toiminnan tuonteena on tiedon välittäminen, eikä se jaa tutkimusrahoitusta. Biomassan tuotanto alueella on osallistuttu integroitujen tuotantomenetelmien sekä polttopuun erilliskorjuun yhteistyö- hankkeisiin, joissa on virallinen edustaja METLAs- ta. Biomassan käyttö ja jätteiden energiakäyttö ovat alueita, joissa on VTT:n edustus. Bioenergian tutkimusohjelma on osallistunut osittain yhteydenpitokustannusten rahoittamiseen.

Ohjelman johtoryhmä esitteli maaliskuussa 1995 EU:lle ohjelmaa ja sen tuloksia. Viime vuoden aikana käynnistyivät myös ensimmäiset ohjelmaan liitetyt EU-projektit.

7 VIEN- TI

Tutkimusohjelma teetti suuntaamisselvityksen laiteteknologiamarkkinoista. Tämä kappale perustuu pääosin kyseiseen selvitykseen. Bioenergialle on jo nyt olemassa huomattavasti taloudellisia käyttökohteita. Skandinaaviassa, Kanadassa ja myös USA:ssa on vallitsevana on biomassan käyttö sellu- ja paperiteollisuudessa sekä itsenäisessä voimantuotannossa (IPP). Tulevaisuudessa tämä teollisuus tulee olemaan kaikkein tärkein puuenergian käyttäjä perustuen sen tehokkaaseen ja integroituun käyttöön. Myös peltojen vapautuminen luo mahdollisuuksia erilaisille energiakasvien tuotannolle, mutta erityisesti osana monipolttoaineiden käyttök- teknikkaa. Suomalaisen osaamisen merkitys kasvaa siellä, missä kansainvälisten sopimusten edellyttämää CO₂-päästöjen rajoittamista aletaan toteuttaa.

EU:ssa suhtaudutaan myönteisesti bioenergiaan ja muiden uusiutuvien energialähteiden käyttöön, mikä näkyy myös käytännön toiminnassa. Selvää on, että mikäli biomassasta tuotetun energian hinta on kilpailukykyinen, sen käyttö tulee lisääntymään merkittävästi. EU:n maiden omien arvioiden mukaan Euroopan biomassan potentiaali on 65 Mtoe/a ja tämän hetken käyttö vain 25 Mtoe/a vastaten 85 % Suomen primäärienergian kokonaiskulutuksesta. Uusista EU-maista Ruotsissa bioenergian osuus primäärienergian kulutuksesta on 14 %. Erityisesti siellä on runsaasti puuta markkinapoltt- oaineena lämmityksessä.

Kaikissa ns. EU-12 maassa on bioenergian käytölle asetettu lisäämistavoit- teet. Uusissa EU-maissa Suomessa, Ruotsissa ja Itävallassa bioenergia on merkittävä potentiaali. Lisäksi on tehty toimenpiteitä, joilla bioenergian käyttöä edistetään. EU:n ALTENER-ohjelman tavoitteena on uusiutuvien energiamuotojen käytön edistämällä vähentää CO₂-päästöjä yhteensä 180 milj. tonnia vuoteen 2005 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on

asetettu uusiutuvien energiamuotojen osuuden nostaminen vuoden 1991 4 %:n tasosta 8 %:iin vuoteen 2005 mennessä. Sähkön osalta tavoitteena on kolminkertaistaa tuotanto 135 TWh:iin (poislukien suuret vesivoimalat). Liikenteen osalta tavoitteena on, että biopolttoaineilla on 5%:n markkinaosuus vuoteen 2005 mennessä. Tavoitteiden saavuttamisessa on bioenergialla arvioitu olevan merkittävä osuus.

Suurimmat suhteelliset kasvutavoitteet bioenergialle on asetettu Alankomaissa, Iso-Britanniassa, Italiassa ja Saksassa. Bioenergian käytön kasvu lämmön tuotannossa perustuu toistaiseksi teollisuuden, yhdyskuntien ja maatalouden jätteiden hyväksikäyttöön ja puun käytön lisäämiseen. Sähkön tuotannon puolella merkittävimmät lisäykset on suunniteltu energiakasvien viljelmille, biokaasulle ja jätteiden hyödyntämiselle.

Laskennallisesti voidaan tarkastella, mitä suunnitellut bioenergian käytön lisäykset merkitsisivät laitemarkkinapotentiaalina. Puun korjuun jätteiden (myös raaka-ainehankinnan yhteydessä syntyvät tähteet) käyttö lämmön tuotannossa merkitsisi vuositasolla 1200 milj. markan laitemarkkinapotentiaalia itse Euroopassa. Tärkeimmät vientimaat ovat Ranska, Italia ja Saksa. Energiakasvien ja maatalouden jätteiden lämmön tuotannossa käytön laitemarkkinapotentiaalit olisivat lähes yhtä suuret, vuositasolla noin 500 milj. mk. Energiakasvien osalta markkinapotentiaali ei synny itsestään vaan se vaatisi viljelyä. Puun korjuun jätteet ja maatalouden jätteet puolestaan syntyvät muun toiminnan yhteydessä.

Vastaavasti sähkön tuotannon laitteiden osalta suurin markkinapotentiaali Euroopassa näyttäisi olevan energiakasvien käytön osalta, yhteensä 1480 milj. mk vuodessa. Eri polttoaineiden osalta Saksan yhteenlasketut laitemarkkinat vaikuttavat kiinnostavimmilta. Vuositasolla sähkön tuotannon laitemarkkinat olisivat noin 1,4 miljardia mk kaikkien edellä olevien maiden noin 4 miljardin mk markkinoista. Seuraavaksi merkittävimmät markkinat löytyvät Italiasta, Iso-Britanniasta, Ranskasta, Espanjasta, Portugalista ja Alankomaista.

Europassa ei vielä tunneta puupolttoaineiden mahdollisuuksia eikä erityisesti Suomessa kehitteillä olevien uusien integroitujen menetelmien mahdollisuuksia. Suurin osa toteutuneesta käytöstä lienee kotitalouksien polttopuun käyttöä (esim. Ranskassa 8,5 Mtoe arvioidusta 9,5 Mtoe:sta vertaa Suomessa 1 Mtoe.).

Olemassa olevien kilpailukykyisten (verottomien tai ilman muuta subventiota) tuotantomenetelmien puute ja tiedon puute myös uusista integroiduista menetelmistä näkyy suunnitelmista. Integroitujen tuotantomenetelmien markkinapotentiaalia voidaan laskennallisesti hahmottaa käyttämällä lähtötietoina hakattavia kuitupuumääriä.

Eri tuotantomenetelmien ja koneketjujen kotimaan vuotuisiksi markkinoiksi muodostuu käyttöönotettavasta menetelmästä ja käyttömäärästä riippuen 20 - 100 milj. mk. Eurooppaan suuntautuvan laiteteknologian viennin markkinoiksi muodostuu vastaavasti 30 - 180 milj. mk. Suurimman potentiaalin muodostavat uudet integroidut menetelmät.

Turveteknologia kokonaisuudessaan on Suomessa maailman johtavaa tasoa. Osaaminen perustuu laajaan ja pitkäaikaiseen turpeen käyttöön. Turvetuotannon ja -teknologian kehittyminen Suomessa on seurausta päätöksistä, joilla energiaturpeen käyttöä päätettiin lisätä sekä määrätietoisesta tutkimus- ja kehitystyöstä. Suomalaisella turveteknologialla on jo kansainvälisiä referenssejä eri puolilla maailmaa. Turvetuotannon koneiden ja laitteiden vienti oli vuonna 1994 yhteensä 5 milj. mk. Suomen mallin mukaista teknologia-pohjaista tuottavuuden kasvattamista on helppo soveltaa myös muihin maihin.

8 YHTEENVETO

BIOENERGIA-tutkimusohjelmassa vuonna 1995 oli käynnissä 66 projektia. Tutkimusohjelman vuodelle 1998 asetetuista tavoitteista on jo osa saavutettu kehitysvaiheessa olevissa tekniikoissa puupolttoaineen ja turpeen tuotantotekniikan alueilla - runsaasti etujassa. Uusien tekniikoiden laajamittainen demonstrointi voidaan aloittaa tulevana lämmityskautena. Monen hankkeen osalta on päästy jo tutkimuksesta demonstraatiohankkeisiin ja uusia vientituotteita on syntynyt. Uusia ideoita on myös saatu tutkimuksen kohteeksi. Käyttöteknologiassa on monia uusia laitteita valmiina demostrointiin. Jalostustutkimus etenee lähes suunnitellulla tavalla ja ohjelman aikana on edelleen mahdollista demostroida suomalaista konseptia pyrolyysiöljyn valmistamiseksi. Tuontiöljyllä on tehty kokeet 1.5 MW:n voimamoottorilla ja jatkettu teollisuusvetoista polttokäytön kehitystyötä.

Tutkimusohjelman kansainvälisyys tulee lisääntymään jatkossa. EU on asettanut selvät tavoitteet uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiselle tärkeänä osana CO₂ -päästöjen vähentämistavoitteen saavuttamista. Vuonna 1995 käynnistyneen muutaman projektin päärahoitus tulee EU:n tutkimusohjelmista ja vuonna 1996 näiden projektien lukumäärä lisääntyy. Myös ns. EU:n aluekehitysohjelmien rahoitusta ohjautuu tulevaisuudessa tutkimusohjelman osarahoitukseen.

VIITTEET

1. Bioenergian edistämishjelma. Valtioneuvoston kannanotto. Kauppa- ja teollisuusministeriön taustaselvitys. KTM Energiaosasto. Julkaisuja A:2. Huhtikuu 1994. Helsinki.
2. Valtioneuvoston periaatepäätös energiapolitiikasta. Kauppa- ja teollisuusministeriö. 21.12.1995.
3. Sähkön kysyntä kasvussa entä tuotanto? KTM:n arvioita vuoteen 2005. KTM Energiaosasto. Julkaisuja A:5. Marraskuu 1994. Helsinki.
4. The European Renewable Energy Study. Prospects for Renewable Energy in the European Community and Eastern Europe up to 2010. ALTENER Programme. Commission of the European Communities.DG XVIII. 1992.
5. Council Decision of 13 September 1993 concerning the promotion of renewable energy sources in the Community (ALTENER PROGRAMME). 93/500/EEC., VTT Energia; ALTENER brochure.
6. *Nousiainen, I., Asikainen, A., Korpilahti, A., Kuitto, P.-J. ja Vesisenaho, T.* Puupolttoaineiden tuotanto. Tutkimus- ja kehitystyön suuntaaminen vuosille 1996 - 98. Jyväskylä 1996. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 8. 106 s. + liitt. 7 s.
7. *Leinonen, A.* Turvetuotantotekniikan tutkimuksen suuntaaminen vuosille 1996 - 98. Jyväskylä 1996. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 10. 79 s. + liitt. 4 s.
8. *Oravainen, H., Järvenpää, M., Ryyänen, S. ja Tuomi, S.* Biopolttoaineiden tuotanto sekä käyttö kiinteistö- ja aluelämmityksessä. Tutkimus- ja kehitystyön suuntaaminen vuosille 1996 - 98. Jyväskylä 1996. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 9. 84 s. + liitt. 6 s.

LIITTEET

- 1.1 Ohjelman projektit puupolttoaineen tuotannosta
- 1.2 Ohjelman projektit turvetuotannosta
- 1.3 Ohjelman projektit bioenergian käytöstä
- 1.4 Ohjelman projektit biomassan jalostuksesta
- 1.5 Ohjelman projektit peltobiomassan tuotannosta

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANNOSTA 1995

AIHE	TUTKIMUSAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
TUOTANTO			
PUUN KORJUU METSÄSSÄ	106 Plenpuun keräilykaatoon perustuvan harvennuskoneen kehittäminen	Y113 Harvennuspuun automaattisen riippukorjausharvesterin kehittäminen Y115 Yhdistelmäkoneen kehittäminen plenpuun korjuuseen sekä ensiharvennukseen	
POLTTOPUU- TUOTANTO	108 Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa 118 Ostopölkkeen mita- ja laatuvaatimusten kehittäminen	Y110 Urakointi, puolurakointi ja isännänlinjan polttopuunkorjuun kehittäminen Y111 Polttopuu ja puunkorjuu	D107 Polttopuun käsittely- ja jakelulogistiikka
INTEGROIDUT PÄÄTEHAKKU- MENETELMÄT	114 Päätehakkuiden hakkuutähde polttoainelähteenä 115 Hakkuutähteliden ja kokopuiden niputus ja nipputen käsittely 116 Palstahaketuksen logistinen ketju	Y109 Puupolttolaitteen tuottaminen kokopuujuontomenetelmällä Y116 Oksien ohjaimella varustettu harvesteri	D104 Joustava hakkeen valmistus ja logistiikka D109 Chipset-hakeharvesterin demonstointi
INTEGROIDUT HARVENNUS PUUMENE- TELMA	104 Massahake-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hieteen raaka-ainetuotantoon 101 Integroitu puupolttolaitteen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla 102 Puun korjuu palahakkeena ja monivaiheinen las- tuaminen	Y106 Teollisuuden alnespuun ja puupolttolaitteen integroitu tuotanto Y114 Integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa	D108 Massahake-menetelmän demo D103 Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa D102 Plenpuun karsinta-kuorinta

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
TALOUDEL- LISUUS JA LO- GISTIIKKA	110 Hake-, puu- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus massatehtaan kultu- ja energiapuun hankinnassa 111 Puupolttoaineen hankintalogistiikan kehittäminen 117 Energiapuun korjuun ja kuljetuksen kustannuslaskentaohjelmisto		D101 Puuhakkeen hankinta -tutkimusprojekti Mikkelin seudulla D106 Keski-Suomen Metsäenergia -projekti
TUKITUTKIMUS			
METSÄN KAS- VATUS	113 Energiapuun korjuu taimikon harvennuksen yhteydessä		D105 Energiapuuvarat ja niiden hyödyntäminen
ENERGIAPUU VARAT	105 Blomassatase ja energiapuun kertymä		

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET BIOENERGIAN KÄYTÖSTÄ 1995

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
POLTTOAINEIDEN KÄSITTELY	301 Kiinteiden polttoainelaiden kuivumissparametrien karakterisointi 307 Pölyräjähdysten ja syttymispesäkkeiden lukahduttaminen biomassaa käyttävissä laitoksissa	Y308 Sekoituskulvurin jatkokehitys Y302 Painelstettu syötin biopolttolainelle Y304 Kiinteän materiaalin syöttöalteen kehittäminen Y307 Tehokas ja pölytön seospolttoainelaiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä Y309 Kierrätyspolttoainelaiden vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmän kehittäminen	
PIENIMUOTOINEN POLTTO- JA VOIMALAITOSTEKNIikka	302 Puuta käyttävien tulssija järjestelmien kehittäminen 309 Biomassan ja turpeen kaasutukseen perustuvien dieselvoimalaitosten toteutettavuustutkimus	Y306 Stokeripolton kehittäminen	D306 500 kW:n stokeripolttojärjestelmän demonstrointi D301 Huonekaluteollisuuden lämmityskattiloiden polton tehostaminen
PELTO	308 Upgraded fuel from reed canary grass 310 Pelto biomassojen esikäsittely ja prosessointi arvo-, bulkk- ja energialuokakaiden tuottamiseksi		

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET TURVETUOTANNOSTA 1995

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
TURPEEN KUIVATUS JA OJITUS	201 Turpeen kulvumisen nopeuttaminen lämmön- ja alaeensilrtoa tehostamalla 203 Tilvistetyn turpeen nosto ja kulvaus 202 Salaojitetun tuotantokentän kehittäminen		
TURVEKONEET	205 Uusien materiaalien käyttö turvekoneissa		
TUOTANTO- MENETELMÄT	206 Palaturpeen kuormituksen maksimointi ja käsittely	Y207 Tehopala Y204 Tarkkaturve Y208 Madaltuneen turvetuotantokentän kulvatustutkimus	
BIOPOLTTOAIN EIDEN INTEGROITU TUOTANTO	207 Jyrsinturveauman suojaus hakkeella	Y203 Bioenergian suurtuotanto polttoturpeen rinnalla	

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET BIOMASSAN JALOSTUKSESTA 1995

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
PYROLYYSI- ÖLJY	405 Pyrolyysiöljyn valmistus, ominaisuudet ja käyttö 407 Puuperäisten biopolttoöljyjen laadun parantaminen	Y401 Flash pyrolysis fuel oil: BIOPOK	D403 Bioöljyn tuotanto Flash-pyrolyysillä ja sen poltto D402 Bioöljyllä toimiva dieselvoimala
PELTOBIO- MASSAT	408 Rypsin ja ruokohelpin viljelyn demonstrointi nykypuristamoilla polttoöljyksi, paperikuiduksi ja flashpyrolyysiöljyn laajamittaisena non-food tuotantosuuntana		D404 Energiarypsi - peltojen non-food - vaihtoehtoja
JÄRJESTELMÄT	406 Bioenergiasysteemien teknistä-loudeellinen analyysi		

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET PELTOBIOMASSAN TUOTANNOSTA 1995

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
	501 Biomassan tuotanto pellolla ja turvesolla sekä käyttö energian tuotantoon 502 Peltokasvien eri osien erottelu- ja lajitteletekniikoiden kehittäminen		D501 Energiakasvien (mm. ruokohelpi) viljelykokellu turvesuoalueilla ja saatavan bioenergian soveltuvuus eri käyttökohteisiin

PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka - TUTKIMUSALUEEN KATSAUS

Antti Korpilahti
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki

Puh. (90) 132 521
Faksi (90) 659 202

Abstract: Results of the production of wood derived fuels

During the year 1995 there were over 30 projects concerning the production of wood derived fuels going on. Nearly half of them focused on intergrated production of pulp wood and wood fuel. About in ten projects work was carried out to promote wood fuel production from logging residues. Other topics were fire wood production, production logistics and wood fuel resources.

For production of fuel chips from logging residues, a new chipper truck, MOHA-SISU, was introduced. Having ability to move on terrain, and equipped with drum chipper, hook technics for interchangeable containers and a trailer, the whole production chain can be carried out by the same machine. This gives a new logistic solution resulting in high productivity and reasonable operating costs.

In Mikkeli region three years of active work promoted the usage of wood fuel in a district power plant to the level of over 110 000 cubic metres of fuel chips. The production costs tend to be a little high in average, and the production chain still needs to be improved.

In the field of intergrated production a great stride was taken when the first pilot plant using the MASSAHAKE -method started up. Components of the production line and knowledge to operate the process have increased resulting in good performance of the plant. And even another concept for intergrated production was introduced. In order to fully control the debarking of small sized trees, a production line of chain flail equipment and debarking drum followed by a chipper and screening facilities was built up.

Equipment and machines for harvesting young stands in a way that increases substantially the yeild of energy component are still mostly first prototypes. The development of them into well functioning, efficient tools is the most important task in intergrated production.

In order to increase wood fuel production remarkably, the attitude towards wood fuel usage must be changed from marginal fuel to one of the primary fuels. Without steady usage there are no basis for further development.

1 TUTKIMUSTOIMINNAN LAAJUUS JA SUUNTAUTUMINEN

Puupolttoaineiden tuotannon tutkimusalueella oli vuonna 1995 käynnissä kaikkiaan 31 projektia. Niistä oli tutkimuslaitosprojekteja 14, yritysprojekteja 8 ja demonstraatio- ja selvitysprojekteja 9. Pääosa projekteista oli aloitettu jo tutkimusohjelman käynnistämivuonna, ja olivat nyt loppuvaiheessa. Tyypillisesti usean vuoden kestävät tutkimusprojektitkin liittyivät laite- ja menetelmäkehittelyyn, jossa tutkiminen ja luotettavien tulosten saanti riippuvat teknisen kehityshankkeen edistymisestä.

Puupolttoaineen tuottaminen ensiharvennuksista integroidusti teollisuuden ainespuun kanssa oli aiheena 14:ssä projektissa. Hakkuutähteiden talteenottoa tutkittiin ja hakkuutähdehakkeen tuotantokalustoa kehitettiin 10:ssä projektissa. Muita aiheita olivat polttopuun tuotanto, puupolttoainevaroja koskevat selvitykset ja hankintalogistiikka. Uutena hankkeena käynnistyi mm. energiapuun talteenoton mahdollisuuksia taimikonhoitokohteista koskeva tutkimus.

Merkittävimpiä tutkimus- ja kehitystyön tuloksia ovat:

- tiedot ensiharvennuspuun ominaisuuksista teollisuuden raaka-aine - ja polttokäytön kannalta
- kokopuuhakkeen puhdistuksessa MASSAHAKE-menetelmää soveltavan pilot -laitoksen käynnistyminen
- ketjukarsintakuorinta -työyksikön valmistuminen
- ketjukarsinta-rumpukuorinta -pilotlaitoksen käynnistyminen
- uudentyyppisen logistiikan tarjoavan MOHA-SISU-monitoimi-hakkuri-auton valmistuminen
- laajamittaisen polttohaketuotannon saattaminen käyntiin Mikkelin seudulla.

2 PUUPOLTTOAINEEN TUOTANTO HAKKUUTÄHTEISTÄ

2.1 TUOTANTOPOTENTIAALI

Tällä hetkellä tärkein ja taloudellisimmin käyttöön otettava energiapuureservi muodostuu kuusikoiden uudistushakkuussa hakkuualalle jäävistä hak-

kuutähteistä. Hakkuutähteiden määrä riippuu kasvupaikasta ja puuston ominaisuuksista, mutta voi tyypillisimmillään olla 120 - 150 kiintokuutiometriä/ha. Käytännöllisesti katsoen kaikki uudistushakkuut tehdään koneellisesti, ja silloin hakkuutähteet voidaan jättää talteenoton helpottamiseksi kasoihin palstalle. Hakkuun ja hakkuutähteiden keruun aikana oksia ja neulasia leviää maastoon siten, että oksa- ja latvusmassasta saadaan talteen 60 - 75 %. Tyypilliset saannot ovat siten 70 - 110 m³/ha eli haketta 180 - 280 i-m³/ha (13 - 20 toe/ha). Hehtaarilta saatava energiamäärä vastaa 4 - 6 pientalon vuotuista kokonaisenergian tarvetta. Taloudelliset ja ekologiset seikat huomioon ottaen hakkuutähdettä arvioidaan olevan saatavilla energiakäyttöön vuosittain noin 5 milj. kuutiometriä eli lähes miljoonan öljytonnin verran.

Esimerkki alueellisista energiapuuvaroista voidaan esittää Mikkelin seudulta. Siellä polttohakkeen tuotanto nostettiin kolmen vuoden määrätietoisella työllä yli 100 000 hakekuutiioon vuodessa. Hankkeen yhteydessä selvitettiin myös energiapuuvaroja lähtien yksityismetsätalouden metsäsuunnitelmien kuviotiedoista. Mikkelin lähialueen (kuljetusetäisyys alle 40 km) yksistään päätehakkuun hakkuutähteistä olisi saatavissa noin 330 000 hakekuutiota vuosittain.

Hakkuutädehakkeen tuotantomenetelmät voidaan jaotella kolmeen päävaihtoehtoon:

- hakkuutähteiden metsäkuljetus, haketus välivarastolla, autokuljetus käyttöpaikalle
- palstahakkurilla haketus ja kuljetus välivarastolle, autokuljetus käyttöpaikalle
- hakkuutähteiden kuljetus ja haketus vasta käyttöpaikalla.

2.2 VÄLIVARASTOLLAHAKETUKSEEN PERUSTUVA TUOTANTO

Hakkuutähteiden talteenotto pitää ottaa huomioon jo hakkuuvaiheessa siten, että latvukset ja oksat jätetään metsäkoneiden ajouran viereen helposti kerästäviin kasoihin. Tutkimusten ja käytännön kokemuksenkin mukaan kasoihinhakkuu ei tavanomaisissa leimikko-olosuhteissa vaikuta hakkuun tuottavuuteen, mutta tähteiden metsäkuljetus on kasoista 20 - 30 % nopeampaa kuin tavanomaisen hakkuun jäljiltä. Hakkuutähteen metsäkuljetus on tutkimusten mukaan edullisinta tehdä erillisenä työvaiheena hakkuutähteiden kuljetukseen varustetulla kuormatraktorilla. Normaalikuormatilisella metsätraktorilla päästään noin 5,5 m³:n kuormakokoon hakkuutähteellä. Kun kuormatila rakennetaan erityisesti hakkuutähteitä varten, päästään helposti puolitoistakertaiseen ja suurempaankin kuormakokoon. Se merkitsee hak-

kuutähteen metsäkuljetuskustannusten alentumista 23 mk/m^3 tasosta noin 20 % eli 18 mk/m^3 paikkeille 250 metrin kuljetusmatkalla.

Tavanomaisin suurtuotannon välivarastohakkuri on kuorma-autoalustainen rumpuhakkuri. Haketus ja kaukokuljetusmuodostavat ns. kuuman ketjun. Kun kuljetusmatka on lyhyt, alle 40 km, tuotantoketju perustuu yhden hakeauton käyttöön. Pidemmillä kuljetusmatkoilla edellytetään kahden hakeauton käyttöä. Laskennalliset haketus-kustannukset ovat näissä tapauksissa runsaat 40 ja noin 30 mk/m^3 . Hakkeen autokuljetuskustannukset ovat vastaavasti noin 24 ja 50 mk/m^3 .

Jos polttohakkeen tuotanto pystytään organisoimaan noin viidellä markalla/ m^3 , hakkuutähdehakkeen tuotantokustannukset välivarastohaketuksessa ovat siten lyhyeltä (40 km) kuljetusmatkalta yhteensä 87 mk/m^3 ja pidemmältä (80 km) matkalta noin 103 mk/m^3 . Tavoitehinta 45 mk/MWh ylittyy vielä 2 - 11 mk/MWh . Tulosta arvioitaessa on otettava huomioon se, että uusimmista välivarastohakkureista ei ole riittävästi tutkimus- ja seurantatietoja kustannustason määrittämiseksi luotettavasti. Tarkastelu kuitenkin osoittaa, että hakkuutähdehakkeen tuotantoon hyvin soveltuva kalustoa tehokkaasti käyttäen on edullisissa olosuhteissa mahdollista saavuttaa tutkimusohjelmassa asetettu 45 mk/MWh hintatavoite.

Uusi hakkuriauto, MOHA-SISU, on rakennettu maastokuorma-auton pohjalta ja omaa siksi myös palstahakkurin ominaisuuksia. Se antaa merkittävää joustoa hakkuutähteen kasaukseen ja välivarastointiin, ja kun haketus ja kaukokuljetus tehdään samalla yksiköllä, saavutetaan huomattavia etuja kuumaan ketjuun nähden. Hakkuriauto on varustettu vaihtolavalaittein. Se antaa mahdollisuuden järjestää kaukokuljetus kussakin toimintaympäristössä parhaalla tavalla. Tuotantoyksikkö ja -menetelmä on ollut käytössä vuodesta ja on toiminut odotusten mukaisesti. Yksikön vuotuinen haketus- ja kaukokuljetuskapasiteetti on kaksivuorotyössä noin 70 000 hakekuutiota. Hakkuriautoon perustuvalla logistiikalla voidaan arvioida olevan parhaimmat mahdollisuudet saavuttaa polttohakkeelle asetettu hintatavoite.

Eräänä hakkuutähteen metsäkuljetusvaihtoehtona on kokeiltu kokopuujuontoa. Tutkimusten mukaan hakkuutähteen metsäkuljetuksen osalta päästään edulliseen tulokseen. Menetelmä ei kokonaisuutena kuitenkaan sovellu hyvin suomalaiseen puunhankintaan ja -olosuhteisiin. Puunhankinnassa on sitä paitsi nähtävissä laajemminkin skandinaavisen tavaralajimenetelmän yleistymisen ja sen kilpailukyvyn parantuminen sekä teknistaloudellisesti että ekologiselta kannalta.



Kuva 1. Hyvän maastossaliikumiskyvyn omaava MOHA-SISU -hakkuriauto tarjoaa uudenlaisen polttohakkeen tuotantologistiikan. Perävaunulla varustettuna se kuljettaa kerralla 70 kuutiota haketta.

2.3 PALSTALLAHAKETUKSEEN PERUSTUVA TUOTANTO

Pisimmälle kehitettynä palstahakkurina pidetään kotimaista valmistusta olevaa Chipset -hakeharvesteria. Sen käyttöön perustuvan tuotantoketjun ensimmäiset tutkimustulokset osoittavat, että uudistushakkuun hakkuutähteistä on mahdollista tuottaa polttohaketta tavoitehintaan. Kaukokuljetus on järjestettävä riittävällä määrällä vaihtokontteja, jotta vältetään ns. kuumen tuotantoketjun muodostuminen ja odotushaitat. Tuotantoketjun tuottavuuden ja kustannusten analyysia jatketaan sekä laskennallisesti että ensimmäisen Suomessa käyttöön otetun palstahakkurin seurantatutkimuksella.

2.4 KÄYTTÖPAIKALLAHAKETUKSEEN PERUSTUVA TUOTANTO

Käyttöpaikallahaketuksen perustuvaa menetelmää on tarkasteltu vain laskennallisesti. Perusteita on osittain saatu ruotsalaisista tutkimuksista. Menetelmää on kokeiltu ja jonkin verran käytetäänkin Ruotsissa. Siellä hakkuutähteiden autokuljetuksen taloudellisuus on suomalaista parempi, sillä autokuljetuksessa sallitaan huomattavasti suurempi kuormatila. Kun hakkuutähteet haketetaan tai murskataan vasta käyttöpaikalla, voidaan käyttää tehokkaita kiinteitä hakkureita tai murskaimia.

Suomalaisilla olosuhdetiedoilla tehdyn tarkastelun mukaan myös käyttöpai-
kallahaketus voisi tulla kyseeseen. Hakkuutähteiden kuljetukseen varustet-
ulla kuljetuskalustolla käyttöpaikallahaketus olisi kilpailukykyinen vaihtoehto
noin 50 km kuljetusmatkaan asti. Eräänä hakkuutähteiden käsittelyn ja kul-
jetuksen tehostamiskeinona selvitettiin tähteiden niputuksen teknisiä mah-
dollisuuksia ja nippuinakäsittelyn kilpailukykyä.

3 PUUPOLTTOAINEEN TUOTANTO ENSIHARVEN- NUKSISTA

3.1 TUOTANTOPOTENTIAALI

Ensiharvennusmetsien energiapuupotentiaaliksi arvioidaan vajaat kolme
miljoonaa kiintokuutiometriä, mikä vastaa noin 0,5 milj. toe. Ensiharven-
nusmetsistä on mäntyvaltaisia noin 80 %. Ensiharvennuksia pitäisi tehdä
vuosittain noin 160 000 hehtaarin alalla. Ainespuukertymä olisi silloin ai-
nakin 6 milj. m³. Ensiharvennuksia on kuitenkin tehty vain kolmasosa hy-
vän metsänhoidon edellyttämästä määrästä.

Energiapuupotentiaali muodostuu teollisuuden ainespuun mitat täyttämät-
tömästä latvapuusta ja pienpuusta sekä oksamassasta. Parhaiten ne saadaan
käyttöön korjaamalla puu karsimattomana tai kokopuuhakkeena ja erotta-
malla teollisuudelle sopiva ainespuu ja energiajäte myöhemmässä vaiheessa.

Ensiharvennusten suurin ongelma niin ainespuun kuin energiapuunkin tal-
teenoton kannalta on pienestä rungonkoosta johtuva korjuutyön kalleus.
Ensiharvennuspuun puuaineen ominaisuuksia valottaneiden tutkimusten
tuloksia puolestaan voidaan hyödyntää ensiharvennuspuun teollisuuskäytön
kannattavuutta koskevissa tarkasteluissa. Kun nuorpuun osuus on suuri,
selluntuotannon kustannukset kohoavat huomattavasti. Siksi pieniläpimit-
taista latvapuuta ei kannata ottaa teollisuuskäyttöön, vaan se voidaan ohjata
energiantuotantoon.

Puupolttoaineen tuottamisen kehitystyön kohteina ovat olleet:

- korjuuvaiheen tehostaminen
- rumpukuorintaan perustuva tuotanto
- ketjukarsintakuorintaan perustuva tuotanto
- kokopuuhakkeen puhdistuksen perustuva tuotanto

3.2 KORJUUVAIHEEN TEHOSTAMINEN

Ensiharvennuspuun integroitujen tuotantomenetelmien kallein vaihe on
korjuu, siis puun kaato ja kuljetus tienvarteen. Sen osuus menetelmien ko-

konaiskustannuksista on lähes puolet. Pienikokoisen puun korjuun tehostamiseksi on kehitetty usean puun keräilykaadon ja joukkokarsinnan mahdollistavia hakkuulaitteita, karsimattoman puutavaran hakkuulaitteita sekä varsinaista karsimattoman puutavaran korjuukonetta.



Kuva 2. Pienikokoisten puiden korjuuseen on kehitetty keräilykaato- ja joukkokäsittelylaitteita. Hakkuulaitteet saadaan rakenteeltaan yksinkertaisiksi ja keveiksi, kun karsinta- ja mittauslaitteet voidaan jättää pois.

Joukkokäsittelyn avulla hakkuun tuottavuutta pystyttiin parantamaan, mutta karsiutuminen oli niin hyvää, ettei energiaa saatu talteen merkittävää määrää. Karsimattoman, kuljetuspituuksiin katkotun puutavaran hakkuulaitteita ja -menetelmiä kehitetään parhaillaan sekä varsinaisten metsätraktorien että maataloustraktorien pohjalta. Laitteet ovat vielä niin prototyyppiasteella, ettei niistä saatujen tulosten perusteella voida vielä päästä luotettaviin arvioihin saavutettavissa olevasta tuottavuudesta ja kustannuksista. Selvää

kuitenkin on se, että laajamittainen energiajakeen talteenotto edellyttää koneellista korjuuta. Korjuukoneet on pystyttävä toteuttamaan mahdollisimman yksinkertaisin rakentein ja varustein, jotta kustannukset jäävät pieniksi. Mm. puutavaran mittauslaitteet eivät ole energia-ainespäukorjuukoneen varusteita, vaan tarvittavat puumäärien mittaukset on tehtävä tuotantoketjun muissa vaiheissa.

3.3 RUMPUKUORINTAAN PERUSTUVA TUOTANTO

Karsimattoman puutavaran karsinta ja kuorinta onnistuu tavanomaisella kuorintarummulla karsitun puutavaran joukossa hyvin. Tarkastelujen mukaan karsimattomasta mutta tavanomaiseen minimiläpimittaan latvotusta osapuusta saadaan 9 % ja kokopuusta 4 % halvempaa selluhaketta kuin karsitusta ainespuusta, jos energiajakeesta saadaan hyvitystä 45 mk/MWh.

Mikäli ensiharvennuspuu halutaan erilleen muusta kuitupuusta, se voidaan tehdä esimerkiksi palapuumenetelmällä. Tutkimuksessa on selvitetty 30, 50 ja 70 cm pitkien karsimattomasta ensiharvennuspuusta tehtyjen palojen tekoa, käsittelyä ja ominaisuuksia. Palapuun valmistus vaatii enemmän aikaa kuin pitkän kuitupuun teko. Kuljetuksen kannalta palapuu on erittäin epäedullinen, sillä kuorman tiiviys jää noin puoleen kuitupuukuorman tiiviydestä. Puupalojen karsinta ja kuorinta sen sijaan onnistuu hyvin muun kuitupuun joukossa tavanomaisella kuorimarummulla, samoin pätkien erottaminen kuitupuuvirrasta. Menetelmällä ei kuitenkaan ole välitöntä soveltamisedellytystä teollisuudessa.

3.4 KETJUKARSINTAKUORINTAAN PERUSTUVA TUOTANTO

Ketjukarsintakuorinta aloitettiin Pohjois-Amerikasta hankitulla kuorma-auton lavettiperävaunun alustalle rakennetulla ketjukarsintakuorinta-haketus-yksiköllä. Karsintamurske sisältää runsaasti pitkiä oksanpaloja ja kokopuuta käsiteltäessä myös latvarunkopuun kappaleita, ja se on vielä erikseen hienonnettava polttokäyttöön sopivaksi. Siitä huolimatta selluhakkeen tuotantokustannukset jäävät 7 - 8 % edullisemmiksi kuin tavanomaisessa ainespuun rumpukuorimokäsittelyssä.

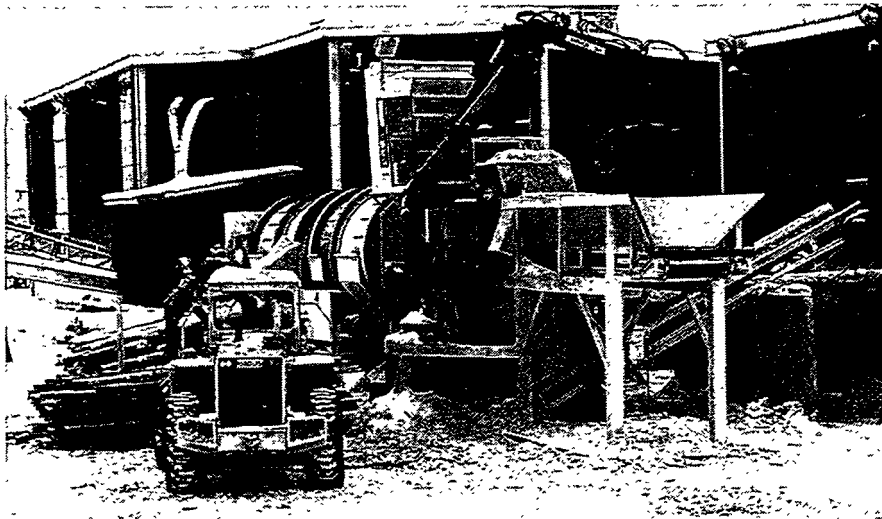
Toinen ketjukarsinnan sovellus oli kotimaassa rakennettu kuorma-autoperustainen ketjukarsijakuorija. Kokoonpanossa ei ole hakkuria, vaan kuoritut rangat joko haketetaan erikseen tai toimitetaan tehdashaketuksen. Sen sijaan kokoonpanoon kuuluu vasaramurskain, jolla karsintatähde hienonnetaan ja puhalletaan välittömästi hakeauton kuormatilaan.



Kuva 3. Ketjukarsintakuorinta -laitteen suomalainen sovellus on rakennettu kuorma-auton alustalle. Karsintatähde murskataan ja puhalletaan välittömästi hakeauton kuormatilaan lämpölaitokselle toimitettavaksi.

Ketjukarsinnan ongelma on puun riittämätön kuorinta, mikä korostuu jäätyneen puun aikana. Kuorinnan parantamiseksi on käynnistetty laaja osaprojekti, jossa laboratorio-oloissa tutkitaan ketjukarsinnan perusteita. Eräänä ratkaisuna kokeillaan kuorinnan parantamista harjaustekniikalla.

Uusin käytännön sovellus on ketjukarsijan ja pienikokoisen kuorimarummun käsittävä karsimatoman kuitupuun käsittelylaitos. Pilotlaitos valmistui viime vuonna ison sellutehtaan yhteyteen. Laitos tuottaa seulottua kuoreton-ta haketta ja polttomursketta. Toimintaperiaatteena on, että ketjukarsinnassa runkojen kuori rikkoutuu ja osittain irtoaakin, mutta lopullinen kuorinta tehdään rummulla säädetysti. Sekä ketjukarsinnan että rumpukuorinnan tuottavuudet ovat yhdistetyssä prosessissa suuremmat kuin ne olisivat pelkissä erillisprosesseissa. Kuitupuun ainespuuhävikki jää tässä yhdistetyssä käsittelyssä pieneksi.



Kuva 4. Ketjukarsinta-rumpukuorinta -laitoksella ensiharvennuspuu käsitellään erillään muusta kuitupuusta. Rumpukuorinnalla varmistetaan vaatimukset täyttävä kuorintatulos.

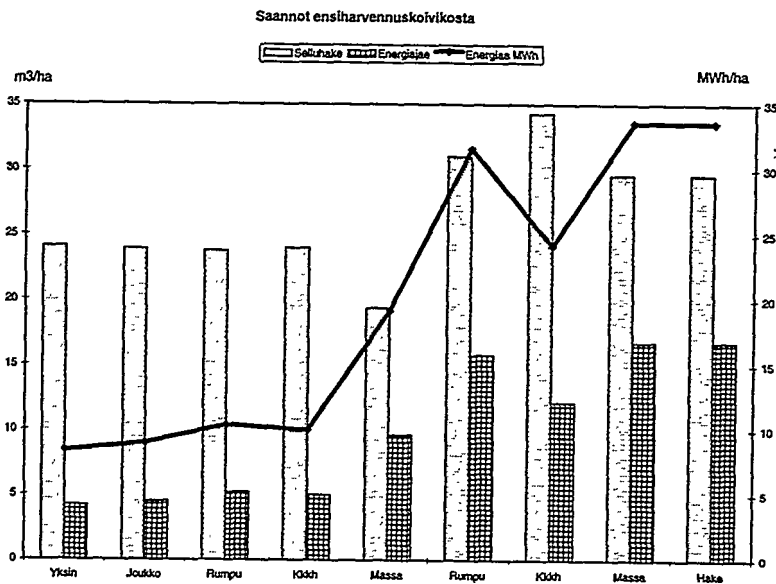
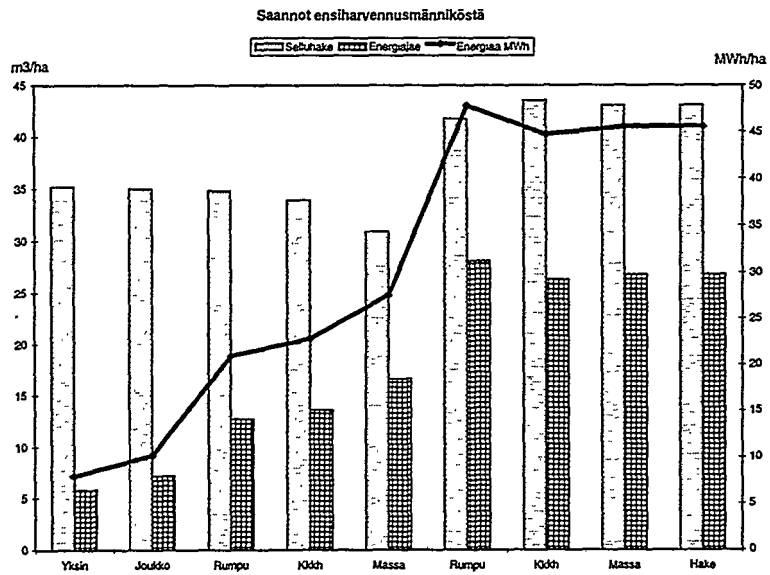
3.5 KOKOPUUHAKKEEN PUHDISTAMISEEN PERUSTUVA TUOTANTO

Kokopuuhake pystytään puhdistamaan kuorettomaksi teollisuushakkeeksi ja energijakeeksi MASSAHAKE -menetelmällä. Kokopuuhake puolestaan voidaan tuottaa palstahakkurilla tai valmistaa vasta käsittelypaikalla. Kankaanpäässä aloittanut pilotlaitos käyttää pääosin karsimatonta osapuuta. Tutkimustulosten mukaan palstallahaketukseen perustuva tuotanto on edullisempaa kuin käyttöpaikallahaketuksen käyttö. Ero johtuu korjuuvaiheen ja kaukokuljetuksen kustannuseroista. Palstallahaketus ei kuitenkaan ole vielä ehtinyt yleistyä.

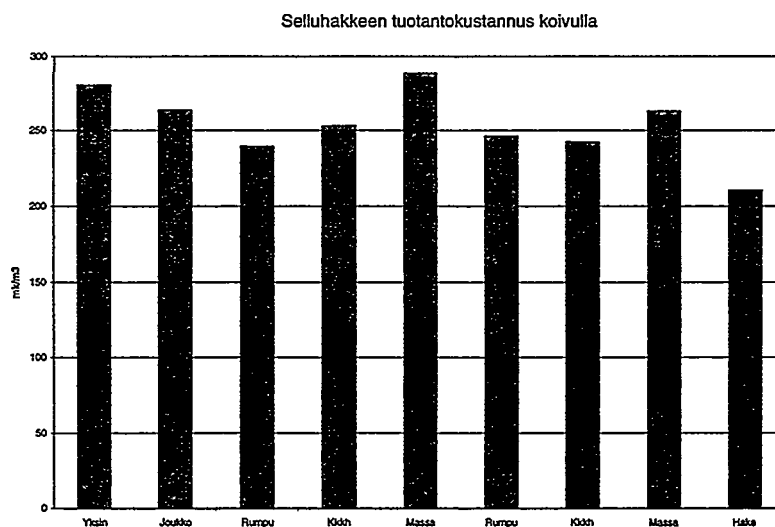
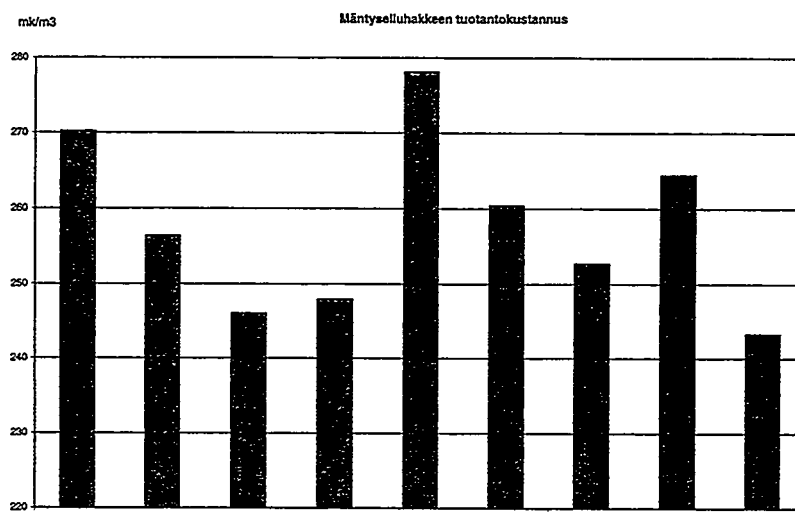
MASSAHAKE -menetelmällä hakkeen kuoripitoisuus voidaan hallita hyvin. Kuorettoman hakkeen tavoitesaantona pidettiin menetelmän kehittävyvaiheessa 60 % käsiteltävästä kokopuuhakkeesta. Tuotantolaitoksella tyypillinen hakesaanto on vaihdellut 65 %:sta jopa 75 %:iin, kun raaka-aineena on ollut latvottu koivuosaapu. Saantoa on pystytty lisäämään laitteiden kehittelyn ja aiempaa tehokkaampien komponenttien avulla. Saannon lisääminen on välttämätöntä, sillä eri tuotantomenetelmien leimikkotason vertailuissa käyttöpaikallahaketukseen perustuva MASSAHAKE -menetelmä ei ollut 65 %:n saannolla juurikaan edullisempi tavanomaiseen ainespuu- ja rumpu-

kuorimokäsittelyyn verrattuna, kun vertailtiin tuotetun selluhakkeen hintaa energiahyvityksen jälkeen.

3.6 INTEGROITUIJEN TUOTANTOMENETELMIEN VERTAILU ENSIHARVENNUSPUULLA



Kuva 5a. Saannot ensiharvennusmänniköstä ja -koivikosta.



Kuva 5b. Mänty- ja selluhakkeiden tuotantokustannukset.

Kuvassa 5 esitetään ensiharvennuksen mänty- ja koivuleimikoille tehdyn tarkastelun tulokset. Karsittu tavaralaji ja karsimaton osapuoli oli latvottu 7 cm:n läpimittaan. Kantohinta laskettiin kaikissa menetelmissä vain kuorelliselle ainespuulle. Männyn hehtaarikohtainen kertymä oli karsimattomana osapuuna 16 ja kokopuuna 70 % suurempi kuin karsittuna tavaralajina. Koivulla osapuuna saatiin vain 2 % enemmän, mutta kokopuuna lisäys oli 64 %. Kokopuumenetelmillä energiajacetta saataisiin männiköistä jopa 2,5 -kertaisesti ja koivikoista 2 -kertaisesti tavaralajimenetelmään verrattuna. Selluhakkeen saanto lisääntyisi noin viidenneksen. Lähinnä latvapuusta

saatava lisäselluhake on ominaisuuksiltaan erilaista kuin rungon paksumasta osasta saatava hake, ja soveltuvuutta ja käyttöarvoa massan- ja paperinvalmistuksessa on vielä tutkittava.

4 PUUPOLTTOAINEEN TUOTANTO TAIMIKONHARVENNUKSISTA

4.1 TUOTANTOPOTENTIAALI

Taimikonhoidon ohjeita on hiljattain tarkistettu siten, että harvennus tulisi tehdä aiempaa myöhemmin, 4 - 7 metrin pituusvaiheessa. Kaadettavat puut ovat silloin jo niin kookkaita, että hehtaarikohtainen 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. m³ (lähes 0,5 milj. t_{ce}) vuodessa. Taimikonhoitoa ja kunnostushakkuuta sekä puun keräämistä näistä kohteista energiakäyttöön on tuettu metsänparannusvaroista. Metsänhoitotöiden "pakollisuus" ja tuki antavat perusteita tarkastella kaadettavan puuston energiakäyttöön korjuun kannattavuutta.

4.2 TUOTANTOMENETELMÄT

Raivauspuun talteenottoon voidaan soveltaa hakeharvesteria, koneellista taimikonperkausta ja miestyönä raivausta yhdistettynä palstahaketukseen tai puuston metsäkuljetukseen. Kokeilut ovat vasta alkuvaiheessa, eikä siksi voida esittää selviä tuloksia. Myös laitteet ja työmenetelmät edellyttävät kehittämistä. Voidaan kuitenkin arvioida, että raivauspuuston talteenotto tulee kannattavaksi sopivissa toimintaolosuhteissa, esimerkiksi metsänomistajien lämpöyrittämiseen kytkettynä.

5 POLTTOPUUNTUOTANTO

Metsäntutkimuslaitoksen julkistaman selvityksen mukaan polttopuuta arvioidaan käytettävän noin 5,6 milj. m³ vuodessa. Bioenergian tutkimusohjelmassa polttopuun tuotantoa kehitettiin ja siihen liittyviä seikkoja tutkittiin viidessä projektissa. Kehityskohteita ovat olleet pilkekoneet ja pilkkeiden pakkaus- ja jakelujärjestelmä. Myös polttopuun mittausmenetelmiä ja muuntolukuja on täsmennetty tavoitteena poistaa mittausongelmista ja epäselvyyksistä johtuvat polttopuukaupan esteet.



Kuva 6. Polttopuuntuotantoon on kehitetty sekä isännänlinjan että urakoitsijakäyttöön sopivia laitteita. Kuvan laitteella voidaan valmistaa sekä kuitupuuta että pilkkeitä.

6 TUTKIMUSTOIMINNAN SUUNTAAMINEN

Viime vuonna tutkimusohjelman oltua lähes puolivälissä arvioitiin tuotantomenetelmien kehittämismahdollisuuksia kehitystoiminnan suuntaamiseksi. Välittömimmin asetettuihin tavoitteisiin päästään uudistushakkuiden hakkuutähteiden talteenotossa. Käyttöön otettujen uusien tekniikoiden (hakeharvesteriin perustuva palstallahaketus ja hakkuriauto) soveltuvuus ja niillä saavutettava kustannustaso tulisi selvittää, ja jos tulokset ovat myönteiset, vaikuttaa niiden saamiseksi nopeasti laajaan käyttöön. Hakkuutähte-

den hyödyntämiseen muutoin liittyvää tietoa on runsaasti käytettävissä sekä omien että Ruotsissa tehtyjen tutkimusten ansiosta.

Eräänä lähes uutena selvityskohteena on kuitenkin hakkuutähteen hienontamistekniikat. Rumpuhakkureilla saadaan hyvälaatuista haketta, jonka käsittelyssä lämpölaitosten kuljettimilla ja syöttölaitteilla ei ole ongelmia. Hakkuutähteen murskaus vasaramurskaimilla olisi mitä ilmeisimmin huomattavasti tuottavampaa ja "tunnottomampaa" epäpuhtauksille (kiville) kuin haketus. Murske on kuitenkin palakooltaan ja muodoltaan toisenlaista kuin hake, eivätkä lämpölaitosten laitteistot sovellu ongelmitta murskeen käsittelyyn. Tähän liittyen myös käyttöpaikallahaketuksen kilpailukyky tulisi selvittää.

Harvennuspuun osalta tärkein kehittämiskohde on korjuuvaihe. Korjuun kustannuksethan ovat kokopuulla lähes puolet koko tuotantoketjun kustannuksista. Karsimattoman puun korjuulaitteet ovat vielä prototyyppiasteella, ja siksi kehityspotentiaali on suuri. Puupolttoaineen tuottaminen ensiharvennuksesta on kannattavaa vain yhdessä teollisuuden ainespuun kanssa. Silloin ainespuulle saatava hinta tekee hankinnan kannattavaksi. Harvennuspuun hankinnan ja jalostuksen kehittämiseksi onkin käynnistymässä oma kehitysohjelma. Sen myötä harvennuspuuhun perustuvan puupolttoaineen tuotannon kehittäminen Bioenergia -tutkimusohjelmassa vähentynee jatkossa.

Metsänhoidollisesti välttämättömät taimikonhoidot ja nuorten metsien kunostushakkuut voivat tarjota aikanaan tuntuva lisän puupolttoaineen tuotantoon. Niiden hyödyntämiseen liittyvä tutkimus- ja kehitystyö on aloitettu sekä suurmetsätalouden että metsänomistajan omatoimisuuden lähtökohdista.

Metsänomistajien oman työpanoksen ja maatalouden konekaluston hyödyntämisellä on suuri merkitys pienten lämmityskohteiden puupolttoainehuollossa. Kokemusten mukaan lämpöyrittämiseen perustuva polttihakkeen käyttö on hyvin kilpailukykyistä kevyen polttoöljyn käyttöön nähden. Metsänomistajien työpanos voi myös hyvin joustavasti liittyä osaksi suurkäytön tuotantoketjua. Näitä toimintamuotoja tulisi kehittää ja käyttöä laajentaa.

Puupolttoaineen tuottamiseksi on runsaasti tietoa ja on kehitetty sellaisia tuotantovälineitä ja -menetelmiä, että asetettu puupolttoaineen kilpailukyky on edullisissa olosuhteissa saavutettavissa. Puupolttoaineen laajamittaisen tuotannon - ja samalla myös tuotantotekniikan edelleenkehittämisen - edellytykset ovat nyt seuraavat:

- teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroidun tuotannon osalta se, että puupolttoaine osoittautuu metsäteollisuudelle kannattavaksi energianlähteeksi ja teollisuus lisää sen käyttöä merkittävästi
- lämpövoimalaitoksissa ryhdytään käyttämään puupolttoainetta yhtenä peruspolttoaineena, jonka määrän jatkuva lisääminen asetetaan ensisijaiseksi tavoitteeksi
- pienen kokoluokan kohteet muutetaan öljyltä puulle ja niiden hoito siirretään soveltuvien osin lämpöyrittäjille.

Vaikka puupolttoaineen tuotanto on pääosin konetyötä, sillä on silti huomattavaa aluetaloudellista merkitystä. Esimerkiksi Mikkelinseudulla kokonaisrahavirrasta kolmanneksen arvioitiin jäävän aluetalouteen. Lisäksi pitkällä aikavälillä saadaan hyötyjä metsäsektorille hyvästä metsänhoidosta koituvien hyötyjen kautta. Puupolttoaineen käyttöön siirtymisen mahdollisia alkuvaiheen kustannuksia tulee arvioida myös aluetaloudellisesta näkökulmasta.

PUUPOLITTOAINEEN PIENTUOTANTO JA -KÄYTTÖ - KATSAUS TUTKIMUS- PROJEKTEIHIN

Seppo Tuomi
Työtehoseura
PL 13
05201 Rajamäki
Puh. (90) 290 41 200
Faksi (90) 290 41 285

Abstract: Small-scale production and utilization of wood fuels

The objective of the research on small-scale production of wood fuels was to promote the the forest owners' own utilization and procurement of firewood. The profitability of firewood was improved by developing new farm-tractor mountable equipment and methods for forest owners and small-entrepreneurs for harvesting of firs-thinning wood and other small-diameter wood. Totally new solution for mechanised felling of small trees and chopwood production were developed to serial production level. Recyclable processing and delivery units were developed for delivery of chopwood. A calculation model for analysing the costs of small-scale production of firewood became ready. A guide on the development of heating-entrepreneur activities, serving the entrepreneurs, was published.

The objective of the firewood utilization research was to reduce the technical barriers of the utilization of firewood in small-house and real-estate scales. The main aim was to reduce the flue-gas emissions. The emissions of the fireplaces were reduced by developing the construction of fireplaces, catalytic combustion and heating methods. An automatic stoker-burner was developed for real-estate scale and a boiler series was designed for biofuels.

1 TAUSTA

Pientalojen käyttämällä polttopuulla on merkittävä osuus Suomen energiahuollossa, sillä lämmityskaudella 1992/93 pientaloissa käytettiin polttopuuta kaikkiaan 5,6 milj. m³. Polttopuusta kaksi kolmasosaa hankittiin omasta metsästä. Ostetun puun osuus oli vajaa viidennes.

Polttopuun pienkäyttöä on mahdollista huomattavasti lisätä. Tehostamalla pientalojen noin miljoonan tulisijan lämmitystä, puun käyttöä voidaan lisätä

ainakin 2 milj. m³. Myös kaukolämpöverkon ulkopuolella olevissa julkisissa kiinteistöissä puun käyttöpotentiaali on tuntuva.

Pientalojen lämmityksessä polttopuu on vaihtoehto kevyelle polttoöljylle ja sähkölle, suuremmissa kiinteistöissä kevyelle polttoöljylle. Polttopuun tuotantokustannus saa siten olla huomattavasti suurempi kuin Bioenergian tutkimusohjelman suurlaitoksille asetettu tavoite, 45 mk/MWh, ollen silti kilpailukykyinen.

Käytön lisäys edellyttää polttopuun tuotantomenetelmien ja jakelujärjestelmien tehostamista ja lämmityslaitteiden kehittämistä. Näihin haasteisiin puupolttoaineen pientuotannon ja käytön kehittämistyössä on pyritty vastaamaan.

2 BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMASSA SAAVUTETUT TULOKSET VUOSINA 1993-1995

2.1 PUUPOLTTOAINEEN PIENTUOTANTO

2.1.1 Pienpuun korjuu maataloustraktorilla

Tavoitteena oli aktivoida metsänomistajien polttopuun omaa käyttöä ja myyntitoimituksia tilan ulkopuolisiin käyttökohteisiin. Polttopuun kilpailukykyä parannettiin kehittämällä metsänomistajille ja pienyrittäjille uusia maataloustraktorikäyttöisiä laitteita ja työmenetelmiä ensiharvennus- ja muun pienpuun korjuuseen.

Kenttätutkimuksin arvioitiin kuutta maataloustraktorin hydraulikuormaimeen asennettavaa hakkuulaitetta, joiden käyttöalue rajoittui ensiharvennuskokoiseen puustoon. Hakkuulaitteilla voidaan kaataa ja kasata pienikokoisia puita tai valmistaa myös karsittua kuitupuuta. Prototyyppilaitteet toimivat kenttäkokeissa teknisesti tyydyttävästi.

Kaadossa ja kasauksessa edettiin yksinpuin käsittelystä joukkokäsittelykouriin. Joukkokäsittely paransi kaadon ja kasauksen tuottavuutta tuntuvasti. Tuottavuustulokset olivat laitteiden prototyyppiluonteesta ja kuljettajien vähäisestä käyttökokemuksesta johtuen pienempiä kuin mihin käytännön työssä päästään (taulukko 1).

Taulukko 1. Maataloustraktorin pienpuun hakkuulaitteilla saavutettuja alustavia tehotuntituottavuuksia pienpuustojen hakkuussa.

	Tuottavuus m ³ /tehotunti	Puun koko dm ³ /puu	Kertymä runkoa/ha
Kaato-katkontalaitteet			
Naarva	2,2 - 2,3	66 - 100*	1050 - 1330
Haka 100	2,3	33*	1400
Keräävät kaato-katkontalaitteet			
Haka 110	3,5	96*	910
AM 230	2,4 - 3,3	24 - 41*	2630 - 5700
Kaato-karsinta-katkontalaitteet			
AM 200	2,6 - 2,7	47	550 - 1000
Haka S 2	1,8 - 2,2	50 - 58	920 - 990

* sisältää myös oksat

Aikaisemmin ei maataloustraktoriin ollut tarjolla halpoja hakkuulaitteita. Suuri edistysaskel oli siten raskaan moottorisahahakkuun muuttuminen miellyttäväksi ohjaamotyöskentelyksi. Nelivetotraktorin ja kuormaimen omistava metsänomistaja voi koneellistaa pienpuustojen hakkuun melko pienellä lisäinvestoinnilla. Kannattavuus edellyttää silti riittävää vuotuista työmäärää (taulukko 2).

Taulukko 2. Hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannukset. Laskentavaihtoehdossa A kaikki kustannukset; B:ssä ei maataloustraktorin korko-, vakuutus- ja säilytyskuluja (kyseessä lisätyö traktorille).

	Laskentavaihtoehto A mk/m ³	Laskentavaihtoehto B mk/m ³
Hakkuu		
Naarva	72 - 75	64 - 67
Haka 100	74	66
Haka 110	50	45
AM 230	55 - 75	49 - 67
AM 200	71 - 74	65 - 67
Haka S-2	83 - 102	75 - 92
Metsäkuljetus		
Työmaa 1	45	41
Työmaa 2	25	22

2.1.2 Haketuotanto

Rankojen ja kokopuiden hakettamista metsässä arvioitiin kenttäkokein maataloustraktorin pienellä säiliöllä varustetulla hakkurilla. Rasipuiden ja -rankojen haketuksen tuottavuus oli menetelmässä 1,4 - 2,5 m³/tehotunti, kun säiliö tyhjennettiin leimikolla olevaan perävaunuun. Kustannukset olivat 40 mk/i-m³ eli noin 50,00 mk/MWh. Säiliöhakkurista saatujen kokemusten perusteella käynnistettiin hanke menetelmän edelleen kehittämiseksi.

Maataloustraktorin pienhakkurien vertailututkimuksessa tarkasteltiin mm. hakkeen laadun riippuvuutta raaka-aineesta. Kuuden hakkurin vertailututkimus osoitti, että pienhakkureilla on mahdollista saada myös karsimattomista puista hyvälaatuisia haketta. Edellytyksenä on, että hakkurin säädöt ovat kohdallaan ja terät hyvässä kunnossa. Hakkurin kunnossapito on kuitenkin vaativa tehtävä. Käytännössä karsimattomista puista tehdyn hakkeen joukossa esiintyy pitkiä jakeita ja oksien pätkiä. Nämä haittaavat lämmityslaitteiden toimintaa pienkäytössä.

2.1.3 Pilketuotanto

Kenttäkokein kehitettiin ensimmäisiä syöttölaitteella varustettuja pilkekoneita. Ne soveltuivat rankojen ja sahapintojen pilkkomiseen. Koekoneiden tuottavuus rankojen pilkonnassa varastolla oli 5,8 - 7,7 m³/tunti. Tämä oli noin kaksinkertainen perinteisiin pilkekoneisiin verrattuna. Pilkonnan kustannukset varastolla olivat 27 - 36 mk/m³ (14 - 18 mk/MWh). Kokonaiskustannukset olivat 152 - 161 mk/m³ (76 - 81 mk/MWh).

Syöttölaitteellisilla pilkontakoneilla on mahdollista päästä huomattavasti alempiin kustannuksiin, kun vuotuinen tuotantomäärä kasvaa tasolle 400 - 500 m³. Tämä vastaa pilkekoneen noin 75 tunnin käyttöä vuodessa.

Rankojen pilkonta koneella metsässä oli myös uusi pilkkeentuotantomenetelmä, josta tehtiin kenttäkokeita. Metsässä ajouralla liikkuva maataloustraktori-pilkekone-perävaunu -yhdistelmä soveltui myös ensiharvennusleimikoihin helpossa maastossa. Ajouran varteen kasattujen rankojen pilkonnan tuottavuus oli ensiharvennusoloissa syöttölaitteellisella pilkekoneella noin kaksinkertainen syöttölaitteettomaan verrattuna. Molempien koneiden pilkonnan tuottavuus varastolla oli kuitenkin kaksinkertainen metsässä pilkontaan verrattuna.

Metsässä tapahtuvaa pilkkeentekoa kehitettiin edelleen yrityshankkeessa, jossa rakennettiin maataloustraktoriin sopiva pilkeprosessori. Pilkeprosessorin käytön kannattavuutta parantaa mahdollisuus tehdä järeimmät rungot kuitupuuksi. Hankkeessa on edetty toisen koekoneen rakennusvaiheeseen.

2.1.4 Pilkkeen jakelu

Pilkkeen jakelua koskeneen esitutkimuksen pohjalta käynnistettiin demonstrointiprojekti, jossa kehitettiin kierrätettävät pilkkeen käsittely- ja jakeluyksiköt sekä automaattinen puhelinpalvelukeskus polttopuun myyntiä varten. Polttopuun koko maan kattavan jakelutoiminnan organisoinilla saatiin parannetuksi polttopuun saatavuutta. Tämä mahdollistaa polttopuun käytön lisäämisen myös taajamien pientaloissa. Vuonna 1995 käynnistetty pilkkeen mitta- ja laatuvaatimuksia käsittelevä hanke edistää myös elpyvää polttopuukauppaa.

2.1.5 Lämpöhuollon organisointi

Ohjelmassa kehitettiin lämpöyrittäjyyteen perustuvaa lämmöntuotantoa teholuokassa 50 - 500 kW. Toimintamallissa lämpöyrittäjä myy lähinnä omasta metsästä hankitulla polttopuulla tuottamaa lämpöä. Yrittäjä vastaa siten koko tuotantoketjun toimivuudesta.

Lämmitettävien kohteiden ollessa pieniä, kuten kouluja, lämpöyrittäjyys voidaan toteuttaa hyvin muutaman metsänomistajan yrittäjärenkaalla. Suuremmissa kohteissa osuuskuntamuotoinen toimintamalli näyttäisi toimivalta ratkaisulta.

Lämpöyrittäjätutkimuksen tuloksista laadittiin ohjelmaan liittyen opas, mikä nopeutti tulosten hyödyntämistä. Opas palvelee ensisijaisesti lämpöyrittäjiksi aikovia, mutta siitä on hyötyä myös kuntien energihuollosta vastaaville, oppilaitoksille, neuvontajärjestöille ja lämpöyrittäjyyden jo aloittaneille. Kuntien ja muiden julkisten yhteisöjen omistamat kiinteistöt tarjoavat puuhun perustuvalla lämpöyrittäjyydelle mittavan potentiaalin.

2.1.6 Puupolttoaineen pientuotannon kustannusten laskenta

Markkinoilla olevista polttopuun tuotannon koneista ja laitteista laadittiin päivitettävä tietorekisteriksi. Rekisterin tietoja voidaan hyödyntää polttopuun pientuotannon kustannuslaskennassa ja neuvonnassa.

Ohjelmassa laadittiin malli hakkeen ja pilkkeen pientuotannon kustannusten laskemiseksi. Tutkimuskäyttöön suunniteltua laskentamallia kehitetään edelleen metsänhoitoyhdistysten, polttopuun tuottajien ja lämpöyrittäjien työkaluksi.

2.2 PUUPOLTTOAINEEN PIENKÄYTTÖ

2.2.1 Tulisijat

Puuta käyttävien tulisijajärjestelmien kehittämisen tavoitteena oli parantaa tulisijojen poltto- ja lämpötekniikkaa niin, että tulisijojen haitalliset savukaasupäästöt oleellisesti pienenevät. Hanke toteutettiin kehittämällä tulisijarakenteita, palamista edistäviä katalysaattoreita ja lämmitysmenetelmiä. Tulisijaan asennettavalla hapettavalla katalysaattorilla saatiin CO-päästöjä vähennetyksi 60 - 90 %. Myös hiilivetypäästöt pienenevät oleellisesti. Kehittämistyössä saatiin uutta tietoa katalysaattorin rakennevaatimuksista ja sen sijoittamisesta tulisijaan. Katalysaattoreiden käyttökokeiden perusteella menetelmä on valmis käytäntöön sovellettavaksi.

Katalysaattorin asentaminen on helpointa uusiin tulisijoihin. Se voidaan asentaa myös olemassa olevaan tulisijaan. Parhaiten katalysaattori sopii liesiin, kamiinoin ja saunankiukaisiin, joiden virtausvastukset ovat yleensä pienet. Varaaviin tulisijoihin katalysaattori sopii huonommin ja sen puhdistustehosta joudutaan suurten virtausvastusten vuoksi tinkimään.

Tulisijojen kehittämisprojektista saatiin myös uutta tietoa lämmitystapojen ja polttoaineen laadun vaikutuksesta savukaasupäästöihin. Oikeilla lämmitystavoilla ja kuivalla polttoaineella voitiin savukaasupäästöjä vähentää tuntuvasti. Lämmitystapakokeiden tulokset ovat hyödynnettävissä muun muassa omakotitalojen noin miljoonassa puuta polttavassa tulisijassa. Tulosten saattaminen käyttöön edellyttää tehokasta tiedottamista.

2.2.2 Jatkuvatoimiset polttolaitteet

Kiinteistölämmitykseen soveltuvia lämmitysjärjestelmiä kehitettiin tehoalueelle 50 - 1000 kW. Tavoitteena oli kehittää hakkeelle ja palaturpeelle soveltuva lämmitysjärjestelmä, jonka olennaisia piirteitä ovat korkea hyötysuhde (yli 85 %), alhaiset päästöt (CO alle 0,1 %), hyvä käytettävyys ja kestävyys.

Ohjelmassa suunniteltiin ja rakennettiin 200 kW:n stokeripoltin, joka täytti laboratorioskokeissa asetetut suoritustavoitteet. Stokeripoltimesta kehitettiin palamisilman esilämmityksellä varustettu 500 kW:n versio, joka otettiin demonstrointivaiheen kautta kaupalliseen lämmöntuotantoon vuonna 1995.

Polttimesta on kehitteillä uusi versio, joka on suunniteltu määrälle polttoaineelle. Uuden version koepoltin rakennetaan tänä vuonna.

Stokeripoltin kehittämissankkeen rinnalla suunniteltiin yrityshankkeena stokeripoltinelle soveltuva kattilasarja tehoalueelle 50 - 1000 kW. Tavoit-

teena olivat kattilan toimintavarmuus, helppokäyttöisyys, helppo puhdistettavuus, mahdollisuus automaattiseen tuhkanpoistoon sekä korkea hyötysuhde ja alhaiset päästöt. Laboratorikokeissa 200 kW:n koekattila täytti asetetut suoritustavoitteet. Kattilasta rakennettiin 500 kW:n versio, joka toimi demonstroitikohteessa odotetusti. Kattilasarjan tuotanto on aloitettu ja sitä on myyty myös ulkomaille.

Stokeripolttimen ja bioenergialle soveltuvan kattilasarjan kehittämällä raivattiin puun käytön teknologisia esteitä kiinteistölämmityksessä. Tämä loi edellytyksiä muun muassa lämpöyrittäjyyteen perustuvalle lämmöntuotannolle.

3 YHTEENVETO

Polttopuun pientuotannon tutkimuksen tavoitteena oli edistää metsänomistajien polttopuun omaa käyttöä ja myyntituotantoa. Polttopuun kilpailukykyä parannettiin kehittämällä metsänomistajille ja pienyrittäjille uusia maataloustraktorikäyttöisiä laitteita ja työmenetelmiä ensiharvennus- ja muun pienpuun korjuuseen. Sarjavalmistusasteelle kypsyi täysin uusia koneellisen pienpuiden hakkuun ja pilketuotannon ratkaisuja. Pilkkeen jakeluun kehitettiin kierrätettävät käsittely- ja jakeluyksiköt. Polttopuun pientuotannon kustannusten analysointiin valmistui laskentamalli. Lämpöyrittäjätutkimuksen tuloksista laadittiin ohjelmaan liittyen yrittäjiä palveleva opaskirjanen.

Käytön tutkimuksen tavoitteena oli poistaa teknisiä esteitä polttopuun käytöltä pientalo- ja kiinteistökokoluokassa. Keskeisenä tavoitteena oli savukaasupäästöjen vähentäminen. Tulisijojen päästöjä vähennettiin kehittämällä tulisijojen rakenteita, katalyyttistä polttoa ja lämmitysmenetelmiä. Kiinteistökokoluokkaan kehitettiin automaattinen stokeripoltin ja biopolttoaineille suunniteltu kattilasarja.

ENERGIAPUUVARAT

BIOMASSATASE JA ENERGIAPUUN KERTYMÄ ENSIHARVENNUKSISSA -105

Pentti Hakkila
Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
Puh. (90) 85705 310
Faksi (90) 85705 361

Abstract: Raw material balance and yield of biomass from early thinnings

Utilization of small-sized wood from early thinnings is a serious problem in the Finnish forestry. The cost of harvesting is high, loss of potential pulpwood in logging and debarking is excessive, and the technical properties of wood are not well known.

Project 105 of the Finnish Bioenergy Research Program is aimed to promote the utilization of biomass from early thinnings for pulp and energy. The variation of technical properties of wood (percentage of bark, basic density of wood and bark, amount of acetone extractives and ash, fiber length, moisture content, and fuel value) within the tree, between trees and between sites is studied. Distribution of the above-ground biomass of trees into potential pulpwood and energy wood is determined, and efficient delimbing-debarking methods for segregation of the fiber component from the fuel component are developed.

The methods studied include single-log debarking with ring debarkers, and multiple-treatment of logs or tree-sections with drum debarkers and flail delimeter-debarkers. A new method, combination of flail debarking-delimbing and dry-drum debarking, is introduced. Biomass balance, showing the recovery and loss of fiber and fuel in the process, is calculated for the options studied.

The new method has great development potential for segregation of the fiber and energy components in small-diameter tree-sections. It is shown that high-quality chips can be produced from tree-sections, and it is suggested that special pulps are produced from the raw material under consideration.

1 TAUSTA

Ensiharvennuspuun korjuu tulee kalliiksi, raaka-aineen hävikki on sekä korjuussa että tehdaskäsittelyssä poikkeuksellisen suuri, ja kaiken lisäksi tuotteen puuteknisiä ominaisuuksia pidetään massa- ja paperiteollisuuden kannalta epäedullisina. Ongelmapyyhti lienee osittain väistämätön, mutta osaksi se juontaa juurensa toisentyyppiselle puutavaralle tarkoitettuun korjuu- ja prosessiteknikasta, epäedullisesta tuotevalikoimasta ja energiakäyttömahdollisuuden puuttumisesta. Raaka-aine, sen käsittely metsässä ja tehtaalla sekä lopputuote eivät sovi yhteen parhaalla mahdollisella tavalla. Vaikeuksien takaa hämmöittää myös puutavaran ominaisuuksien puutteellinen tuntemus.

2 TAVOITE

Hankkeen tavoitteena on vetää puuteknisin tutkimuksin raja ensiharvennusleimikoista saatavan pienpuun energia- ja kuitukomponenttien välille, kehittää korjuumenetelmiä biomassan talteenoton tehostamiseksi metsämaan ravinnetasetta kuitenkin vaarantamatta, sekä kehittää prosessiteknikkaa energia- ja kuitujakeitten erottamiseksi toisistaan ja niiden laadun ja käyttöarvon parantamiseksi. Yksinomaan määräsyistä ensisijainen tutkimuskohde on ensiharvennusmänty, toissijaisia tutkimuskohteita ovat kuusi ja koivu.

3 TOTEUTUS

Hanke on toteutettu vuosina 1993-1995 Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksessa. Keskeiset yhteistyökumppanit ovat Metsäteho, Joensuun yliopisto, VTT Energia, Enso-Gutzeit Oy ja Pertti Szepaniak Oy.

4 TEHTÄVÄT

Vuosina 1993 ja 1994 hankkeessa nro 105 tutkittiin sekä ensiharvennuspuun integroitua käyttöä että kuusen päätehakkualojen hakkuutähteen polttoainekäyttöä. Vuonna 1995 hakkuutähdetutkimukset eriytettiin uudeksi hankkeeksi nro 114, ja käsillä oleva hanke keskittyi ensiharvennuspuun hyödyntämiseen seuraavin tehtävin:

- Ensiharvennuspuun raaka-aineominaisuuksien kartoittaminen
- Ensiharvennuspuun jako potentiaaliseen kuitupuuhun ja energiapuuhun

- Energiapuun erottaminen kuitupuusta karsitun ja/tai karsimattoman puun reikäroottorikuorintaa, ketjukarsinta-kuorintaa, rumpukuorintaa sekä ketjukarsinta-kuorinnan ja rumpukuorinnan yhdistelmää käyttäen.

5 RAHOITUS 1995

Rahoittaja	Mk
Bioenergian tutkimusohjelma	250 000
Metsätutkimuslaitos	265 000
<u>Yhteensä</u>	<u>515 000</u>

6 TULOKSET

6.1 ENSIHARVENNUSMÄNNYN OMINAISUUDET

Taulukossa 1 on yhteenveto Etelä-Suomen ensiharvennusmännyn runko-puun teknisistä ominaisuuksista keskimäärin koko rungossa sekä 8 cm:n läpimitan täyttävässä rungonosassa. Lisäksi nähdään samat ominaisuudet 6 - 8 cm:n läpimittaisessa, 4 - 6 cm:n läpimittaisessa sekä 1 - 4 cm:n läpimittaisessa latvapuussa.

Kun vähimmäislatvaläpimittaa alennetaan, saadaan lisäraaka-aineena kuitupuuta, jossa on keskiarvoon verrattuna leveämmät lustot, ohuempi kuori, suurempi kuoripitoisuus, alhaisempi kuiva-tuoretiheys, korkeampi kosteus ja lyhyempi kuitu. Energiakäytössä tälle latvapuulle on ominaista alhaisempi lämpöarvo kuutiometriä kohti laskettuna ja runsaampi tuhkapitoisuus.

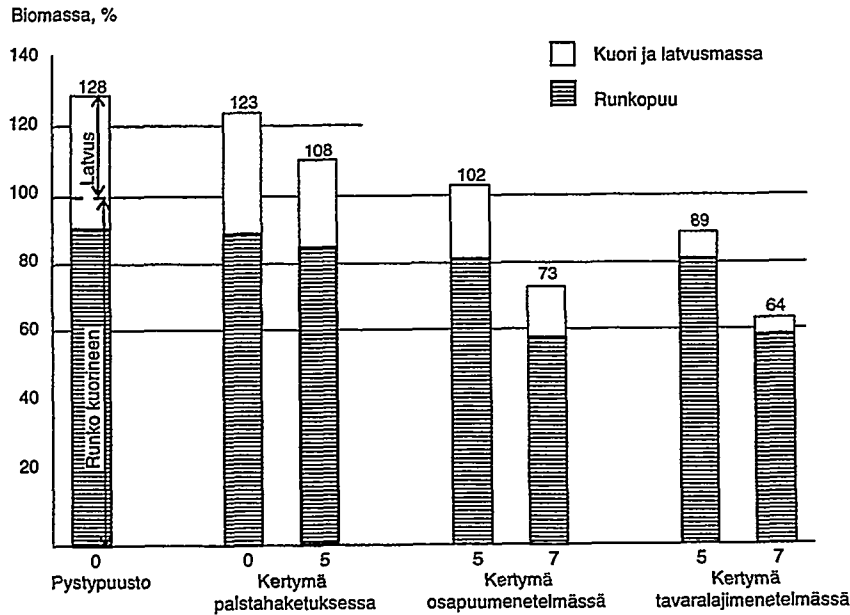
Yleisen käsityksen mukaan ensiharvennusmännyn puutekniset ominaisuudet eivät ole normaalin mäntykuitupuun veroiset, ja näitten ominaisuuksien tiedetään muuttuvan rungon latvaa kohti huonompaan suuntaan. Erot eivät kuitenkaan ole niin suuria, etteikö ensiharvennusmännyn latvaosakin aina 5 cm:iin saakka olisi kuidutukseen kelvollista. Ominaisuuksien merkitys riippuu luonnollisesti siitä, minkälaiseen paperiin ja minkälaisessa seossuhteessa näitä kuituja lopulta käytetään. Tärkeätä on, että ominaisuudet tunnetaan, että puuta käsitellään sille soveltuvalla tekniikalla ja että käyttökohde valitaan raaka-aineen ominaisuuksien mukaisesti.

Taulukko 1. Etelä-suomalaisen ensiharvennusmännyn runkopuun keskimääräiset ominaisuudet pystypuustossa kuitu- ja energiapuuna vähimmäisläpimitasta riippuen.

Ominaisuus	Koko runko	Runko yli 8 cm	Latvan hukkapuu		
			6 - 8 cm	4 - 6 cm	1 - 4 cm
Kuoren määrä:					
- Paksuus, mm	4,5	5,0	2,4	2,3	1,8
- Tilavuusosuus, %	15,4	15,6	13,5	17,4	25,5
- Kuivamassaosuus, %	10,1	9,8	10,5	13,9	21,4
Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³ :					
- Kuoreton puu	395	399	377	371	365
- Kuorellinen puu	376	379	361	352	340
- Kuori	267	265	275	274	278
Kuorellisen puun vesi:					
- Kosteus, %	59	58	61	62	63
- Kosteussuhde, %	141	138	158	164	170
Koostumus, kg/m ³ :					
- Uutteeton puuaines	327	331	312	293	258
- Puuaineen asetoniuute	11	11	11	10	9
- Kuori	38	37	38	49	73
- Vesi	530	523	570	577	578
- Yhteensä = tuoretiheys	906	902	931	929	918
MWh/m ³ , tuoreena:					
- Kuorellinen puu	1,64	1,65	1,57	1,53	1,48
- Kuoreton puu	1,71	1,73	1,64	1,61	1,58
- Kuori	1,18	1,17	1,21	1,21	1,23
MWh/m ³ , kosteus 40 %:					
- Kuorellinen puu	1,85	1,86	1,78	1,73	1,67
- Kuoreton puu	1,94	1,96	1,85	1,82	1,79
- Kuori	1,33	1,32	1,37	1,36	1,38
Luston paksuus, mm					
	2,7	2,6	3,0	3,2	3,1
Kuidun pituus, mm					
	2,3	2,4	2,4	2,0	1,7
Asetoniutepitoisuus, %					
	3,3	3,3	3,3		
Kuorell. puun tuhka, kg/m ³					
	2,3	2,3	2,3	2,5	2,9

6.2 KORJUUMENETELMÄN VAIKUTUS KERTYMÄÄN

Taulukossa 2 ja kuvassa 1 vertaillaan biomassakertymää tyypillisessä ensiharvennusmännikössä kuudessa vaihtoehtoisessa korjuuratkaisussa siten, että laskelmiin on otettu mukaan kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan 8 cm täyttävät poistettavat puut.



Kuva 1. Suhteellinen biomassakertymä kannolta tienvarteen palstahaketus-, osapuu- ja tavaralajimenetelmää ensiharvennusmännikössä käytettäessä runkopuun vähimmäislatvaläpimittavaatimuksen ollessa 0, 5 tai 7 cm. Kuorellisen rungon kuivamassa pystypuustossa saa arvon 100.

Kokopuuhaketuksen ensimmäisessä vaihtoehdossa puu otetaan talteen kokonaisuudessaan. Toisessa kokopuuhaketuksen vaihtoehdossa latva katkaistaan tasan 5 cm:stä. Muissa menetelmissä noudatetaan koneellisen puunkorjuun 5/3+ m:n apteeraussääntöä sekä 5 tai 7 cm:n vähimmäislatvaläpimittaa, jota pölkyn pituusrajoitteista johtuen ei läheskään aina saavuteta.

Biomassakertymän kannalta tehokkain ratkaisu on kokonaisten puitten palstahaketus. Vain 4 % biomassasta jää palstalle. Tuotteena on kuitenkin pelkästään polttohake, eikä menetelmä ravinnetasapainosyistä sovellu köyhille kasvupaikoille, joilla osa latvusmassasta tulee jättää tähteeksi.

Toista äärimmäisyyttä edustaa nykykäytännön mukainen tavaralajimenetelmä, jossa pölkyn vähimmäisläpimittavaatimuksena on 7 cm. Tuolloin vain puolet poistetun puuston biomassasta saadaan talteen. Tavaralajimenetelmän kertymä kasvaa esimerkkileimikossa runsaalla kolmanneksella, jos latvaläpimittavaatimus alenee 5 cm:iin. Mikäli karsimisesta luovutaan ja puut korjataan osapuuna, biomassakertymä kasvaa latvusmassan ansiosta kummassakin läpimittavaihtoehdossa tavaralajimenetelmään verrattuna noin 15 %.

Puuston koon kasvaessa menetelmien väliset kertymäerot supistuvat. Ellei leimikossa ole lainkaan rinnankorkeusläpimitaltaan alle 10 cm:n puita, talteen saatavan runkopuun osuus kasvaa oleellisesti, ja 5 ja 7 cm:n latvaläpimittavaihtoehtojen välinen kertymäero jää vähäiseksi.

Taulukko 2. Eri korjuumenetelmien biomassakertymä, kun latvan katkaisuläpimitta on 0, 5 tai 7 cm. Pystypuuston kuorellisen runkopuun kuivamassa (taulukossa kehystettynä) saa arvon 100.

Korjuumenetelmä	Latvan läpimitta, cm	Rungon puu	Rungon kuori	Latvus -massa	Kaikki massa
Suhteellinen kertymä					
Pystypuuston massa	0	89,9	10,1	28,0	128,0
Kokopuun palstahaketus	0	88,0	9,9	25,0	122,9
Kokopuun palstahaketus	5	84,0	9,4	14,3	107,7
Osapuumenetelmä	5	80,9	9,1	12,0	102,0
Tavaralajimenetelmä	5	80,9	7,8	-	88,7
Osapuumenetelmä	7	58,6	6,4	8,0	73,0
Tavaralajimenetelmä	7	58,6	5,5	-	64,1
Kertymän koostumus					
Pystypuuston massa	0	70,2	7,9	21,9	100,0
Kokopuun palstahaketus	0	71,6	8,1	20,3	100,0
Kokopuun palstahaketus	5	78,0	8,7	13,3	100,0
Osapuumenetelmä	5	79,3	8,9	11,8	100,0
Tavaralajimenetelmä	5	91,2	8,8	-	100,0
Osapuumenetelmä	7	80,3	8,8	10,9	100,0
Tavaralajimenetelmä	7	91,4	8,6	-	100,0

6.3 KARSINTA- JA KUORINTAMENETELMIEN VERTAILU

Metsäntutkimuslaitoksen, Metsätehon, Enso-Gutzeit Oy:n, Enocell Oy:n ja Pertti Szepaniak Oy:n yhteistyönä on toteutettu joukko ensiharvennusmännyn karsinta- ja kuorintakokeita. Tavoitteena oli, että mahdollisimman suuri osuus korjuun biomassakertymästä saadaan erotetuksi laadukkaaksi kuituraaka-aineeksi. Toinen tavoite oli, että kuituraaka-aineeksi soveltumaton osa biomassasta saadaan talteen energiapuuna siinä laajuudessa, kuin ekologisesti kestävä metsätalouden kannalta on suotavaa.

Reikäroottorikuorinta

Reikäroottorikuorinta tapahtuu yksin puin. Koska tuottavuus ja kustannukset riippuvat jyrkästi puun läpimitasta, menetelmää käytetään lähinnä vain järeälle saha- ja vaneripuulle. Menetelmä soveltuu kuitenkin myös kuitupuulle, mutta puun on oltava karsittua, syöttönopeuden suuri ja puuvirran jatkuva.

Pertti Szepaniak Oy:n kuorinta- ja haketusasema Imatralla on ainoa reikäroottoritekniikkaa soveltava kuitupuun käsittelyasema Suomessa. Investointikustannus on hakkuri mukaan luettuna noin 4 milj. mk. Asemalla tarvitaan 2 miestä työvuoroa kohti.

Aseman kapasiteetti on ensiharvennusmännällä 35 - 40 m³/h eli kaksivuorotyössä noin 140 000 m³ vuodessa. Kapasiteetti nousisi merkittävästi, mikäli ohuimmat pölkyt eroteltaisiin muulla tavoin kuorittaviksi.

Kaksoisroottorin ansiosta kuorinnan jälki on hyvä. Normaalioloissa hakkeen kuoripitoisuudeksi jää suurellakin syöttönopeudella vain 0,1 - 0,2 %. Runkopuun hävikki on kohtuullinen 2 - 3 %. Leimikosta poistetun puuston runkopuusta ja energiakomponentista saadaan talteen seuraava osuus:

	Kuitupuu, latvaläpimitta 5 cm Lopullinen kertymä, % poistumasta	Kuitupuu, latvaläpimitta 7 cm
Runkopuu	87	64
Energiapuu	28	21

Rumpukuorinta

Kuitupuu kuoritaan lähes poikkeuksetta rummussa. Koska raaka-aineen koostumuksessa ja laadussa sekä rumpukuorimoitten teknisissä ratkaisuissa on eroja, kuorimoitten soveltuvuus ensiharvennusmännälle vaihtelee. Kysymys on paitsi laiteratkaisuista myös laadunvalvonnasta korjuussa ja varastoinnissa, tehdasvarastojärjestelyistä sekä kuorinnan ja haketuksen prosessisäädöistä.

Keskeiset kokeet tehtiin Uimaharjulla Enocell Oy:n kaksilinjaisella kuorimolla, joka edustaa kehittyneintä rumpukuorintatekniikkaa. Se on tarkoitettu karsitulle kuitupuulle, mutta siellä on mahdollista käsitellä esimerkiksi 10 %:n seossuhteessa myös karsimatonta osapuuta. Osapuu aiheuttaa kuitenkin lisäjärjestelyjä tehdasvarastolla, ja runkopuun hävikki kohoaa karsi-

mattomalla osapuulla korkeammaksi kuin karsitulla kuitupuulla. Normaalioloissa kuorimon kapasiteetti on kummallakin linjalla noin 300 m³/h.

Jos ensiharvennuspuuta rummutetaan erilliskäsittelyssä omana tavaralajinaan, Uimaharjun kuorimolla saavutetaan alhainen 0,1 - 0,4 %:n kuoripitoisuus sekä kohtuullinen 2 - 3 %:n runkopuun hävikki. Jos kuitupuu on tehty yksioteharvesterilla joukkokarsintaa käyttäen, hävikki rumpukuorinnassa kasvaa ehkä prosenttiyksikön verran. Normaalin kuitupuun ja ensiharvennuspuun seoskuorinnassa (90 % + 10 %) hakkeen laatu säilyy korkeana ja runkopuun hävikki kohtuullisena.

Ensiharvennusmänniköstä poistetun puuston runkopuusta ja energiakomponentista saadaan talteen seuraava osuus. On huomattava, että tämä edullinen tulos edustaa vain Enocell Oy:n rumpukuorimoa ja senkin osalta vain ensiharvennusmännyn erilliskuorintaa. Monilla muilla kuorimoilla ja sekakäsittelyssä on varauduttava suurempaan hävikkiin ja pienempään kuitupuun kertymään.

	Kuitupuu, latvaläpimittä 5 cm	Kuitupuu, latvaläpimittä 7 cm	Osapuu, latvaläpimittä 5 cm
	Lopullinen kertymä, % poistumasta		
Runkopuu	87	64	86
Energiapuu	28	21	63

Ketjukarsinta-kuorinta

Ketjukarsinta-kuorintatekniikka on kehitetty nimenomaan karsimattomalle puulle. Kalusto on yleensä siirreltävää, niin että sitä voidaan käyttää sekä tilavalla metsävarastolla että terminaalilla ja tehdasvarastolla. Pertti Szepaniak Oy:n muuntamana Peterson Pacific DDC 5000 ketjukarsija-kuorijahakettaja soveltuu myös pienikokoiselle osapuulle. Kaluston investointikustannus ilman prosessitähteen murskainta on 3 milj. mk. Työryhmässä on 2 miestä.

Jos yksikkö työskentelee terminaalilla 2700 tuntia vuodessa ja raaka-aineena on karsimaton ensiharvennusmänty, vuosikapasiteetti on 100 000 m³ selluhaketta. Sivutuotteena syntyy kuivamassana mitattuna noin 10 000 t prosessitähdettä.

Keskimääräinen runkopuun hävikki on osapuulla 3 %. Kuoripitoisuus alittaa vain parhaimmillaan 1 %:n rajan. Kovalla pakkasella se nousee jopa 3 - 4 %:iin. Tuottavuus kohoaa ja runkopuun hävikki ja hakkeen kuoripitoisuus

alenevat osapuun läpimitan kasvaessa, mutta muutos ei ole jyrkkä. Runkopuun ja energiakomponentin kertymä on seuraava:

	Osapuu, latvaläpimita 5 cm Lopullinen kertymä, % poistumasta	Osapuu, latvaläpimita 7 cm
Runkopuu	86	63
Energiapuu	61	39

Ketjukarsinta-kuorintatekniikka soveltuu karsimattomalle osapuulle, ja investointikustannukset ovat rumpukuorintaan verrattuina alhaiset. Runkopuun hävikki voidaan pitää kohtuullisella tasolla, mutta riittävän alhaisen kuoripitoisuuden saavuttaminen on osoittautunut vaikeaksi. Jäätäneen ja kuivuneen puun kuoripitoisuus pyrkii edelleen jäämään liian suureksi.

Energiapuuta kertyy karsittuun kuitupuuhun verrattuna kaksinkertaisesti. Sen hyödyntäminen edellyttää työskentelyä päällystetyllä tai jäätäneellä terminaalikentällä. Häiriötön syöttö polttokattilaan saattaa edellyttää tähteen erillistä murskausta.

Ketjukarsinta-kuorinnan ja rumpukuorinnan yhdistelmä

Ketjukarsinta-kuorinnan suuri etu on soveltuvuus karsimattomalle puulle, mutta ongelmana on epätydyttävä kuorintajälki erityisesti vaikeissa olosuhteissa. Rumpukuorinnassa taas kuorintajälki on hyvä, mutta menetelmä ei sovellu erityisen hyvin karsimattomalle puulle, ja pienten ensiharvennuspuerien erilliskäsittely ja ensiharvennushakkeen erillään pitäminen aiheuttavat tehdasvarastolla lisäjärjestelyjä.

Pertti Szepaniak Oy:n suunnittelemassa ja rakentamassa prototyypilaitoksessa yhdistetään kummankin menetelmän tekniikka ja edut. Ensimmäisessä vaiheessa sovelletaan kevennettyä piiskausta karsintaan, jolloin tapahtuu myös kuoriutumista sekä jäljelle jäävän kuoripinnan rikkoutumista. Piiskauskäsittelystä pölkyt kulkeutuvat yhdensuuntaisrumpuun, jossa kuorinta viimeistellään vettä käyttämättä. Esikuorinnan ansiosta myös rummutus voidaan toteuttaa esimerkiksi pyörimisnopeuden ja puutavaran viipymän suhteen perinteistä tehdasrummutusta keveämpänä. Näin voidaan supistaa runkopuun hävikkiä.

Prototyypin ensimmäisissä koeajoissa ensiharvennuskannan runkopuun hävikki oli 1 - 4 % ja hakkeen kuoripitoisuus 0,4 %. Leimikosta poistetun puuston runkopuun ja energiakomponentin kertymä oli seuraava:

	Kuitupuu, latvalä- pimitta 5 cm	Osapuu, latvaläpi- mitta 5 cm	Osapuu, latvaläpi- mitta 7 cm
	Lopullinen kertymä, % poistumasta		
Runkopuu	88	88	64
Energiapuu	24	60	41

Nämä koetulokset ovat vasta suuntaa-antavia. Esikokeitten perusteella rakennettuun uuteen laitokseen on tehty tuottavuuteen, puunhävikkiin ja kuorintatulokseen vaikuttavia muutoksia. Mahdollisuudet teknisiin parannuksiin näyttävät lupaavammilta kuin muissa tutkimuksen kohteena olleissa vaihtoehtoisissa.

Uuden laitoksen investointikustannus on hakkuri mukaan luettuna 5 - 6 milj. mk ja kapasiteetti 40 - 60 m³/h eli kaksivuorotyössä 150 000 - 200 000 m³ kuorellista kuitupuuta vuodessa. Metsäteho ja Metsäntutkimuslaitos ovat tehneet Bioenergian tutkimusohjelmalle uuden hanke-esityksen vuosille 1996 ja 1997 menetelmän edelleen kehittämiseksi ja tutkimiseksi.

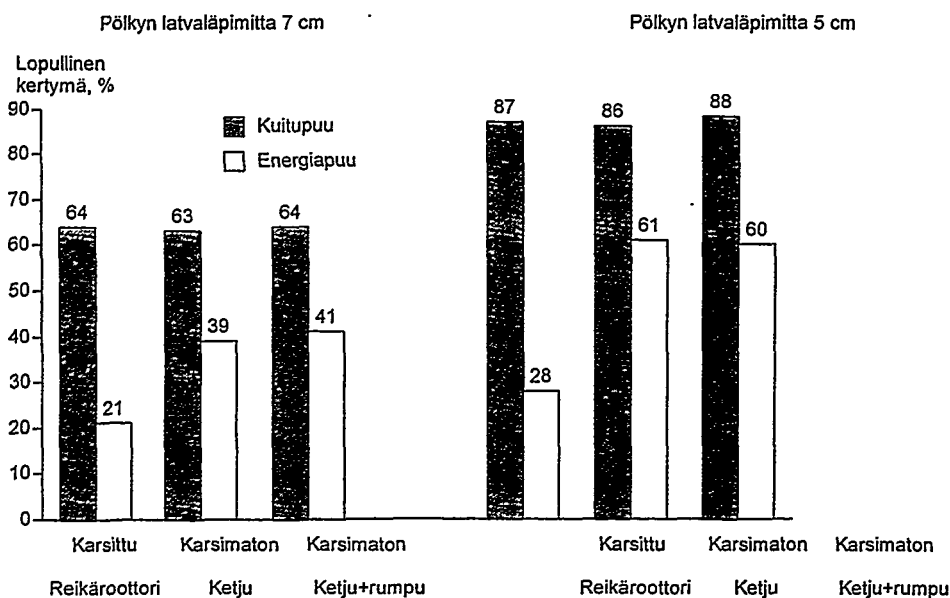
6.4 ENSIHARVENNUSMÄNNYN ERITYISOMINAISUUKSIEN HYÖDYNTÄMINEN

Jos harvennushakkuut voitaisiin toteuttaa hyvän metsänhoidon edellyttämässä laajuudessa, ensiharvennusmänniköistä hakattaisiin pelkästään Suomen eteläpuoliskon alueelta vuosittain 3,4 milj. m³ kuorellista mäntyrunkopuuta, eli latvusmassa mukaan luettuna kaikkiaan 5,0 milj. m³ eli 1,6 milj. kuiva-tonnia biomassaa.

Kansantalouden kannalta on edullista käyttää mahdollisimman suuri osa ensiharvennuspuusta massa- ja paperiteollisuuden raaka-aineeksi. Myös metsänkasvattajan kantorahatulo on näin menetellen suurin. Etelä-Suomen *ensiharvennusleimikoitten vuotuinen hakkuutavoite sisältää 3,0 milj. m³ eli 1,2 milj. kuiva-tonnia läpimitaltaan yli 5 cm:n paksuista kuoretonta mäntykuitupuuta, josta 47 %:n saannolla olisi mahdollista valmistaa 0,56 milj. t sulfaattisellua.*

Ensiharvennusmännyn taloudellisen käytön kannalta on keskeistä, että niin kuitu- kuin energiakomponenttikin saadaan talteen laadukkaana ja *ettei arvokasta kuituraaka-ainetta joudu erotteluvaiheessa energiakäyttöön.* Tavoite voidaan saavuttaa tyydyttävästi ainakin parhailla rumpukuorimalaitoksilla ensiharvennuspuun erilliskäsittelyssä sekä reikäroottorikuorimakoneella yksinpuinkäsittelyssä, mutta kumpikin menetelmä on tarkoitettu karsitulle puulle, jolloin energiapuun kertymä jää pieneksi. Uuden, myös karsimattomalle osapuulle soveltuvan ratkaisun tarjoaa ketjukarsinnan ja kevyen kuivarumpukuorinnan yhdistelmä.

Menetelmävaihtoehtojen biomassataseet osoittavat, että nykyistä 7 cm:n latvaläpimittavaatimusta ja koneellisen hakkuun 5/3+ m:n pituusapteerausohjetta noudatettaessa rungon kaikesta puuaineesta saadaan kuituhakkeeksi tuskin kaksi kolmannelta, jos leimikossa on runsaasti rinnankorkeusläpimitaltaan alle 10 cm:n puita. Kun leimikko järeytyy ja pienten puitten osuus supistuu, kertymäosuus kasvaa merkittävästi. Mutta jos latvaläpimitta alennetaan 5 cm:iin, saadaan hakkeena talteen peräti 87 % runkopuusta sellaisestakin leimikosta, jossa pienikokoisia puita on paljon (kuva 2). Kun alle 5 cm:n latvapuu jätetään epäedullisten ominaisuuksiensa vuoksi pois laskennallisesta tavoitteesta, kuitupuun kertymä nousee itse asiassa 94 %:iin potentiaalisen kuitupuun määrästä.



Kuva 2. Kuitupuun lopullinen kertymäosuus tehtaalla verrattuna pystypuuston potentiaaliseen kuitupuuhun (läpimitta yli 5 cm), ja energiapuun lopullinen kertymäosuus tehtaalla verrattuna pystypuuston ensisijaiseen energiapuuhun (alle 5 cm:n runkopuu, kuori ja latvusmassa), pölkyn latvaläpimitasta sekä karsinta- ja kuorintamenetelmästä riippuen.

Kun tavaralajimenetelmän sijasta valitaan osapuumenetelmä, energiapuun kertymä kaksinkertaistuu kummassakin latvaläpimittavaihtoehdossa, mutta kuitupuun kertymään muutos vaikuttaa tuskin lainkaan. Huomattakoon, että kuitupuuhun lopullisesti jäävä osuus kuoresta on kaikissa edellä esitetyissä kertymälaskelmissa katsottu haitallisuutensa vuoksi kokonaan menetetyksi, vaikka sekin todellisuudessa pääosiltaan saadaan jäteliemen muodossa energiakäyttöön.

Koska ensiharvennusmänty poikkeaa raaka-aineominaisuuksiltaan muusta kuitupuusta, sen erityisominaisuudet tulee ottaa raaka-ainehuollossa ja laadunohjailussa huomioon. *Ensiharvennusmäntyä kannattaa käsitellä omana tavaralajinaan, ja sitä voidaan luokitella teknisten ominaisuuksiensa vaihtelun pohjalta esimerkiksi pölkyn läpimitan perusteella tai tyvipölkkyt latvapölkkyistä erottamalla.* Tällaisin lajittelukeinoin mäntykuitupuusta syntyisi laatuluokkia, joitten erot voisivat olla suurempia kuin mänty- ja kuusikuitupuun väliset keskimääräiset erot. Kutakin laatuluokkaa voitaisiin käsitellä jo kuorintavaiheessa ja edelleen keitossa sille tarkoituksenmukaisinta tekniikkaa soveltaen.

Erilliskuurinta mahdollistaa myös erillishaketuksen ja hakkeen erillisvarastoinnin. Massan ominaisuuksien vaihtelu tasoittuu, kun *ensiharvennusmäntystä valmistettu hake voidaan sekoittaa ennen keittoa muuhun hakkeeseen hallitussa ja tasaisessa suhteessa.*

Poikkeavia ominaisuuksia voidaan hyödyntää vieläkin pitemmälle, jos keitto tapahtuu muusta hakkeesta erillään yksilöllisin kemikaali-, keittoai-ka-, jauhatus- ja valkaisusäädöin. Näin saatava erikoismassa kannattaa ohjata kuituominaisuuksiensa vastaaviin erikoispapereihin tai myydä oma-na markkinamassalaatunaan.

7 VUODEN 1996 TEHTÄVÄT

Hankkeen mäntypuuta koskeva osa on valmistunut ja julkaistu. Kuusta ja koivua koskeva osuus aineistosta viimeistellään Metsäntutkimuslaitoksen sisäisenä työnä ja julkaistaan vuoden 1996 aikana.

8 JULKAISUT 1995

Hakkila, P. 1995. Puun energiakäyttö pienyrittäjän näkökulmasta. Julkaisussa: Mäkinen, P. & Selby, A. (toim.). Metsä- ja puualan pienyritykset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 555: 79-82.

Hakkila, P. 1995. Puun energiakäyttö ja työllisyys. Julkaisussa: Palo, M. & Elovirta, P. (toim.). Työtä metsästä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 557. 73 s.

Hakkila, P. 1995. Ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Julkaisussa: Nurmi, J. & Heino, E. Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570: 7-16.

Hakkila, P. 1995. Ensiharvennusmänniköt raaka-ainelähteenä. Teho 4: 4-7.

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

Nurmi, J. 1995. Heating values of mature trees. Käsikirjoitus Acta Forestalia Fennica-sarjaan.

ENERGIAPUUVARAT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMISEDELLYTYKSET 1/1994-12/1996 - D105

Veijo Vesterlin
Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Maistraatinportti 4 A
00240 Helsinki
Puh. (90) 15621
Faksi (90) 1562 232

Abstract: Energy wood reserves and the utilization conditions of them 1/1994-12/1996

The objective of the project was to reduce the harvesting and procurement costs of energy wood, and clarification of the procurable volumes of energy wood by using the forestry-planning systems for private forests. A model will be developed for planning the energy wood procurement, and the regional energy wood reserves will be investigated for different utilization targets and purposes. The project has started in the beginning of 1993 and it will last to the end of 1996. Basic information needed was collected from the pilot areas in cooperation with the PUUHA project stated in Mikkeli. The targets have been determined from the pilot areas using an position-data program, used as calculation program, in the form of maps and forest stand charts. The numerical road data of the area has been carried over from the database of the National Board of Survey. The volumes of energy wood reserves of the test area have been calculated and composed on different levels of biomass utilization from variable procurement targets by taking the calculatory short-distance transportation and the harvesting costs of the first thinnings in to account and separately from the utilization targets of the felling residues utilization targets. At present cost and stumpage price level only a small proportion of first thinning targets seem to be profitable in utilization of energy wood. Even these targets usually require forest amelioration support. The average harvestible volumes of felling residues from spruce predominant final cuttings in the areas of Southern Savo are 0.2 - 0.4 solid-m³/ha varying from commune to commune. The total harvesting potential of the felling residues is usually about twice as high, but then the costs exceed 45 FIM/MWh. The corresponding volumes in Finland are about 6.0 million m³, but there are large regional variations.

1 PROJEKTIN TAUSTA

Yksityismetsistä hakataan kaupallista runkokuuta vuosittain yli 40 milj. km³. Tämän lisäksi hakkuutähdettä ja muuta markkinakelvotonta pienpuuta

olisi käytettävissä energian tuotantoon eri selvitysten mukaan n. 20 milj. m³. Määräarviot vaihtelevat eri laskentaperusteilla tehtynä. Pienkiinteistöjen puun polttokäyttö oli Metsäntutkimuslaitoksen mukaan n. 5,6 milj. m³ hakkuuvuonna 92/93.

Energiapuu on liiketaloudellisesti kilpailukykyinen polttoaine vain edullisissa hankintaoloissa, joten puu on saatava käyttöpaikalle ilman pitkiä kuljetusmatkoja. Puun polttoon nojautuvien laitosinvestointien perustana on oltava selkeä käsitys hankinta-alueen todellisista energiapuumääristä ja niiden saatavuudesta. Polttolaitosinvestointien suunnittelun pohjaksi on kaivattu realistisia selvityksiä metsäenergiavarojen saatavuudesta kannattavien energiainvestointien toteuttamiseksi. Lisäksi eri tahoilla tehtyjen selvitysten tulisi olla yhtenäisin käsittein ja perustein tehtyjä.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on energiapuun hankintakustannusten alentaminen alueellisilla energiapuuselvityksillä sekä metsänomistajien neuvonnalla. Tavoitteeseen pyritään kehittämällä laskentamenetelmä, jolla voidaan toteuttaa kuviotasolle ulottuva metsäenergiavarojen analyysi. Samalla laskelmissa voidaan ottaa huomioon energiapuun ja hakkuutähdekertymän sekä hakkuu- ja kuljetuskustannusten merkitys. Menetelmällä pyritään hakemaan vastauksia teknisistä ja taloudellisista metsäenergiapotentiaaleista, joka koostuvat polttokelpoisesta metsätähteestä ja markkinakelvottomasta pienpuusta.

3 PROJEKTIN TOTEUTUS

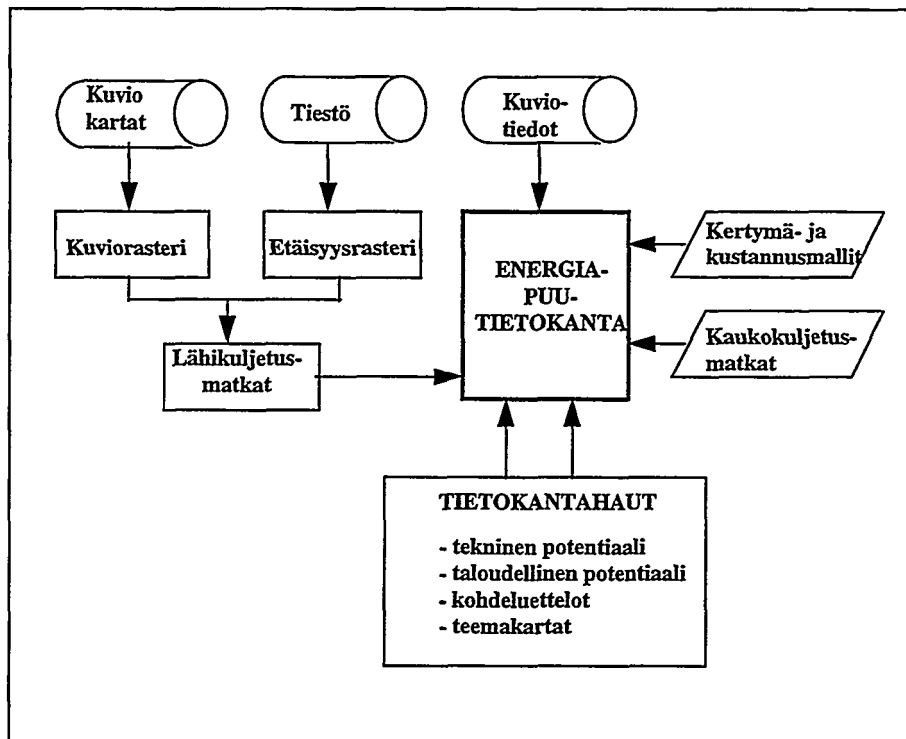
Projektin toteuttamisvaiheessa mukana ovat olleet mm. PUUHA-projekti Mikkelin seudulla ja Keski-Suomen Metsäenergia-projekti. Alueelliset metsäkeskukset, Joensuun yliopisto, Metsäteho, Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia ovat osallistuneet hankkeeseen tarjoamalla aineistoja, tutkimustuloksia ja myös menetelmiä sovellettavaksi energiapuuvarojen laskentamenetelmien kehittämisessä. Mikkelin kaupungilla ja sen ympäristökunnilla on ollut KTM:n avustama PUUHA-projekti käynnissä, mistä johtuen Mikkelin seutua on käytetty testialueena.

4 PROJEKTIN SISÄLTÖ

Alueellisessa energiapuuselvityksessä tarkastellaan erilaisten metsänkäsittelymenetelmien ja vaihtoehtoisten energiapuu- tai teollisuuspuukohteiden

valinnan vaikutusta kertymiin sekä energiapuun korjuuta metsänparannus-työkohteilta.

Kehittämistyössä on testattu toiminnan suunnittelua ja toteutusta palvelevaa atk-pohjaista ohjausjärjestelmää, joka perustuu paikkatietosovellukseen. Järjestelmä sisältää numeeriseen kartta-aineistoon sidottua korjuukohteita-tietoa energiapuuvaroista, korjuukelpoisuudesta, tiestöstä ja potenti-aalisista korjuukohteista (kuva 1).



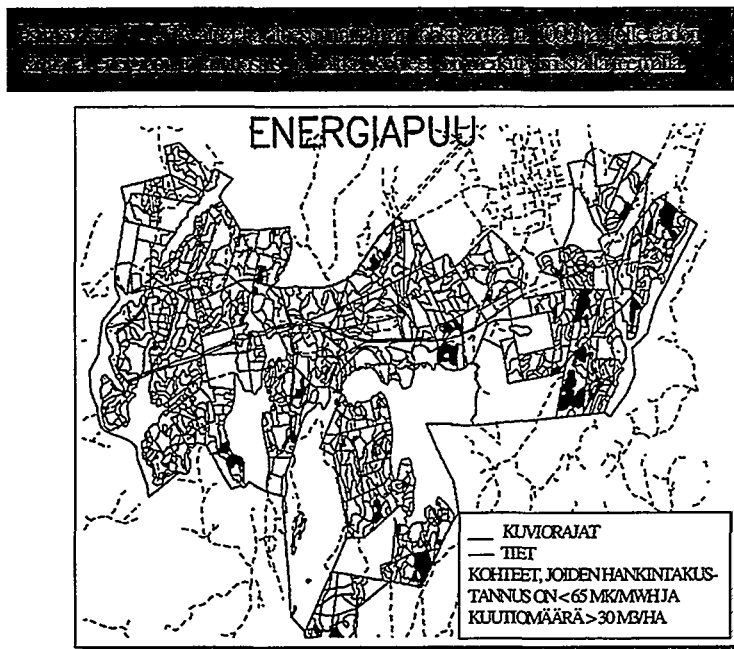
Kuva 1. Laskentamenetelmän yleiskuvaus.

Kehitetty laskentamenetelmä eroaa aiemmista tarkastelutavoista erityisesti siinä, että hankinnan kustannukset lasketaan koko energiapuun hankintaket-julle metsästä lämpölaitokselle. Näin voidaan määritellä sellaiset metsä-energiavarat, jotka saadaan käyttöpaikalle asetetulla tavoitehinnalla. Vertai-lutasona voidaan käyttää esim. 45 mk/MWh-hintaa, mikä on tutkimusoh-jelman tavoitteena energiapuun hankinnassa.

Laskentamenetelmän perusajatus on hakea vastaus esimerkiksi seuraavan-laiseen kysymykseen: "Kuinka paljon metsäenergiapuuta löytyy kunnan alueelta lämpölaitokselle toimitettuna, kun sen kustannukset saavat olla yh-teensä 45 mk/MWh ja haketta on saatava yhdestä kohteesta vähintään

100 m³?" Tällöin tarvitaan tietoa korjuumenetelmistä ja niiden kustannuksista sekä tuottavuudesta, samoin kuin lähi- ja kaukokuljetuksesta sekä haketuksista.

ENERGIAPUUTA NMK-KOHITEISTA



Kuva 2. Karttaesimerkki metsätalousalueesta.

Hakkuutähdekohteiden lisäksi voidaan puustotietojen perusteella etsiä mm. sellaiset nuorten metsien kohteet, joiden energiapuun kertymä on vähintään 30 m³/ha ja jotka saadaan käyttöpaikalle alle 65 mk/MWh-hintaan., kuva 2

Energiapuulla tarkoitetaan tässä ensiharvennuksista talteen saatavissa olevaa biomassaa, eli tilannetta, jossa ainespuuta ei erotella energiapuusta. Hakkuutähde on perinteisesti ensiharvennuksista, varttuneen metsän harvennuksista ja päätehakkuista talteen saatavissa oleva latvuksista ja runkohukapuusta koostuva hyödynnettävissä oleva biomassa.

Lähikuljetuskustannukset lasketaan Maanmittauslaitoksen numeerista tietäaineistoa ja metsäsuunnittelun kuviokarttoja samanaikaisesti apuna käyttäen ns. paikkatietojärjestelmällä.

5 PROJEKTIN RAHOITUS

Projekti kuuluu BIOENERGIA-tutkimusohjelman ns. demonstraatiohankkeisiin nimellä "Yksityismetsien energiapuuvarat ja niiden hyödyntämismahdollisuudet". Tapion lisäksi sitä rahoittaa kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto.

Rahoittaja	1994 mk	1995 mk	1996 mk
Metsäkeskus Tapio	135 000	225 000	150 000
KTM/ Energiaosasto	115 000	195 000	100 000
Yhteensä	250 000	420 000	250 000

6 TULOKSET

Laskentajärjestelmällä selvitettiin alueelta hakattavaksi suunnitellun 10-vuotiskauden biomassakertymän tilavuus metsäkuljetusmatkaluokittain, sekä hakkuutähteen määrä hakkuutavoittain. Laskettavia tunnuksia olivat puusto- ja hakkuukertymäbiomassat ja hakkuutähtekertymät (lehti- ja havupuu erikseen) sekä hakkuu- ja metsäkuljetuskustannukset.

Aineistona olivat Etelä-Savon metsälautakunnan aluesuunnitelma-alueet (pinta-ala 112 000 ha, n. 80 000 kuviota) PUUHA-projektin kunnista. Kuvioiden metsäkuljetusmatkatunnuksen laskentaa varten kuviokarttatasot ja vastaava tiestö muunnettiin (rasteroitiin) 25*25 m:n alueiksi (pikseleiksi), minkä jälkeen voitiin laskea kullekin kuviolle keskimääräinen etäisyys lähimpään tiehen.

Hakkuutähteen kertymien laskennassa käytetyt kertoimet perustuivat Hakkinen (1991) latvusmassataulukoihin eri leimikkotyypeissä. Latvuksista ajateltiin koottavan elävät oksat ja puolet neulasista (lehtipuilla vain elävät oksat). Talteensaantiprosentteina käytettiin päätehakkuissa 65 % ja harvennuksissa 50 % (vrt. Kärhä 1994). Kustannusfunktiot perustuivat metsäkuljetuskustannusten osalta Kärhän (1994) käyttämiin tuotosmalleihin. Kuljetuskustannuksiin vaikuttaa eniten käytettävän kuormatilan koko, joka tässä tarkastelussa oli 8 m³.

Taulukko 1. Kuusivaltaisten päätehakkuiden vuotuisia hakkuutähdemääriä PUUHA-alueelta.

Kunta	Metsämaan ala, koko kunta-ala	Metsämaan ala, laskenta-alue	A m ³ /v	B m ³ /v	C m ³ /v
Mikkeli + mlk	81 700	23 896	31 898	15 997	12 210
Mäntyharju	84 400	13 198	20 709	1 067	485
Juva	95 100	16 370	39 452	5 230	3 566
Kangasniemi	87 700	14 717	29 396	415	415
Haukivuori	29 900	12 747	13 052	0	0
Hirvensalmi	37 500	13 939	7 126	1 227	853
Antola	20 300	6 202	4 046	1 179	1 021
Ristiina	47 700	11 569	4 334	947	750
YHTEENSÄ	484 300	112 638	150 013	26 062	19 300
A = hakkuutähteen kokonaiskertymäpotentiaali					
B = Taloudellisesti kannattava kertymäpotentiaali, < 90 mk/m ³ ja > 40 m ³ /ha					
C = Taloudellisesti kannattava kertymäpotentiaali, ei talvikorjuukohteita					

Uutta menetelmässä oli erityisesti erilaisten kustannuskriteerien käyttö kohteiden valinnassa. Hakkuutähteen käyttöpaikkakustannus sai olla enintään 45 mk/MWh, jolloin potentiaalisen raaka-ainevarannon määrä pieneni 20 % :iin tähteen maksimimäärästä. Kuusivaltaisista päätehakkuista kertyi tähdettä keskimäärin 51 k-m³/ha (taulukko 1).

Energiapuun (nuoren metsän kunnostukset) sallitun käyttöpaikkakustannuksen ollessa enintään 130 mk/k-m³ (käyttöpaikalla n. 65 mk/MWh), 25 % koko energiapuupotentiaalista olisi kannattavaa korjata. Nuorten metsien alkuvaiheen energiapuuarvio oli noin 0,4 k-m³/ha/vuosi ensiharvennus- ja viivästyneistä taimikonhoidoista kokopuuna korjattua energiapuuta, mutta realistisemmalla kohdevalinnalla määrä putosi noin 0,2 k-m³:iin vuodessa (taulukko 2).

Taulukko 2. Nuoren metsän kunnostus- ja polttopuukohteiden määräarviot PUUHA-alueella

	Metsämaan ala, koko kunta, ha	Metsämaan ala, laskenta- alue, ha	A m ³ /v	B m ³ /v	C m ³ /v
Mikkeli + mlk	81 700	23 896	4 683	1 060	153
Mäntyharju	84 400	13 198	24 588	9 678	3 450
Juva	95 100	16 370	4 348	1 463	328
Kangasniemi	87 700	14 717	5 746	877	122
Haukivuori	29 900	12 747	5 012	513	184
Hirvensalmi	37 500	13 939	8 326	231	62
Anttola	20 300	6 202	2 544	548	296
Ristiina	47 700	11 569	2 011	238	136
YHTEENSÄ	484 300	112 638	57 258	14 608	4 731
A = Nuoren metsän hoidon kokonaiskertymäpotentiaali, m ³ /v B = Taloudellisesti kannattava kertymäpotentiaali, < 120 mk/m ³ ja > 30 m ³ /ha C = Taloudellisesti kannattava kertymäpotentiaali, ei talvikorjuukohteita					

Karuummat kasvupaikat rajattiin ravinnetaloudellisista pois. Keskimääräinen laskettu metsäkuljetusmatka oli 215 m, eikä se vaihdellut merkittävästi eri alueilla.

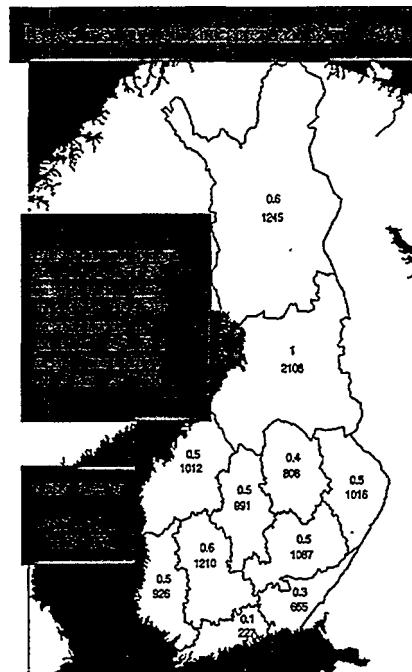
PUUHA-alueen kunnista on saatavissa vuosittain likimain 100 000 i-m³ vastaava määrä metsäenergiapuuta. Puun polttokäyttöä on kuitenkin tuettava 5-10 mk/k-m³, jotta se kykenee liiketaloudellisesti kilpailemaan turpeen kanssa. Toisaalta sallitun käyttöpaikkakustannuksen kasvaminen 5 - 10 mk/MWh mahdollistaa kaukokuljetusmatkan lisäämisen 20 - 40 km, jolloin taloudellisesti hankittavissa oleva määrä kasvaa 50 - 100 %.

Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston organisoimassa Biopolttolaineiden erillisselvitys -hankkeessa laskettiin läänikohtaisia energiapuumääriä johdettuina kunnittaisista aineistoista yhteistyössä Metsätehon kanssa. Metsäenergian lähteiksi hyväksyttiin mukaan kuusivaltaiset uudistushakkuut ja ensiharvennusmänniköt. Kohteista arvioitiin voitavan teknisesti korjata energiapuuksi 80 % ja näistä 50 % olevan hankittavissa energiapuukäyttöön. Ensiharvennuksista noin puolet oletetaan korjattavan ns. integroiduilla menetelmillä.

Selvitystyön tuloksina saatiin sekä uudistushakkuiden hakkuutähteen että ensiharvennusten kokopuuhakkeen potentiaaliksi n. 3 Mm³ vuodessa, eli

yhteensä noin 6 Mm³ koko maassa. Hintarajoitteena käytettiin n. 45 mk/MWh-hintaa ja kaukokuljetukset sallittiin vain 40 km:n matkalta. Rajoitehinnan kasvaminen 5 - 10 mk:lla lisää taloudellista energiapuupotentiaalia muutamalla kymmenellä prosentilla. Yhteensä kohteista arvioitiin saatavan tarvittaessa lähes 14 Mm³ metsäenergiapuuta.

LASKENNALLINEN PUUPOLTTOAINE- POTENTIAALI ENSIHARVENNUS- JA NMK-KOhteista LÄÄNEITTÄIN



Kuva 3. Nuorten metsien energiapuutarat lääneittäin. Lähteet: Tapio, Metsäteho, VTT Energia.

7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Laskentamenetelmä oli käyttökelpoinen esitettyjen ongelmien ratkaisuun. ja metsäkuvioiden puustotiedoista voidaan päätellä energiapuun kertymät. Aiemmissa metsäenergiavaralaskelmissa ei lähikuljetukseen liittyviä eikä muita metsässä syntyviä kustannuksia ole yleensä otettu huomioon.

Uudistuskohdeista parhaita ovat kuusivaltaiset puustot, joiden saanto tienvarteen on noin kaksi kolmasosaa lasketusta hakkuutähteen biomassamäärästä. Näistä latvuksista, oksista ja neulasista voi kertyä hakkuutähdettä

tienvarteen jopa neljäsosa ainespuun määrästä. Nuorista metsistä kertyvän kokopuun käytön suurin ongelma on kustannustaso.

PUUHA 93-95 -projektissa kerätyt tiedot olivat hyödyllistä vertailuaineistoa (katso Saksa ja Tuovinen 1994). Energiapuun kertymä (erityiset energiapukohteet) oli 0,44 m³/ha/v ja päätehakkuiden hakkuutähteen kertymä 0,61 m³ metsämaan hehtaaria kohti vuodessa

Nyt saadut tulokset kuusivaltaisten päätehakkuiden hakkuutähdekertymälle ovat 0,3 m³/ha/v ja energiapuukertymälle (ensiharvennukset) 0,2 m³/ha/v. Keskimääräiset hakkuu- ja kuljetuskustannukset olivat niin ikään varsin realistisia ja niiden avulla voitiin erotella tehokkaasti eri kannattavuustasot.

Valtakunnallisesti energiapuuvarat vaihtelevat alueittain, mutta realistisena teknisenä metsäenergiapotentiaalina voidaan pitää n. 14 Mm³ ja vastaavasti nykyhintatasolla ja nykytekniikallataloudellisena potentiaalina n. 6 Mm³.

LÄHTEET JA JULKAISUT

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

Härkönen, K. 1994. Metsänkasvatus ja harvennusvaihtoehdot. Käsikirjoitus.

Imponen, V. 1993. Pienpuun hankinta; kustannukset ja kannattavuus. Esitelmä Sytyttääkö - seminaarissa Joensuussa 24.9.1993.9 s.

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

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

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

Vesterlin, V. 1996. Yksityismetsien energiapuuvarat, Artikkelit TEHO 1/96.

PUUN KORJUU JA HAKKUUTÄHTEET

— 300 — 300 — 300 — 300 —

ENERGIAPUUN KORJUU TAIMIKON HARVEN- NUKSEN YHTEYDESSÄ - 113

Jarmo Hämäläinen
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki
Puh. (90) 132 5224
Faksi (90) 132 5254

Risto Lilleberg
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki
Puh. (90) 132 5231
Faksi (90) 132 5254

Abstract: Harvesting of energy wood in young stands in connection with pre-commercial thinning - 113

A forwarder equipped with the "Naarva felling-loading device" was studied in pre-commercial thinning and the costs of the method were compared with young stand treatment with a brush saw.

Trials were made in three different pine stands, in which the dominant height varied between 3.7 and 9.3 meters. The mean height of trees to be felled was 3.1 - 4.8 meters, density 6 000 - 10 000 trees/hectare and volume - stemwood and branches - 15 - 61 m³ (s)/ha.

Harvesting production per effective hour varied by sample plot between 0.8 and 2.9 m³, with a forest haulage distance of 45 - 150 meters. The production increased clearly with a higher removal per hectare. The feller-forwarder was used for the first time in young stand treatment and the productivity can be increased by equipment development.

The calculated harvesting costs at road side were 62 - 305 Fmk/m³ (34 - 170 FIM/MWh) or 3 770 - 6 600 FIM/ha. In the calculations haulage distance was fixed to 250 m and the state subsidies for young stand treatment and energy wood harvesting were taken into account. The results showed that mechanised harvesting in the first place should be done in stands with a removal of at least 40 - 50 m³/ha.

The thinning based on gathering energy wood was for the forest owner in most cases more expensive than felling the trees to the ground by brush saw. Critical elements for how competitive the mechanised method is, are the regional coverage of heating plants and their ability to pay for wood fuel.

Within the Bioenergy project Metsäteho has continued with a project, which focuses on development of the machine and also studies the overall economy of the method, from the viewpoint of wood production.

1 TAUSTA

Taimikonhoidolla tarkoitetaan kasvatettavien puiden kehitystä haittaavien lehti- ja havupuiden poistamista taimikosta sekä taimikon harvennusta lopulliseen kasvatustiheyteen. Vuotuinen taimikonhoitoala Suomessa on noin 200 000 ha.

Taimikonhoito on yleensä tehty siinä vaiheessa kun kasvatettavat puut ovat 1 - 3 m:n mittaisia. Poistettavat puut on kaadettu raivaussahoilla maahan. Viime vuosina taimikonhoito-ohjeita on uusittu eri organisaatioissa. Harvennus suositellaan nykyään tehtäväksi aiempaa myöhemmin, noin 4 - 7 m:n pituusvaiheessa. Myöhäisissä harvennuksissa poistettava puusto on kookkaampaa kuin perinteisillä taimikonhoitotyömailla, jolloin sen kaato on aiempaa työläämpää. Myös energiapuun talteenotto saattaa olla entistä useammin perusteltua.

2 TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena oli kokeilla Naarva-kouralla varustettua puunkorjuun yhdistelmäkonetta varttuneissa taimikoissa. Kokeilun pohjalta tarkasteltiin energiapuun korjuun kustannuksia, ja vertailtiin toimintamallia tavanomaiseen taimikonhoitoon. Kokeilu oli luonteeltaan esitutkimus, jonka tuloksia käytetään perustana jatkotutkimusten suuntaamiselle sekä laitekehittelylle. BIOENERGIA-ohjelmasta saatiin hankkeelle rahoitusta vuonna 1995 yhteensä 98000 mk.

3 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimus toteutettiin Metsätehon, Enso-Gutzeit Oy:n Karjalan hankintaluokan alueen ja Pentin Paja Ky:n yhteistyönä. Kokeiltava laite oli kiinnitettynä Osmo ja Heino Maksimaisen Valmet 832 -kuormatraktoriin. Kokeilu tehtiin kolmella puustoltaan erilaisella tutkimustyömaalla Ilomätsissä. Kullekin työmaalle perustettiin kaksi koealaa, joiden pituus oli 30 metriä ja leveys 20 metriä (taulukko 1). Koealoilla tehtiin aikatutkimus koneen työskentelystä. Koneen kuljettaja harjoitteli laitteen käyttöä yhden päivän ajan ennen aikatutkimusta.

Taulukko 1. Konetyömaiden puustotunnukset.

Työmaa/ koeala	Lähtö- tiheys kpl/ha	Kasvatetta- vien pui- den valta- pituus, m	Poistuman keskipituus m	Poistuman keskitiheys kpl/ha	Poistuman keskiläpi- mitta ($d_{1,3}$) cm	Kertymä m^3/ha
1/1	12920	4,0	3,4	8180	2,6	27
1/2	11830	3,7	3,1	6010	2,1	15
2/1	13670	9,3	4,8	9960	2,9	53
2/2	8900	9,0	4,7	6280	3,0	44
3/1	17580	7,3	4,7	8680	2,7	36
3/2	13250	7,8	4,3	8860	2,7	61

Kohteilla 1 ja 3 perustamistapa oli männyn istutus ja kohteella 2 männyn luontainen uudistaminen. Tutkimusvaiheessa kasvatettava valtapuusto oli pääosin mäntyä ja poistettava puusto lähinnä luontaisesti syntynyttä koivua. Kertymä sisältää sekä runkokuun että oksat kiintokuutiometreiksi muutettuna.

Vertailumenetelmänä oli tavanomainen raivaussahatyö, jota tutkittiin samoilla työmailla kuin konetyötä. Raivaussahatyön aikatutkimusaineisto kerättiin koealoilta, joiden koko oli 4×4 metriä. Aikatutkimukseen osallistui kaksi raivaussahatyöhön tottunutta ammattimetsuria. Aineistoa kerättiin yhteensä 81 koealaa, noin 40 koealaa kummaltakin työntekijältä (taulukko 2).

Taulukko 2. Raivaussahakoealojen lukumäärä poistettavien puiden tiheyden ja kantoläpimitan mukaan.

Tiheys kpl/ha	Kantoläpimitta, cm				
	1	2	3	4	5
0 - 5000		1	4	1	1
5001 - 15000		14	21	7	2
15001 - 30000		12	10		1
> 30000	2	4	1		

Raivaussahatyön aikatutkimukset toteutettiin lokakuun lopussa ja konekokeilu marraskuun alussa 1995. Konekokeilun aikana koealoilla oli lunta 5 - 10 cm.

Aikatutkimusaineistojen pohjalta vertailtiin eri menetelmien tuottavuutta ja kustannuksia. Tarkasteluissa hyödynnettiin Metsätehon laskentamalleja sekä yleisiä töiden hinnoitteluperusteita.

4 TULOKSET

Konetyön tuottavuus ja kustannukset

Puiden kaadon, kuormauksen ja metsäkuljetuksen käsittävä tehotuntituotos vaihteli kohteittain vajaasta yhdestä kuutiometristä noin kolmeen kuutiometriin (taulukko 3). Tuottavuus parani selvästi hehtaariohtaisen kertymän kasvaessa. Aineisto oli kuitenkin niin pieni, ettei se antanut edellytyksiä luotettavaan rungon koon, poistuman tiheyden yms. vaikutusten selvittämiseen. On huomattava, että metsäkuljetusmatkat olivat kaikilla koealoilla melko lyhyet, 50 - 150 metriä.

Taulukko 3. Naarva-kouralla varustetun yhdistelmäkoneen tuottavuus.

Työmaa/ koeala	Kertymä m ³ /ha	Tehoajanmenekki h/ha	Tehotuntituotos m ³ /h
1/1	27	23,1	1,2
1/2	15	18,4	0,8
2/1	53	31,4	1,7
2/2	44	23,3	1,9
3/1	36	23,9	1,5
3/2	61	21,2	2,9

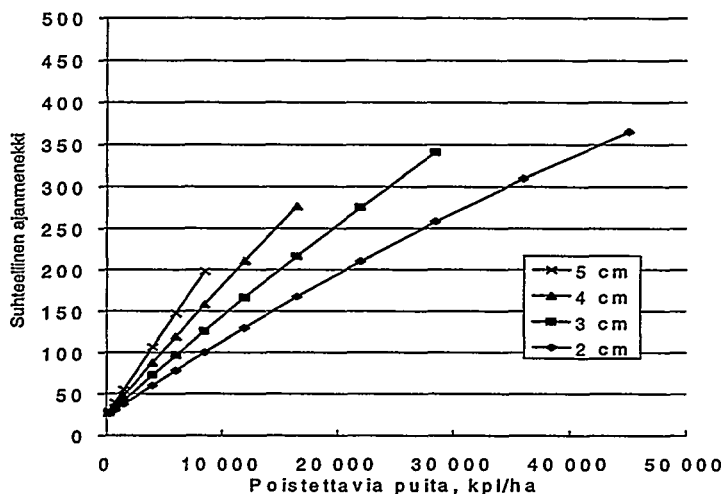
Aikatutkimuksen pohjalta laskettiin korjuukustannukset. Laskelmissa koneen käyttötuntikustannuksiksi oletettiin 270 mk, alle 15 minuutin keskeytysten osuudeksi 10 % käyttöajasta ja metsäkuljetusmatkaksi 250 m. Vaihtoehtolaskelmissa otettiin lisäksi huomioon taimikonhoitoon ja nuoren metsän kunnostukseen sekä energiapuun korjuuseen myönnettävät metsänparrannustuet: taimikonhoitotuki 30 % työkuustannuksista ja energiapuutuki 25 mk/m³. Korjuukustannukset tienvaressa olivat tuet mukaan lukien 62 - 305 mk/m³ (34 - 170 mk/MWh) eli noin 3800 - 6600 mk/ha (taulukko 4).

Taulukko 4. Laskelma korjuukustannuksista.

Työmaa/ koeala	Korjuukustm k/m ³	Korjuukust.- mp-tuet, mk/m ³	Korjuukust. mk/ha	Korjuukust.- mp-tuet, mk/ha
1/1	231	196	6270	5300
1/2	342	305	5030	4480
2/1	156	125	8280	6600
2/2	138	107	6080	4740
3/1	178	145	6420	5240
3/2	92	62	5610	3760

Raivaussahatyön tuottavuus ja kustannukset

Aikatutkimusaineistosta määritettiin sahausajanmenekin riippuvuus harvennusolosuhteista. Poistettavien puiden lukumäärä ja kantoläpimitta vaikuttivat hyvin voimakkaasti ajanmenekkiin (kuva 1). On huomattava, että aineisto oli pieni erityisesti järeimmissä kantoläpimittaluokissa, joten tuloksiin on suhtauduttava varauksin.



Kuva 1. Poistettavien puiden lukumäärän ja kantoläpimitan vaikutus raivaussahatyön ajanmenekkiin (100=2 cm/8500 kpl/ha).

Raivaussahatöiden urakkahinnoittelun yksikköpalkkataso sijoitettiin ajanmenekki-funktioihin, ja laskettiin harvennuskustannukset konetyökohteille (taulukko 5). Laskelmaan sisältyvät palkka- ja palkkasivukustannukset (72 %), ja työ on oletettu tehtäväksi työntekijän raivaussahalla.

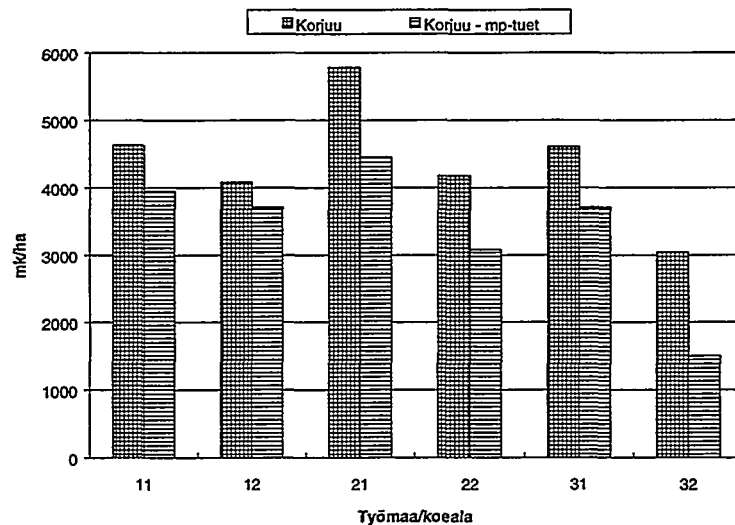
Taulukko 5. Raivaussahatyönä tehtävän harvennuksen kustannukset konetyökohteilla.

Työmaa/ koeala	Kustannukset mk/ha	Kustannukset -mp-tuet mk/ha
1/1	961	673
1/2	584	409
2/1	1175	823
2/2	801	561
3/1	916	641
3/2	1042	729

Menetelmien vertailua

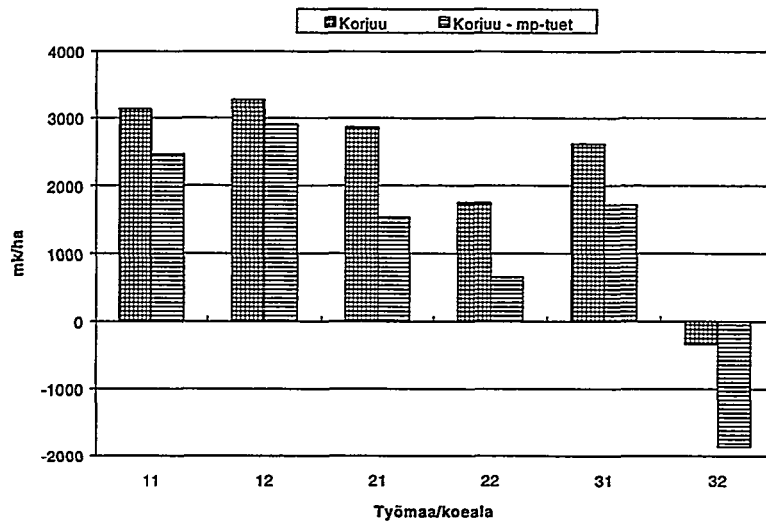
Energiapuun korjuuseen perustuvan taimikonhoidon taloudellisuutta tarkasteltiin metsänomistajan näkökulmasta. Laskettiin kaksi vaihtoehtoa, joista ensimmäisessä energiapuusta maksettava tienvarsihinta oli 25 mk/m^3 ja toisessa 80 mk/m^3 . Ensimmäinen hintataso johdettiin Bioenergiaohjelmassa määritellystä energiapuun tavoitehintatasosta, 45 mk/MWh käyttöpaikalla (81 mk/m^3) ja toinen hintataso lähinnä kuntien pienissä lämpölaitoksissa maksetuista käytännön hinnoista (noin 135 mk/m^3). Tienvarsihinta laskettiin vähentämällä laitoshinnasta rationaalista toimitusketjua vastaavat kuljetuskustannukset (22 mk/m^3), haketuskustannukset (24 mk/m^3) sekä yleiskustannukset (10 mk/m^3).

Ensimmäisessä vaihtoehdossa energiapuun talteenotto lisäsi taimikonhoidon kustannuksia ratkaisevasti kaikilla kohteilla. Menetelmä oli kilpailukykyisin kertymältään runsaspuustoisimmalla kohteella, mutta sielläkin lisäkustannukset olivat $1500 - 3000 \text{ mk/ha}$ (kuva 2).



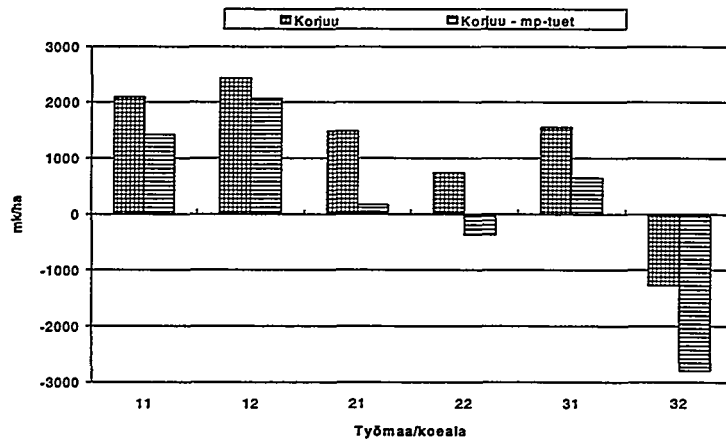
Kuva 2. Energiapuun korjuun aiheuttamat lisäkustannukset raivaussahatyönä tehtävään taimikonhoitoon verrattuna. Energiapuun hinta tienvarressa 25 mk/m^3 .

Toisessa laskentavaihtoehdossa puun talteenottoon perustuvan menetelmän kilpailukyky parani olennaisesti, ja menetelmä oli raivaussahatyötä edullisempi puustoisimmalla kohteella (kuva 3).



Kuva 3. Energiapuun korjuun aiheuttamat lisäkustannukset/kustannussäästöt raivaussahatyönä tehtävään taimikonhoitoon verrattuna. Energiapuun hinta tienvarressa 80 mk/m³.

Koska kokeiltu laite oli prototyyppi ja menetelmää kokeiltiin ensimmäistä kertaa, on luultavaa, että tuottavuus kohenee kehittämistyön edetessä. Tuottavuuden merkitystä havainnollistaa esimerkkilaskelma, jossa tuottavuuden oletettiin nousevan 20 % tutkimuksessa todetusta tasosta. Tuottavuuden paraneminen tekisi menetelmän kilpailukykyiseksi jo suurella osalla tutkimuskohteista, kun lähtökohtana on 80 mk:n tienvarsihinta (kuva 4).



Kuva 4. Energiapuun korjuun aiheuttamat lisäkustannukset/kustannussäästöt raivaussahatyönä tehtävään taimikonhoitoon verrattuna. Energiapuun hinta tienvarressa 80 mk/m³. Tuottavuuden lisäys 20 % tutkimuksessa todettuun verrattuna.

5 TARKASTELUA

Tutkimus oli luonteeltaan esitutkimus, ja tulokset ovat suuntaa-antavia. On huomattava, että tutkittua laitetta käytettiin ensimmäistä kertaa tiheissä ja pienipuustoisissa nuorissa metsissä. Lisäksi yhdistelmäkoneen hydraulikas-sa oli mitoitus- ja säätöongelmia, jotka hidastivat puiden kaatovaihetta, ja kuljettaja oli vielä tottumaton laitteen käyttöön.

Naarva-koura näytti soveltuvan teknisesti varsin hyvin tiheisiin taimikonhoi-tokohteisiin. Se on pienikokoinen, mahdollistaa usean puun yhtäaikaisen käsittelyn ja on hinnaltaan edullinen. Laitteeseen perustuva korjuun yhdis-telmäkone on kiinnostava vaihtoehto taimikonhoidon koneellistamisen kan-nalta. Tähänastiset taimikonhoitokoneethan on tarkoitettu pelkästään puiden kaatoon, ja niiden kilpailukyky on ollut huono miestyöhön verrattuna.

Tutkimuskohteet vastasivat poistettavan lehtipuuston osalta varttuneita tai-mikonhoitokohteita, mutta valtapuusto oli osalla koealoista varsin kookasta, taimikkovaiheen ohittanutta.

Kokeilu viittasi siihen, että korjuu kannattaisi suunnata ensisijaisesti sel-laisiin taimikon harvennuskohteisiin, joissa energiapuukertymä on vähintään 40-50 m³/ha. Jos esimerkiksi kolmannes vuotuisesta taimikonhoito-alasta olisi tulevaisuudessa korjuukelpoista, merkitsisi se mittavaa, noin 2,5 - 3 milj. kuutiometrin energiapuupotentiaalia.

Puun talteenottoon perustuvan taimikonhoidon taloudellisuudessa näyttää vielä olevan kovasti parantamisen varaa. Kone- ja laitekehittelyn ohella energiapuun käyttölaitosten alueellinen kattavuus ja niiden puustamaksuky-ky ovat menetelmän kilpailukyvyn kannalta kriittisiä.

Metsätehossa on käynnistetty Bioenergia-ohjelmaan kuuluva jatkoprojekti, jossa

- jatketaan Naarva-kouran kokeilua ja kehittämistä,
- kokeillaan Chipset-hakeharvesteriin perustuvaa korjuumenetelmää,
- tarkastellaan koneellisen taimikonhoidon vaikutusta ensiharvennuksen taloudellisuuteen sekä
- tutkitaan alustavasti taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistämis-mahdollisuuksia.

PÄÄTEHAKKUUALOJEN HAKKUUTÄHDE POLTTOAINELÄHTEENÄ - 114

Pentti Hakkila	Antti Asikainen	Antti Korpilahti	Juha Nurmi
Metsäntutkimus- laitos	Joensuun yliopisto	Metsäteho	Metsäntutki- muslaitos
PL 18	PL 111	PL 194	PL 44
01301 Vantaa	80101 Joensuu	00131 Helsinki	69101 Kannus
Puh. (90) 85705 310	(973) 1511	(90) 132 521	(968) 871 161
Faksi (90) 85705 361	(973) 151 3590	(90) 659 202	(968) 871 164

Abstract: Logging slash from regeneration cuttings as a source of fuel

Logging slash from regeneration areas is the major reserve of forest biomass for the production of renewable energy in Finland. Typically, about 52 m³ of unmerchantable stemwood and crown mass per hectare is left in a clear-cutting area of Scots pine, and 116 m³ per hectare in a clear-cutting area of Norway spruce. These figures correspond to 9,6 and 22,4 tons of oil equivalent per hectare. In addition to the abundant availability, logging slash is made attractive from the utilization point of view by moderate costs of recovery.

This paper reviews the studies carried out by Project 114 of the national Bioenergy Research Program in 1995. The following aspects were included: The effect of the recovery of logging slash for fuel on the work techniques and productivity of one-grip harvesters in clear-cutting of Norway spruce; off-road transport of logging slash with a forwarder equipped with an enlarged load space; chipping of logging slash; and outside storage of fuel crushed from fresh logging slash. The participating research organizations are the Finnish Forest Research Institute, Metsäteho and University of Joensuu.

1 TAUSTA

Päätihakkuualoille jää runsaasti teollisuuden raaka-ainekäyttöön soveltumattonta runkohukkapuuta ja latvusmassaa. Metsäntutkimuslaitoksen aikaisempien selvitysten mukaan tyypillisessä etelä-suomalaisessa päätihakkuuleimikossa, josta poistettavan runkopuun tilavuus on 200 m³/ha, hakkuutähde-teen määrä on männikössä 52 m³/ha ja kuusikossa 116 m³/ha. Lämpöarvoina vastaavat luvut ovat 9,6 toe/ha ja 22,4 toe/ha. Vaikka teknis-taloudelliset ja ekologiset tekijät rajoittavat talteenottoa, arvioidaan vuosittain olevan saatavilla ainakin 5 milj. m³ (1 milj. toe) hakkuutähdettä energiakäyttöön.

Metsiemme energiapuureservistä päätehakkuualojen tähde on tällä hetkellä taloudellisesti käyttöön otettavissa. Korjuutekniikka ei ole kuitenkaan Suomessa kehittynyt merkittävästi sitten 1980-luvun alun, jolloin teollisuuspuun korjuu tapahtui vielä metsurityönä. Sen jälkeen teollisuuspuun korjuu on koneellistettu perustuen nyt yksioteharvestereitten käyttöön. Tämä uusi toimintaympäristö luo uusia mahdollisuuksia myös hakkuutähteen talteenotolle, kun hakkuukoneitten ja siihen liittyen myös kuormatraktoreitten työskentelytekniikkaa voidaan mukauttaa tähteitten talteenottoa helpottamaan.

Energiapuun korjuun ja käytön suunnittelua varten tarvitaan kenttäkokein kerättyä ajantasaista tietoa ja siihen perustuva synteesi hakkuutähteitten talteenoton edullisimmasta korjuutekniikasta, kustannustasosta ja biomassakertymästä. Bioenergian tutkimusohjelmaan sisältyvien muitten hakkuutähteen korjuun kehityshankkeitten tuloksia voidaan tarkastella tämän selvityksen valossa.

2 TAVOITE

Hankkeen tavoitteena on empiirisiin tutkimuksiin kehittää uudistushakkuisiin integroitava, kustannuksiltaan edullinen hakkuutähteen korjuuketju, jota käyttäen myös polttohakkeen tai -murskeen laatu ja kertymä saadaan tyydyttävälle tasolle. Tutkittavan korjuuketjun peruselementtejä ovat:

- Tähteen kasaaminen harvesterityön yhteydessä erityistekniikkaa soveltaen
- Tähteen kuljetus tien varteen laajennetulla kuormatilalla varustettua kuormatraktoria käyttäen
- Tähteen haketus tai murskaus tienvarressa tai terminaalissa
- Tähteen tai siitä tehdyn hakkeen autokuljetus
- Tähteen varastointi murskaamattomana tai murskattuna

3 TOTEUTUS

Hanke toteutetaan Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksen (Pentti Hakila) koordinoimana. Toteuttavia laitoksia ovat Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasema (Juha Nurmi), Metsäteho (Antti Korpi-lahti) ja Joensuun yliopisto (Antti Asikainen ja Päivi Pulkkinen).

4 TEHTÄVÄT

1. Hakkuutähteen talteenoton vaikutus yksioteharvesterin tuottavuuteen (Metsäteho). Luku 6.1
2. Hakkuutähteen metsänkuljetus (METLA, Kannus). Luku 6.2
3. Hakkuutähteen murskaus (Joensuun yliopisto). Luku 6.3
4. Hakkuutähteen varastointi (METLA, Kannus). Luku 6.4
5. Synteesi hakkuutähteen polttoainepotentiaalista ja korjuutekniikan nykytilasta. Vuoden 1996 ohjelmassa vuoden 1995 määrärahalla.

5 RAHOITUS 1995

Rahoittaja	Mk
Bioenergian tutkimusohjelma	220 000
Metsätutkimuslaitos	256 000
Metsäteho	69 000
Yhteensä	545 000

6 TULOKSET

6.1 HAKKUUTÄHTEEN TALTEENOTON VAIKUTUS YKSIOTEHARVESTERIN TUOTTAVUUTEEN

6.1.1 Työtavat koneellisessa hakkuussa

Pääosa uudistushakkuista tehdään Suomessa yksioteharvesterilla. Sen tavanomainen työskentelytapa on *yksipuoleinen hakkuu*, jolloin kuljettaja kaataa puut koneen edestä ja toiselta sivulta niin, että puut kaatuvat jo hakatulta alueelta poispäin pystypuita kohti ja niitten sekaan. Puut karsitaan koneen edessä. Toinen, vähemmän käytetty työskentelytapa on *kaksipuoleinen hakkuu*, jossa puita kaadetaan leveämmältä alueelta koneen kummaltakin puolelta.

Tavanomaisessa hakkuussa pääosa tähteistä joutuu ja pyritäänkin saamaan hakkuukoneen ja kuormatraktorin ajouralle. Tällä ehkäistään maaperän vaurioitumista. Jos kuitenkin on tarkoitus kerätä hakkuutähteet talteen, niiden sotkeutuminen ajouralla hankaloittaa keruuta, vähentää talteensaatan tähteen määrää sekä heikentää hakkeen laatua kivien ja maa-aineksen vuoksi. Tämän ehkäisemiseksi voidaan soveltaa menetelmää, jossa hakkuutähte kerätään karsinnan yhteydessä kasoihin ajouran varteen. Tämä helpot-

taa talteenottoa sekä ehkäisee maa-aineksen sekoittumista hakkuutähteesseen.

Tutkimuksessa verrattiin tavanomaisen hakkuun sekä hakkuutähteidien keruuta helpottavan kasaavan työtavan (kasaava hakkuu) ajanmenekkiä ja tuottavuutta sekä yksipuoleisesti että kaksipuoleisesti työskenneltäessä.

6.1.2 Tutkimusmenetelmät ja aineistot

Metsäteho teki vuonna 1995 työntutkimuksen Savonlinnan, Rantasalmen sekä Mikkelin seuduilla viidellä kuusivaltaisella päätehakkuuleimikolla. Kussakin leimikossa hakattiin sekä tavanomaisella että kasaavalla menetelmällä. Kullakin työmaalla työskenteli ainoastaan yksi kuljettajakoneyhdistelmä, mutta tutkimukseen osallistui eri leimikoissa kaikkiaan kolme eri kuljettajaa.

Tutkimus tehtiin vertailevana aikatutkimuksena, jossa runkokohtainen tehoajanmenekki jaettiin seuraaviin työvaiheisiin: vienti ja kaato; karsinta ja katkonta; sekä siirtyminen. Koska siirtymisaika riippuu poistettavien puiden tiheydestä, muunnettiin kunkin palstan siirtymisajat vertailukelpoisiksi keskenään.

Tutkimuksessa hakattiin tavanomaisella menetelmällä 754 ja kasoihin hakkuuna 940 runkoa. Rungon keskijäretydet vaihtelivat palstoittain 477 dm^3 :sta 1222 dm^3 :iin.

Hakkuutähteen talteenoton vaikutusta yksiotehakkuukoneen ajanmenekkiin oli tutkittu aikaisemmin Metsäntutkimuslaitoksessa (Folia Forestalia 1994 (2): 113 - 122). Tässä tutkimuksessa oli mukana neljä eri kuljettajaa neljällä eri työmaalla. Tuottavuus mitattiin vain leimikko- mutta ei runkokohtaisena.

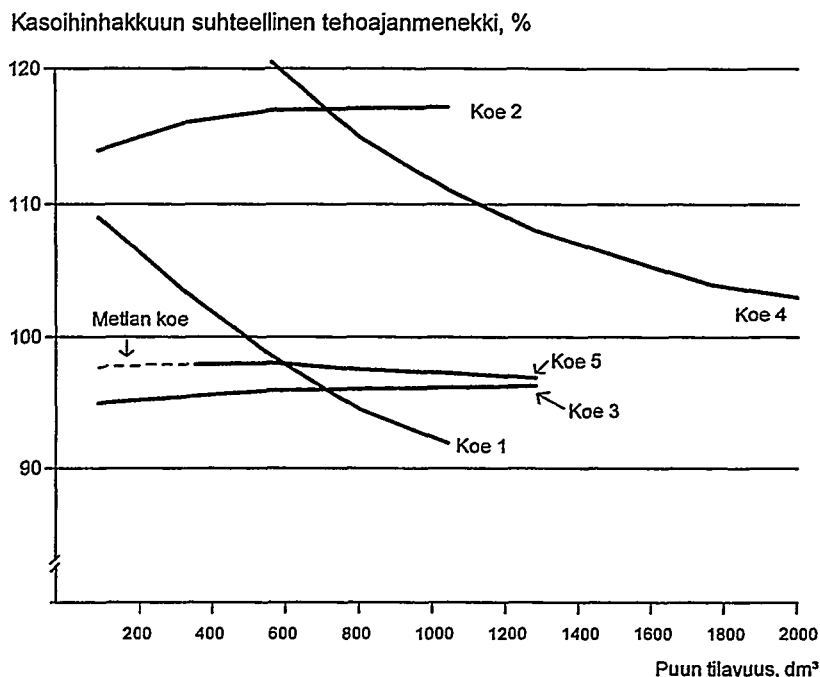
6.1.3 Hakkuutyön tuottavuus

Tutkimuksessa vertailtiin kasoihinhakkuuta tavonomaiseen hakkuuseen runkokohtaisesti. Vertailu tapahtui työmaittain samalla kuljettajakoneyhdistelmällä.

Yksipuoleinen hakkuu

Kasoihinhakkuu oli nopeampaa kolmella työmaalla mutta hitaampaa kahdella työmaalla kuin tavanomainen hakkuu (kuva 1). Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksessa yhdellä kuljettajalla, jonka aineisto oli tähän vertailuun soveltuva, kasoihinhakkuu oli nopeampaa.

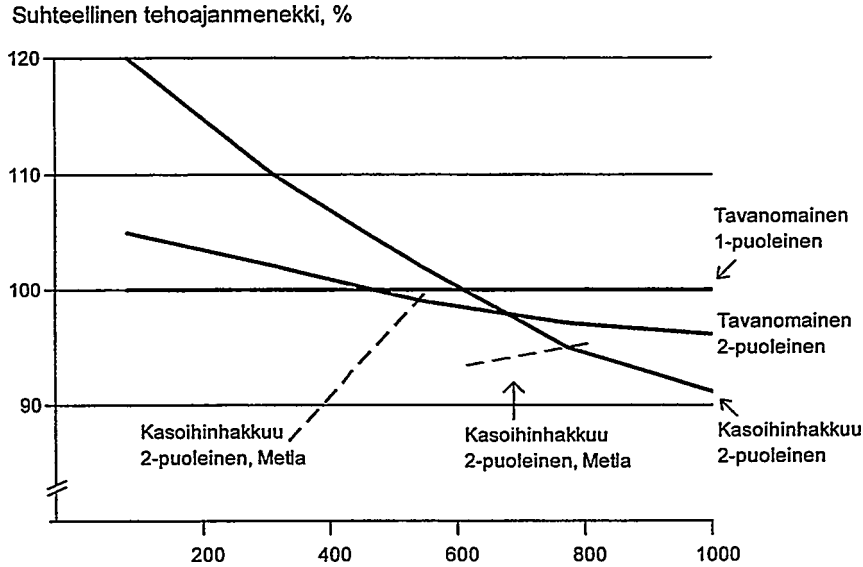
Vaikka kokeissa 1 ja 2 oli sama kuljettaja, tulokset poikkesivat toisistaan melkoisesti. Syynä voi olla, että kokeessa 2 puusto oli tiheämpää kuin kokeessa 1. Lisäksi kokeessa 2 puusto oli kasoihinhakkuun palstalla oksikkaampaa kuin tavanomaisen hakkuun palstalla. Kuljettajalla ei myöskään ollut kovinkaan paljon kokemusta kasoihinhakkuusta.



Kuva 1. Kasoihinhakkuun suhteellinen tehoajanmenekki Metsätehon kokeissa viidessä eri leimikossa, kun tavanomaisen hakkuun tehoajanmenekki kussakin leimikossa = 100. Metsäntutkimuslaitoksen aikaisempi koe merkitty katkoviivalla.

Leimikon 3 kuljettaja oli tottunut kasoihinhakkuuseen. Kohteissa 4 ja 5 oli yksi ja sama kuljettaja, jolla niinikään oli hyvä kokemus kasoihinhakkuusta. Kohteessa 4 puusto oli erittäin järeää, mikä hidasti rungon siirtelyä.

Selkein ero menetelmien välillä oli harvesteripään viennissä ja puun kaadossa, jossa tavanomainen hakkuu oli nopeampaa. Karsinnan ja katkonnan ajanmenekki oli kasoihinhakkuussa kolmessa leimikossa pienempi mutta kahdessa suurempi kuin tavanomaisessa hakkuussa. Syy saattaa olla esimerkiksi puutavaralajien eroissa, leimikkoeroissa tai työskentelyn nopeuksien ja apteerausajkojen vaihteluissa eri työskentelymenetelmillä. Jotta päästäisiin luotettavampiin tuloksiin, tarvittaisiin useampia toistoja ja kuljettajien kokemuksen lisäämistä kasoihinhakkuusta.



Kuva 2. Kaksipuoleisen hakkuun suhteellinen tehoajan menekki Metsätehon kokeissa, kun tavanomaisen yksipuoleisen hakkuun tehoajanmenekki = 100. Metsäntutkimuslaitoksen aikaisemmat kokeet merkitty katkoviivalla.

Kaksipuoleinen hakkuu

Kokeessa 1 hakattiin sekä yhdeltä että kahdelta puolelta, sekä tavanomaisella että kasoihinhakkuumenetelmällä. Kaksipuoleinen kasoihinhakkuu oli yleensä hitaampaa kuin tavanomainen kaksipuoleinen hakkuu. Yli 0,7 m³:n puilla kasoihinhakkuu oli kuitenkin nopeampaa. Pienillä puilla kummatkin kaksipuoleiset hakkuutavat olivat hitaampia kuin tavanomainen yksipuoleinen (kuva 2). Metsäntutkimuslaitoksen aikaisemmassa tutkimuksessa niissä kokeissa, joiden aikatutkimusaineisto soveltuu tähän vertailuun, kasoihinhakkuu oli nopeampaa kuin tavanomainen hakkuu.

6.2 HAKKUUTÄHTTEEN METSÄKULJETUS

6.2.1 Menetelmä ja aineisto

Hakkuutähtteen metsäkuljetusta käsittelevä osatutkimus on jatkoa Metsäntutkimuslaitoksessa vuonna 1994 tehdylle harvesterin työskentelytekniikkaa käsittelevälle tutkimukselle, jossa yksioteharvesterin työskentelytavan todettiin vaikuttavan tähtteen kasautumiseen. Tämän osatutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten hakkuukoneen työtapaa vaikuttaa tähtteen talteensaantiin ja kuljetuksen tuottavuuteen.

Tutkimus tehtiin 13,7 hehtaarin päätehakkuukuusikossa Sysmässä. Ainespuu hakattiin yksotharvesterilla syyskuussa 1994 käyttäen kolmea eri työtapaa: yksipuoleinen tavanomainen hakkuu, yksipuoleinen kasoillehakkuu sekä kaksipuoleinen kasoillehakkuu.

Hakkuutähteet ajettiin väliavarastolle raskaalla Kockums 850 kuormatraktorilla 10.-26.10.1994. Traktorin kuormatilaa oli pidennetty 80 cm. Pankkojen määrä oli nostettu neljästä seitsemään, ja kahden takimaisen pankon korkeutta oli korotettu 80 cm. Kuormatilan laskennallinen tilavuus oli 22 m³, mutta kuorman todellinen kehystilavuus oli kuormatilaa paljon suurempi. Kuormauksen helpottamiseksi kourasta oli poistettu ns. turparaudat, ja kouran sakaroita oli vahvistettu.

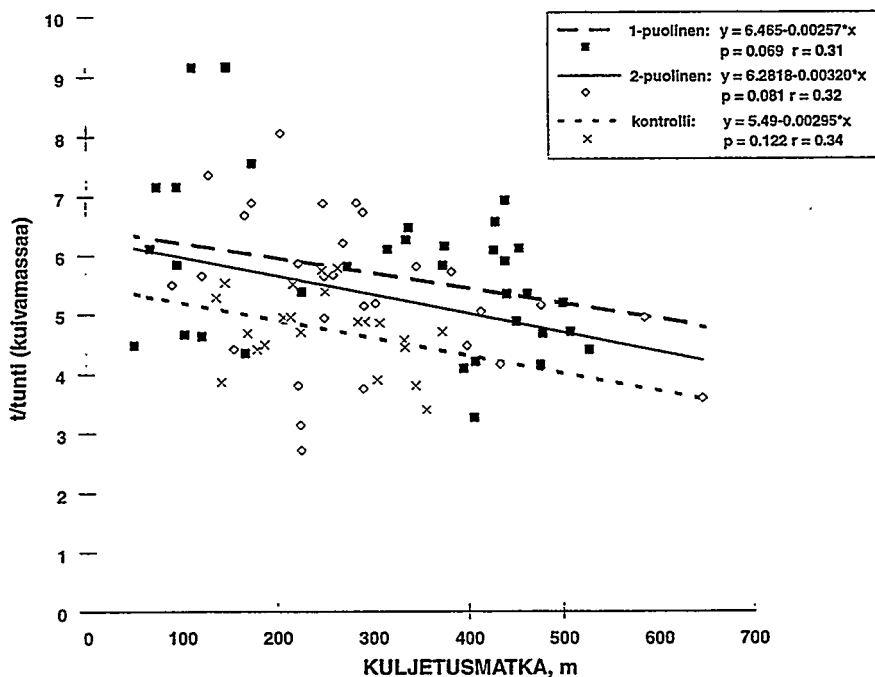
Hakkuutähdekuorman tuoremassa mitattiin Kajaani 60 kuormainvaa'alla. Jokaisesta kuormasta otettiin 5 kosteusnäytettä. Talteenoton tarkkuutta mitattiin punnitsemalla kuljetuksen jälkeen palstalle jäänyt hakkuutähde 2x2 metrin suuruisilta koealoilta, jotka muodostivat 30x30 metrin ruudukon.

Aika- ja tuotostutkimuksella selvitettiin hakkuutavan vaikutusta keruutyön tuottavuuteen sekä tehollisen työajan jakaumaan. Tutkimus käsitti 90 kuormaa. Tehollista työaikaa kertyi 65 tuntia.

6.2.2 Kuljetuksen tuottavuus ja tähteen kertymä

Harvesterin työtapa vaikutti merkittävästi hakkuutähteen kuljetuksen tuotokseen. Kasoista oli helpompi kerätä hakkuutähdekuorma kuin yliajetusta tähteestä. Hakkuutähteen kuljetuksessa saavutettu 3,9 kuivatonnin (8,9 t tuoremassaa) keskimääräinen kuormakoko on suurempi kuin aikaisemmissa hakkuutähteen kuljetusta käsittelevissä julkaisuissa (kuva 3).

Hakkuukoneen työtavan vaikutus hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuuteen ei ollut niin suuri kuin ruotsalaisissa tutkimuksissa, joissa tuottavuus on parantunut jopa 20-30 % kasaavan hakkuun ansiosta. Pitemmästä ajomatkastasta johtuen tässä tutkimuksessa suurin ero oli vain 11 %.



Kuva 3. Hakkuutähteen kuljetuksen tuottavuus kuivatonneina tehotuntia kohti yksipuoleisen tavanomaisen hakkuun (kontrolli), yksipuoleisen kasaavan hakkuun ja kaksipuoleisen kasaavan hakkuun jäljiltä Metsäntutkimuslaitoksen kokeissa.

Hakkuukoneen työtapaa vaikutti huomattavasti myös kertymään. Koneen alle poljetuista tähteistä saatiin talteen tavanomaisen hakkuun jälkeen 58 %, yksipuolisen kasaavan hakkuun jälkeen 67 % ja kaksipuolisen kasaavan hakkuun jälkeen 79 %, vaikka viimeksi mainitulla palstalla tähteen määrä hehtaarilla oli alhaisempi kuin muilla palstoilla. Suurempi kertymä alentaa kustannuksia korjuun eri vaiheissa mm. koneitten siirtymisten vähenemisen ansiosta. Lisäksi välivarastojen koko kasvaa, mikä puolestaan tehostaa hakkurin ja kaukokuljetuskaluston käyttöä ja keventää organisaation kustannuksia.

6.3 HAKKUUTÄHTTEEN HAKETUS

6.3.1 Menetelmä ja aineisto

Tutkimuksen kohteena oli kolme välivarastohakkuria: Pekka Lahden pieni metsätraktorihakkuri (Ahlström R97 rumpuhakkuri), Pekka Lahden kuorma-autoalustainen hakkuri (Ahlström 910 rumpuhakkuri) ja Matti Hämäläisen MOHA-hakkuri. Aineiston määrä oli seuraava:

- Ahlström R97: yksi kuorma-autollinen (25 i-m³)
- Ahlström 910: yksi rekallinen perävaunuineen + yksi perävaunullinen (160 i-m³)
- MOHA-hakkuri: 5 kontillista (175 i-m³)

Pekka Lahden hakkurit hakettivat tähteen suoraan kuorma-autoon. Haketus keskeytyi hakkeen kuljetuksen ajaksi. MOHA-hakkurilla hakkuutähdettä tehtiin vaihtokontteihin, joita kuljetusrekka ajoi polttoon kaksi kerrallaan. Matkaa lämpölaitokselle oli noin 30 km, eikä konttien kuljetus keskeyttänyt hakkurin toimintaa.

6.3.2 Haketuksen tuottavuus ja hakkeen laatu

Haketuksen käyttötunteihin sisällytettiin MOHA-hakkurilla tehoajan lisäksi alle 15 minuutin keskeytykset sekä konttien vaihtamiseen kulunut aika (ajo työmaalta kääntöpaikalle, täyden kontin lasku maahan, tyhjän kontin nosto autoon ja ajo työmaalle). Kontin vaihto kesti keskimäärin 19 minuuttia. Ahlström-hakkureista saatiin määritettyä aineiston vähäisyyden vuoksi vain tehotuntituotokset.

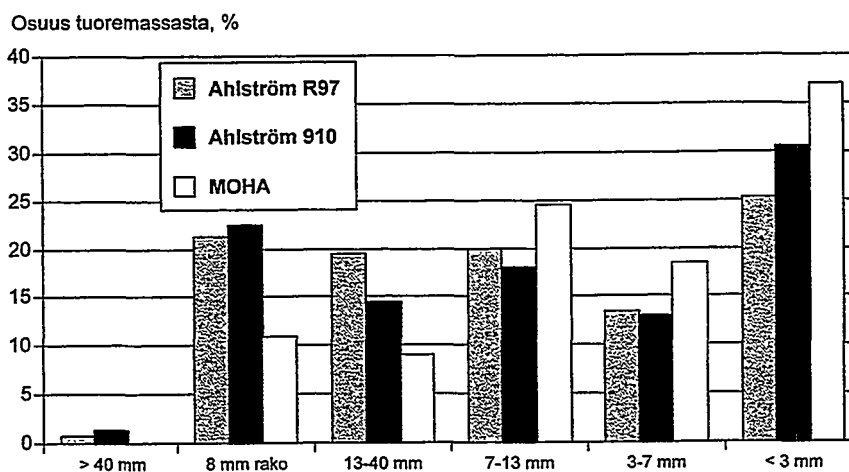
Taulukko 1. Kolmen hakkurin tuottavuus hakkuutähteen haketuksessa.

	Ahlström R97	Ahlström 910	MOHA
Tehotuntituotos:			
i-m ³	34	65	29
tuoretonnia	14,6	23,6	8,0
kuivatonnia	7,1	11,5	4,7
Käyttötuntituotos:			
i-m ³	-	-	23
tuoretonnia	-	-	6,4
kuivatonnia	-	-	3,7

Hakeirtokuutiometrin tuottamiseksi tarvittiin Ahlström R97 hakkurilla 6 syöttötaakkaa, Ahlström 910 hakkurilla 2,5 syöttötaakkaa ja MOHA-hakkurilla 7 syöttötaakkaa. Ahlström 910:n suuri syöttöpöytä helpotti syöttöä niin, että suuriakin taakkoja voitiin nostella hakkuriin. Hakkeen kosteus ja tuhkan määrä ilmenevät seuraavasta asetelmasta. Hakkeen palakoko nähdään kuvasta 4.

	Ahlström-hakkureilla tehty koe	MOHA-hakkurilla tehty koe
Hakkeen kosteus, %	51,1	42,0
Hakkeen tuhkapitoisuus, %	2,6	2,5

Palakokojakaumat



Kuva 4. Hakkuutähteestä kolmella eri hakkurilla tehdyn polttihakkeen palakokojakauma Joensuun yliopiston kokeissa.

6.4 HAKKUUTÄHDEMURSKKEEN VARASTOINTI

6.4.1 Aineisto ja menetelmä

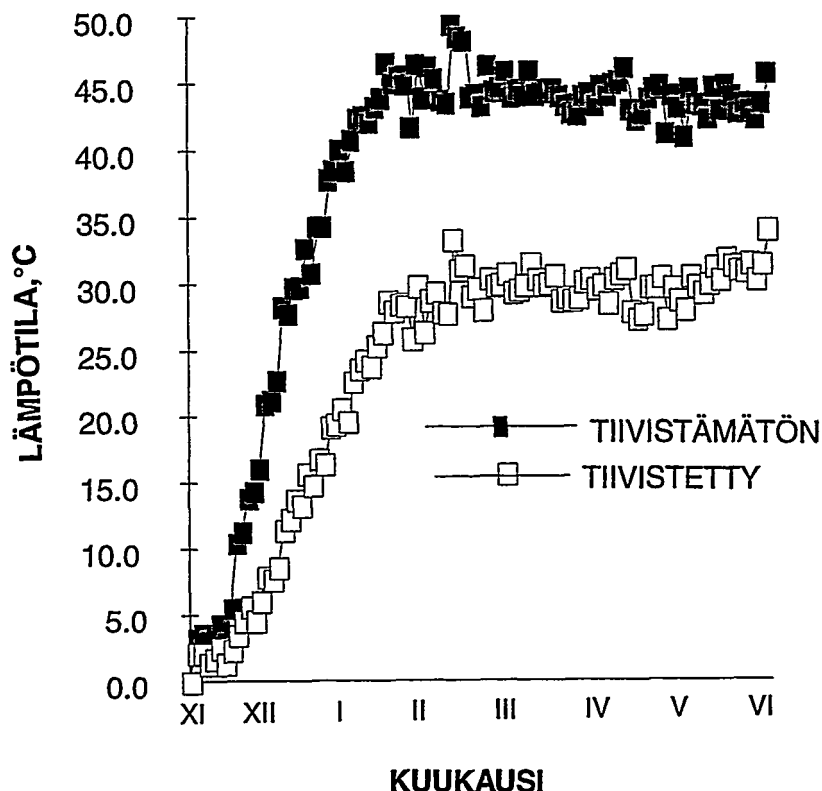
Kuusen hakkuutähteestä tehdyn polttomurskeen varastointia tutkittiin syyskuusta 1994 kesäkuuhun 1995 Enso-Gutzeit Oy:n Heinolan fluting tehtaassa varastoalueella. Tuore hakkuutähde murskattiin Morbark 1200 vasaramurskaimella. Murskeesta kasattiin 175 tuoretonnin varastoaukko. Puolet aumasta tiivistettiin telaketjutraktorilla. Biomassan hajoamista seurattiin mittaamalla auman lämpötila 0,5, 1,0 ja 2,0 metrin syvyyksillä. Lisäksi määritettiin murskeen kosteus sekä hiilen ja vedyn pitoisuudet kokeen alussa ja lopussa.

6.4.2 Murskeen säilyminen

Tuoreen hakkuutähteen kosteus oli kokeen alussa 56,0 %. Tiivistämättömän murskeen kosteus oli kokeen lopussa 65,9 % ja tiivistetyn 64,6 %. Kosteuden lisääntyminen johtui sadeveden ja lumen pääsystä aumaan sekä pieneltä osalta myös biomassan hajoamisesta syntyneestä vedestä. Tiivistämisen vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Auman pinnan lämpötila kohosi varastoinnin alussa nopeasti. Ajan myötä lämpötilaerot kuitenkin tasaantuivat. Kuvasta 5 nähdään, että tiivistetyn ja tiivistämättömän auman lämpötilojen ero oli noin 15 °C. Ero aiheutui siitä,

että tiivistämisen ansiosta hapen pääsy aumaan ja mikrobitoiminnan vilkastuminen estyivät. Aiempien tutkimusten perusteella on pääteltävissä, että kuiva-ainetappiot ovat pienemmät tiivistetyssä aumassa.



Kuva 5. Hakkuutähdemurskeen lämpötilan kehittyminen tiivistämättömässä ja tiivistetyssä aumassa syksystä 1994 kesään 1995 Metsäntutkimuslaitoksen varastointikokeessa.

Hakkuutähdemurskeen hiilipitoisuus oli tuoreena 50,0 % ja auman purkuhetkellä 51,2 %. Varastoinnin vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä, mutta käsittelyiden välillä ei ollut eroa.

Tuoreen hakkuutähteen vetypitoisuus oli 6,6 %. Yhdeksän kuukauden varastoinnin jälkeen pitoisuus oli 5,7 %. Vedyn väheneminen on selitettävissä haihtuvien aineitten katoamisella. Tämä hävikki selittää myös jossain määrin hiilen suhteellisen osuuden kasvua. Varastoinnin vaikutus vetypitoisuuteen oli tilastollisesti merkitsevä, mutta käsittelyn vaikutus ei ollut.

Korkeasta loppukosteudesta johtuen murskeen tehollinen lämpöarvo on talven yli tapahtuneen varastoinnin jälkeen alhainen. Pienille polttolaitoksille

näin kostean materiaalin hyväksyminen lienee mahdotonta. Siksi hakkuutähteiden pitkäaikaista varastointia murskattuna tai hakettuna tulee välttää. Hakkuutähteet tulee varastoida hakettamattomina mahdollisimman pitkään, jolloin kuiva-ainetappiot pysyvät pieninä, ja usein hakkuutähteet lisäksi näin varastoituna kuivuvat. Hakkeena varastoinnin tulisi rajoittua muutamaan viikkoon. Tiivistämisestä saatu etu on niin pieni, ettei tiivistäminen liene kustannussyistäkään perusteltua.

7 VUODEN 1996 TEHTÄVÄT

Vuoden 1995 osatutkimuksista laadittavat tutkimusjulkaisut viimeistellään, ja niitten pohjalta laaditaan katsaus hakkuutähteen polttoainepotentiaalista ja korjuutekniikan nykytilasta.

Osallistutaan IEA Bioenergy/Task XII/Activity 1.2 (Harvesting) toimintaan, mukaan lukien Suomessa järjestettävä vuosikokous ja retkeily.

8 JULKAISUT

Asikainen, A. 1995. Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. University of Joensuu, Faculty of Forestry. Research Notes 38. 85 s.

Kärhä, K. 1994. Hakkuutähteiden talteenotto osana puunkorjuun kokonaisurakointia. Metsäteknologian syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 46 s.

Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. Folia Forestalia 1994 (2). s. 113 - 122.

Nurmi, J. 1995. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus päätehakkuusikoissa. Käsikirjoitus Folia Forestalia -sarjaan.

Nurmi, J. 1995. The effects of storage on logging residue fuel quality. Danish forest and Landscape Research Institute. Research Report. Painossa.

Nurmi, J. 1995. The effect of whole-tree storage on the fuelwood properties of short-rotation *Salix* crops. Biomass and Bioenergy Vol 8, Nro 4. s. 245 - 249.

Nurmi, J. 1995. Hakkuutähteen korjuu päätehakkuukuusikoista. Teoksessa: *Nurmi, J. & Heino, E.: Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570.*

Nurmi, J. 1995. Hakkuutähteet energiaksi. Lestinjoki 20.12.1995.

Pulkkinen, P. & Asikainen, A. 1996. Puupolttoaineen murskaaminen Morbark 1200 murskaimella. Käsikirjoitus. 13 s.

HAKKUUTÄHTEIDEN JA KOKOPUIDEN NIPUTUS JA NIPPUJEN KÄSITTELY - 115

Heikki Kaipainen, Veli Seppänen, Samuli Rinne
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Abstract: Bundling of harvesting residues and whole-trees and the treatment of bundles

The conditions on which the bundling of the harvesting residues from spruce regeneration fellings would become profitable were studied. The calculations showed that one of the most important features was sufficient compaction of the bundle, so that the portion of the wood in the unit volume of the bundle has to be more than 40 %.

The tests showed that the timber grab loader of farm tractor was insufficient for production of dense bundles. The feeding and compression device of the prototype bundler was constructed in the research and with this device the required density was obtained. The rate of compaction of the dry spruce felling residues was about 40 % and that of the fresh residues was more than 50 %. The comparison between the bundles showed that the calorific value of the fresh bundle per unit volume was nearly 30 % higher than that of the dry bundle. This means that the treatment of the bundles should be done of fresh felling residues.

Drying of the bundles succeeded well, and the crushing and chipping tests showed that the processing of the bundles at the plant is possible. The treatability of the bundles was also excellent.

By using the prototype, developed in the research, it was possible to produce a bundle of the fresh spruce harvesting residues, the diameter of which was about 50 cm and the length about 3 m, and the rate of compaction over 50 %. By these values the reduction target of the costs is obtainable.

1 TAUSTA

Uudistushakkuun yhteydessä kuusipalstalle jää hakkuutähteitä 50 - 55 % hakatun runkopuun määrästä, joka koostuu puiden oksista ja latvoista. Hak-

kuutähteiden korjaaminen hyötykäyttöön on ollut aikaisemmillä menetelmillä kallista. VTT Energia aloitti kehitellä uutta ja kannattavampaa menetelmää, *niputusmenetelmää*, hakkuutähteiden ja myös pienirunkoisen kokopuun talteenottamiseksi. Menetelmää on jo aiemmin tutkittu mm. Ruotsissa.

Hakkuutähteiden kannattavan hyötykäytön suurimpana esteenä on niiden kerääminen palstalta. Hakkuutähteet tallautuvat ja likaantuvat työkoneiden alla ja niiden löytäminen lumiseen aikaan on usein vaikeaa. Lisäksi manuaalisen hakkuun jälkeen erilliskasaus on ollut epätaloudellista. Tilannetta on osittain parannettu uudistushakkuussa käyttöön otetulla hakkuutähteen kasauksella koneellisen ainespuun hakkuun yhteydessä, mikä ei kuitenkaan täysin poista kivistä ja kuntasta aiheutuvia ongelmia. Hakkuutähteen ja pienirunkoisen kokopuutavaran kuljetustiheys on jäänyt pieneksi. Se on nostanut niiden kuljetuskustannukset korkeiksi. Lisäksi materiaalien kaukokuljetuksessa on käytettävä erikoiskalustoa.

Niputusmenetelmän avulla pyritään hakkuutähteet ja pienirunkoiset kokopuut saamaan sellaiseen ”pakettiin”, että niiden käsitteleminen ja kuljettaminen voidaan suorittaa edullisesti puutavaran käsittelyyn ja kuljettamiseen tarkoitetuilla koneilla.

2 TAVOITE

Tavoitteena oli alentaa hakkuutähteiden käsittely- ja kuljetuskustannuksia 10 %:lla ja samalla vähentää hakkuutähteiden sekaan joutuvien epäpuhtauksien määrää niin, että hakkurin teräkustannukset alenevat 20 %.

3 TOTEUTUS

Projekti toteutettiin vuonna 1995 VTT Energian tuotantoteknologiat tutkimusalueen koordinoimana.

4 TEHTÄVÄT

Projektin osatehtävät olivat:

1. Niputuksen teknislogistinen ja taloudellinen tarkastelu.
2. Tiivisteltään ja kooltaan erilaisten hakkuutähde- ja kokopuunippujen valmistus manuaalisesti palstalle kuivumis- ja käsittelytutkimuksiin.
3. Näiden nippujen kuivumis- ja biojakeiden talteensaantitutkimus.

4. Näiden nippujen käsittely- ja kuljetustutkimus. Nippujen vastaanotto, haketus ja polton erityistarpeiden selvitys erillisine kokeineen.
5. Tavoiteltavien nippujen sitomiseen soveltuvan koelaitteen suunnittelu ja rakentaminen sekä testaaminen.
6. Raportointi ja jatkosuunnitelman laadinta.

5 RAHOITUS

Rahoittaja	Vuonna 1995
Bioenergian tutkimusohjelma	330 000 mk
Biowatti Oy	100 000 mk
Outokummun Metalli Oy	10 000 mk
VTT Energia	110 000 mk
Yhteensä	550 000 mk

6 TULOKSET

6.1 HAKKUUTÄHDENIPPUJEN KUSTANNUSTARKASTELU

Projektissa tutkittiin ehtoja, joilla kuusi-uudistushakkuun hakkuutähteiden niputtaminen muodostuisi kannattavaksi hakkuutähteiden käsittelytavaksi niin metsä- kuin maantiekuljetustenkin kannalta. Asiaa lähestyttiin vertailemalla aiempien hakkuutähteiden keräily- ja kuljetustapojen ajanmenekkejä uudentyypoiseen nippukäsittelyketjuun. Koska tehdyt ajanmenekki-vertailut eivät antaneet vakuuttavaa kuvaa uuden menetelmän kannattavuudesta, tutkittiin laskennallisesti, millä ehdoilla hakkuutähteiden nippukäsittely olisi kannattavaa. Laskennat osoittivat, että yksi tärkeimmistä seikoista oli saada nippu tarpeeksi tiiviiksi eli nipun kehystilavuudesta täytyi olla hakkuutähteitä 40 - 50 % ennenkuin menetelmää kannattaisi jatkokehittää. Seuraavassa jälkimmäisen kustannustarkastelun tuloksia.

6.1.1 Metsäkuljetus

Metsäkuljetuksessa voidaan käyttää nykyistä kuorma- tai maataloustraktorikalustoa sellaisenaan. Koska niput muistuttavat käsittelyominaisuuksiltaan tavallista pyöreää puutavaraa, voidaan käyttää tavanomaista puutavarakouraa. Kuormatilan muoto on kuitenkin hiukan epäkäytännöllinen tähän tarkoitukseen. Tavallisesti kuormatilat ovat noin 4 metriä pitkiä. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi kolmen metrin nippua ei pysy kuormassa peräkkäin.

Kuormatilan jatkaminen olisi tietenkin mahdollista, mutta käytännössä joustavampi tapa olisi kasvattaa nipun pituutta.

6.1.2 Kaukokuljetus

Vetoauton kuormatilan pituus on noin 7 metriä ja perävaunun 10,5 metriä. Lain puitteissa perävaunuun sopisi periaatteessa 11 metrin kuorma eli kaksi 5,5 metrin nippua. Tämä saattaisikin olla sopiva nipun pituus sekä metsäkuljetuksen että kaukokuljetuksen kuormatilan käytön optimoinnin kannalta. Pitkän nipun koossapysyminen on kuitenkin epävarmaa ja paino on myöskin liian suuri pieniä kuormaimia ajatellen. Näin ollen seuraavaksi paras vaihtoehto eli 3,5 metriä olisi sopivampi käytännön toiminnassa. Tällöin metsäkuljetuksessa kuormatila on vajaakäytössä, mutta kaukokuljetuksessa saavutetaan täysi hyötytilavuus. Kuljetusten kannalta optimaalinen nipun halkaisija on 80 cm, edellyttäen riittävän vahvaa sidontaa koossapysymisen varmistamiseksi. Tällöin nippuja sopii 3 vierekkäin ja päällekkäin. Ne täyttävät koko käytettävissä olevan tilan, jolloin kuormakoko 50 %:n tiiviydellä olisi 40 m³. Käytännössä on sekä traktorikuormaimien voimia että niputtajien toimintaa ajatellen turvallisempaa tyytyä halkaisijaltaan 60 cm:n nippuihin. Tällaisia nippuja voidaan käsitellä ainakin auton kuormaimella kahta kerrallaan.

6.1.3 Polttoaineen käsittely laitoksella

Edullisinta on syöttää niput kaukokuljetusauton kuormaimella suoraan murskaimeen tai hakkuriin. Näin vältetään nippujen turhalta siirtelyltä. Jos varastoja halutaan käyttää, nippujen erillinen siirtäminen murskaimelle tuo kuorma-autolla lisähintaa 13 mk/m³, traktorilla ja perävaunulla 10 mk/m³ ja kauhakuormaajalla 5 mk/m³.

Murskaimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: hidas- ja nopeakäyntisiin. Hidaskäyntisen murskaimen suurin etu on siinä, ettei se välttämättä vaadi syöttölaitetta, vaan tavara voidaan kipata tai syöttää suoraan kitaan, josta se omalla painollaan painuu teriä vasten. Irrallisen hakkuutähteen tai pienpuun syöttäminen tällaiseen kitaan vaatii kuitenkin huolellisuutta holvaantumisriskin vuoksi. Käyttövarmuus ja vieraiden esineiden sieto on myös hyvä. Haittapuolena tällä murskaimella on alhainen kapasiteetti 20 m³/h.

Nopeakäyntiset murskaimet voivat olla joko liikkuva- tai kiinteäteräisiä. Kiinteäteräiset ovat tähän tarkoitukseen parempia, sillä liikkuväteräisillä vasaramurskaimilla on taipumus jäädä jauhamaan samaa materiaalia monta kierrosta, mikä kuluttaa energiaa ja pienentää kapasiteettia. Suurilla nopeakäyntisillä kiinteäteräisillä murskaimilla saattaa olla hyvinkin suuri kapasiteetti, esimerkiksi 100 tonnia tunnissa. Vaikka täyttä kapasiteettia ei tarvittaisikaan, on siitä hyötyä ainakin syötön sujuvuuden kannalta. Nopeakäyn-

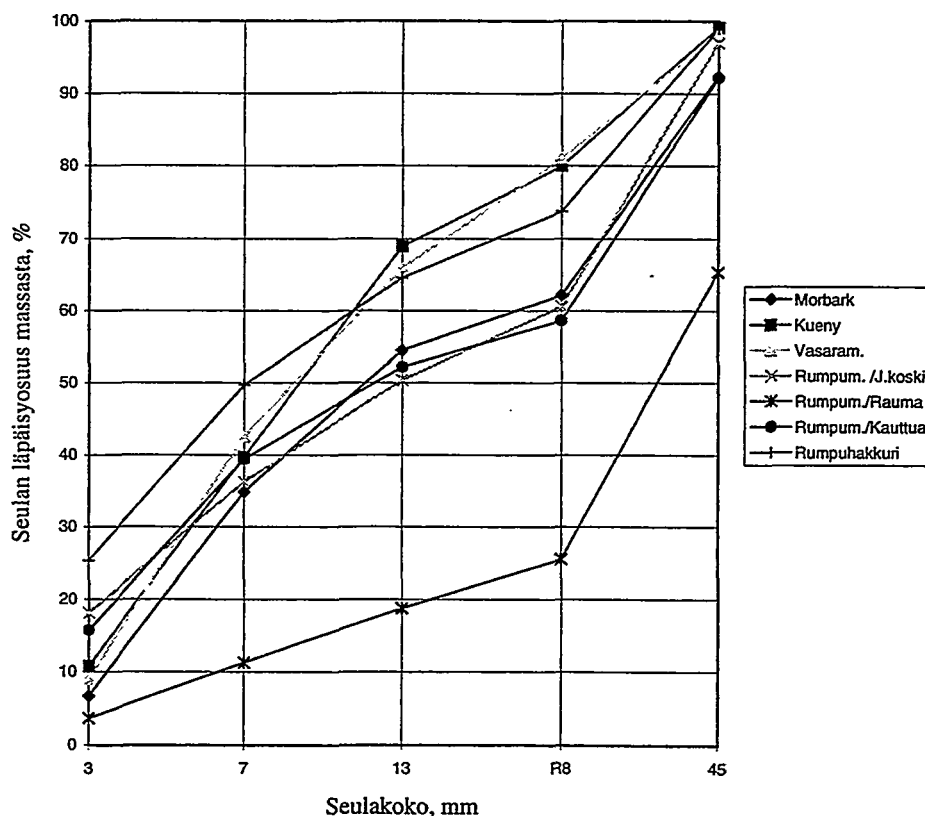
tisiin murskaimiin voidaan rinnastaa myös ajoneuvojen päälle rakennetut, tehokkaat rumpuhakurit.

Löysien nippujen murskauksessa kokeiltiin useaa murskainta ja yhtä rumpuhakkuria. Hidaskäyntisillä rumpumurskaimilla tehdyt kokeet eivät antaneet kapasiteeteista käsitystä, koska niissä murskattiin vain yksi nippu kulakin murskaimella. Rumpumurskaimia käytettäessä murskaimen syöttötasku on oltava täynnä tavaraa, jotta murskaimesta saadaan täysi taloudellinen hyöty. Silloin murskaimen kapasiteetti on parhaimmillaan, koska murskattavan materiaalin päällä on tarpeeksi painoa. Rumpumurskaimella saadaan polttoa varten hyvää raekokoa, jos murskain on alunperin suunnitellaan tätä tarkoitusta varten. Murskaimien heikkoutena oli huono kyky pätkiä sidontanarut, jotka näin jäivät hyvinkin pitkiksi, jatkokuljettimiin mahdollisesti kietoutuviksi naruiksi.

Nopeakäyntinen vasaramurskain soveltui hyvin nippujen murskaukseen. Kapasiteetit olivat nippujen löysyyden takia ”vain” 13 - 17 m³/h, mutta narut katkeilivat jo sellaisiksi, että niistä ei ole haittaa jatkoprosesseissa.

Parhaimpaan kapasiteettiin ylettiin ajoneuvon päälle rakennetulla rumpuhakurilla, jolla saavutettiin tiiviillä tuoreella nipulla kapasiteetti 77 m³/h ja kuivalla 52 m³/h. Hakkeen laatu oli hyvää. Paalausnaru ja muovivanne pätkiintyivät lyhyiksi (noin 15 cm). Hakkurissa oli juuri teroitettut terät. Hakkurin käyttöä puoltaa myös se, että haketus tapahtuu aina nipun päästä, jolloin keppien muodostuminen jää melko vähäiseksi, mikä esim. rumpumurskaimella saattaa olla runsastakin.

Kuvassa 1 esitetään eri murskaimilla saatujen materiaalien seulonta-analyysien tulokset.



Kuva 1. Murskaus- ja haketuskokeiden raekokoanalyysitulokset.

6.1.4 Nippujen tiiviiden vaikutus koko tuotantoketjun kustannuksiin

Taulukossa 1 esitetään eri niputusmenetelmien kustannuksia ennakoarvioiden mukaan. Niputtajan työnopeuden on oletettu määräytyvän kuormain-työskentelyn mukaan, joka puolestaan on arvioitu hakkuutähteiden kuormaamisen ja hakkurin syöttämisen ajanmenekkien mukaan.

Taulukossa 2 on eri menetelmien kustannukset 250 m metsäkuljetus- ja 50 km kaukokuljetusmatkalla. Hakkuutähteiden lämpöarvoksi on oletettu 2,2 MWh/m³. Vertailun vuoksi mukana on irrallaan korjuu samoilla periaatteilla laskettuna kuin myös konttihakkuriautoon perustuva ketju. Kaikissa tapauksissa nippujen tiiviydeksi on oletettu 50 %. Kuvat 2 esittävät tiiviiden ja niputusmenetelmien vaikutusta koko ketjun kustannuksiin. Näiden lähtötietojen perusteella nippujen tiiviiden tulisi siis olla 40 - 50 %, jotta menetelmä olisi kilpailukykyinen parhaimpien tunnettujen kilpailevien menetelmien kanssa.

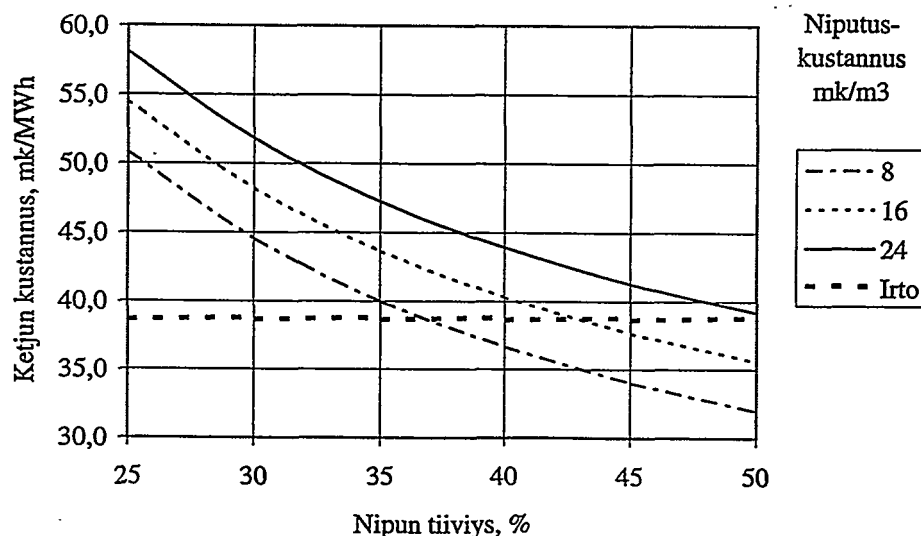
Taulukko 1. Eri niputusmenetelmien vertailua uudistushakkuussa.

		Erillisniputtajat erikseen käytettynä		Erillisniputtajat integroituna lähikuljetukseen	
		Kt	Mt	Kt	Mt
Hinta	mk	200 000	200 000	200 000	200 000
Paino	kg	5 000	5 000	5 000	5 000
Käyttöikä	a	10	10	10	10
Käyttöaika	h/a	500	500	300	300
Tuntikustannus	mk/h	68	68	113	113
Maksiminopeus	m ³ /h	27	27	27	27
Syöttönopeus	m ³ /h	21	14	21	14
Pääomakustannus	mk/m ³	3	5	5	8
Peruskoneen-kustannus	mk/m ³	12	9	12	9
Sidontamateriaali	mk/m ³	3	3	3	3
NIPUTUSKUST. YHT.	mk/m ³	19	17	21	20

Kt = kuormatraktori, Mt = maataloustraktori

Taulukko 2. Eri menetelmien kustannukset 250 m:n metsä- ja 50 km:n kaukokuljetusmatkoilla.

Ketjujen kustannukset, mk/m ³	Erillisniputtajat erikseen käytettynä		Erillisniputtajat integroituna lähikulj.		Puristus kuorma- tilaan	Hakettava konttiauto	Irto
	Kt	Mt	Kt	Mt			
Hakkuulisä	3	3	3	3	3	3	3
Kantohinta	5	5	5	5	5	5	5
Metsäkuljetus	17	12	17	12	27	27	27
Niputus	19	17	21	20	-	-	-
Kaluston siirrot	10	6	5	3	5	5	5
Kaukokuljetus	27	27	27	27	32	43	40
Murskaus (Haketus)	5 -	5 -	5 -	5 -	5 (33)	- -	5 (33)
Yhteensä	86	75	83	75	77 (105)	83	85 (113)
mk/MWh	39	34	38	34	35 (48)	38	39(51)



Kuva 2. Niputuskustannusten ja nipun tiiviiden vaikutus koko ketjuun.

6.2 HAKKUTÄHDENIPPUJEN KUIVUMIS- JA KÄSITTELY-TUTKIMUS

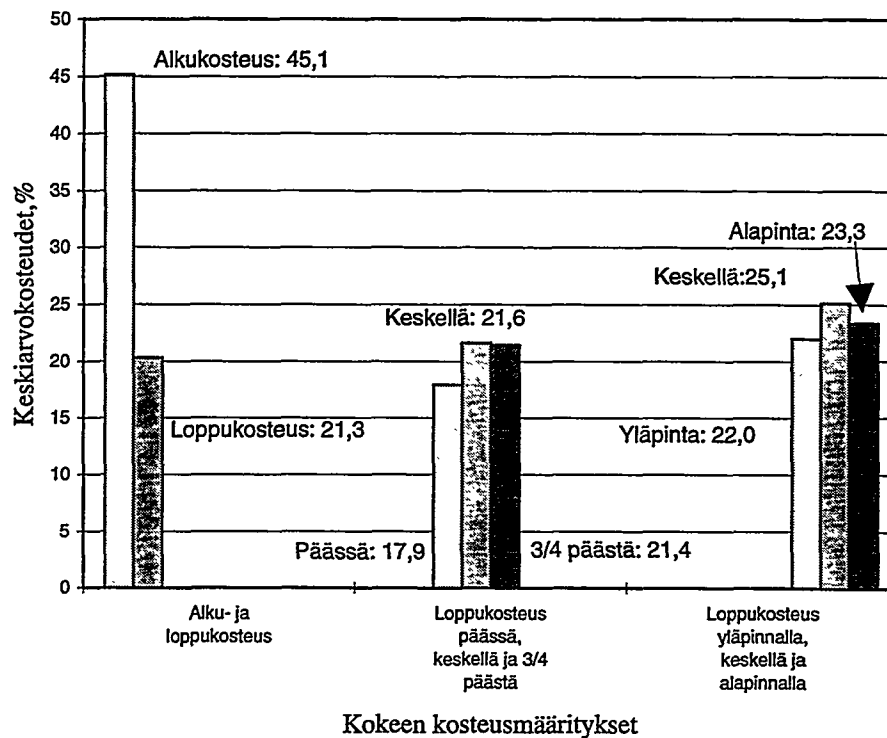
Keväällä 1995 tehtiin nippujen käsittely- ja varastointikokeita varten 16 nippua. Niput tehtiin tuoreista kuusen hakkuutähteistä. Nippuja tehtiin kolme eri kokoa: ensimmäisen sarjan halkaisija noin 50 cm ja pituus 3,5 m, toisen sarjan halkaisija 80 cm ja pituus 3,5 m ja kolmannen sarjan halkaisija noin 80 cm ja pituus 5,5 m.

Maataloustraktorin kuormaimella puristamalla ei pystytty valmistamaan tarpeeksi tiiviitä nippuja. Tiiviysprosentteja laskettaessa käytettiin hakkuutähteen kuivatuoretiheytenä 425 kg/m^3 ja kunkin nippulajin kosteutena nippuryhmälle saatua kosteusprosentin keskiarvoa. Sarjan I ja II nippujen ($\varnothing$ 51 cm - 70 cm) tiiviysprosentit olivat 19 - 27 % kun ne sarjan III nipuilla ($\varnothing$ 75 cm - 102 cm) olivat 20 - 25 %. Ylipitkien nippujen ($\varnothing$ 75 cm - 89 cm) tiiviudet olivat 19 ja 20 %.

Hakkuutähdeniput jätettiin kuivumaan palstalle. Nippuja ei asennettu tiettyihin suuntiin ilmansuuntiin nähden, vaan ne jätettiin valmistuspaikalle.

Muutamista nipuista otettiin kosteusnäytteet kuivumiskokeen alussa ja lopussa. Kokeen alussa (22.5.1995) kosteusnäytteet otettiin nipun päistä. Kokeen lopussa (8.8.1995) ne otettiin 10 cm:n etäisyydeltä nipun päästä, nipun keskeltä ja 3/4 nipun toisesta päästä. Kokeen lopussa otettiin samoista nipuista kosteusnäytteet myös nippujen eri kerroksista eli nippujen yläpinnalta, keskeltä ja maata vasten olleelta alapinnalta. Kuvassa 3 esitetään kui-

vumiskokeiden keskiarvotulokset. Kuvassa esitetään nippujen alku- ja loppukosteuksien keskiarvot sekä loppukosteuskeskiarvot nipun pituus- ja poikkisuunnassa.



Kuva 3. Nippujen alku- ja loppukosteuksien keskiarvot sekä loppukosteuskeskiarvot nippujen pituus- ja poikkisuunnassa

6.3 ERI NIPUTUSLAITEMAHDOLLISUUKSIEN KARTOITUS

Projektin eräänä tavoitteena oli kehittää laite tarpeeksi tiiviin, pitkulaisen ja halkaisijaltaan pyöreän nipun valmistamiseksi. Tavoitteena oli siten edistää nippujen kuljetus- ja jakelulogistiikkaa. Tämän johdosta ideoitiin laitemahdollisuuksia, jotka voisivat tulla kysymykseen. Niputtajat jaettiin hakkuukoneen yhteydessä toimiviin ja erillisiin paalaimiin ja niputtajiin (tarkemmat kuvaukset löytyvät tutkimuksen loppuraportista).

Hakkuukoneniputtajat:

- kaatopäähän rakennettava kouraniputtaja ja
- hakkuukoneen edessä työnnettävä tai perässä vedettävä niputtaja.

Erillispaalaimet ja - niputtaja:

- mäntäpaalain,
- sovellettu kovapaalain,
- sovellettu pyöröpaalain,
- hakkurin syöttölaitteeseen ja erillispuristukseen perustuva niputtaja sekä
- hakkuutähteet kuormatilaan sullova laite.

6.4 NIPUTUSKOELAITE JA SILLÄ TEHDYT KOENIPUT

6.4.1 Niputuslaitteen rakenne

Kustannus- ja laitevaihtoehtotarkastelujen perusteella päädyttiin siihen, että hakkuutähdenipun täytyy muistuttaa ”tukkia”, jotta nippujen käsittely sekä metsä- että maantiekuljetuksissa olisi mahdollista samoilla kalustoratkaisuilla kuin millä ainespuidenkin käsittely tapahtuu. Lisäksi pitkänomaisten, tiiviiden nippujen jatkokäsittely ja jakeluratkaisut tehostuvat ja yksinkertaistuvat. Niputuslaitteella oli siis pystyttävä tekemään 3 - 3,5 m pitkä, halkaisijaltaan pyöreä, n. 0,5 m paksu ja tiiviydeltään 50 %:n nippu sekä laitteen tulisi olla yksinkertainen ja sen myötä myös halpa.

Niputuskoelaitteessa on hakkuutähdenipun syöttölaite, joka on 800 mm leveä ja noin 2 000 mm pitkä, poikittaisilla hammasrivoilla varustettu ketjukuljetin. Ketjukuljettimen päälle lastattu havunippu syötetään kuljettimella puristusaukkoon, 800 x 900 mm, jossa hydraulisesti toimivat parabelileuat puristavat nipun läpimitaltaan 50 cm paksuksi ”pötköksi”. Puristustapahtumat seuraavat toisiaan noin 50 cm:n välein, jolloin myös nipun sitominen tapahtuu. Nippu katkaistaan määrämittaansa ketjusahalla.

6.4.2 Niputuskokeet kuusihakkuutähteellä

Koelaitella tehtiin koenippuja sekä tuoreista että kuivista kuusen hakkuutähteistä. Nippua puristettiin noin 50 cm välein, joista ne sidottiin käsin käyttämällä sidontamateriaalina Piippo Oy:n muovista pyöröpaalilankaa tai vannesidontalaitteella (TELPÄK 361), joka käytti muovivannetta. Nipun keskimääräiseksi halkaisijaksi saatiin noin 55 cm. Nippujen tiiveydeksi saatiin tuoreella 46 - 54 % ja kuivalla hakkuutähteellä 39 %.

7 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN JA JATKO-SUUNNITELMAT

Niputuksen koelaitteella pystyttiin osoittamaan, että kuusen tuoreet hakkuutähteet pystytään tiivistämään riittävän tiiviiksi ja kuivatkin lähes tavoitteen mukaiseksi käsittelyyksiköksi, joka on muodoltaan sellainen, että sen käsit-

tely ainespuuta varten olemassa olevalla kalustolla on mahdollinen. Taulukossa 3 on vertailu kuivan- ja tuoreen nipun välillä. Taulukkoon on kuusi hakkuutähteen kuivatuoretiheys ja lämpöarvo laskettu kuusihakkuutähteen teoreettisen koostumuksen perusteella, missä on otettu huomioon hakkuutähteen eri osasten todennäköinen korjuuhävikki, joka tuoreella materiaalilla arvioitiin 40 %:ksi ja kuivalla 50 %:ksi.

Taulukko 3. Kuivan ja tuoreen nipun vertailu, Ø 60 cm ja pituus 3,5 m.

SUURE	YKSIKKÖ	KUIVA NIPPU	TUORE NIPPU
Kuivatuoretiheys	kg/m ³	438	425
Nipun kehystilavuus	kehys-m ³	0,990	0,990
Nipun massa	kg	250	418
Kuiva-aineen massa	kg/nippu	168	229
Nipun kuivatuoretiheys	kg/kehys-m ³	170	231
Kiintotilavuusprosentti	%	38,8	54,4
Lämpöarvo	MWh/m ³	2,26	2,09
Nipun lämpösisältö	MWh/kehys-m ³	0,876	1,137
Lämpösisältöjen suhde kehystilavuutta kohti		1	1,3

Tuoreesta hakkuutähteestä saadaan tiiviydeltään niin hyvä nippu, että sen lämpösisältö on noin 30 % suurempi kuin kuivasta hakkuutähteestä tehdyn nipun lämpösisältö. Jos kaupallisellakin niputuslaitteella nippujen tiiviyys säilyy taulukon 3 mukaisena, niin niputtaminen kannattaisi tehdä tuoreena. Tuoreet niput voidaan kuljettaa puutavara-autolla ja hakettaa voimalaitoksella kiinteällä rumpuhakurilla. Kuivuneista nipuista varisee käsitellessä neulasia, joten niiden kuljetus vaatii yleensä umpinaisen lavan autoon.

Tulokset hyödynnetään rakennettaessa palstalla toimiva niputtajan prototyyppi. Rakennetulla koelaitteella tehdään tarvittaessa prototyypin suunnittelua tukevia kokeita.

8 RAPORTIT

Kaipainen, H., Seppänen, V. & Rinne, S. 1995. Hakkuutähteen ja kokopuiden niputus ja nippujen käsittely. Loppuraportti. Jyväskylä, VTT Energia. Bioenergian tutkimusohjelma. 46 s. + liitt. 7 s.

NIPPUKORJAUSHARVESTERI - Y113

Kari Koponen
Eko-Log Oy
Ukkokodintie 16
70600 Kuopio
Puh. (971) 282 5055, matkapuh. (9400) 679 194
Faksi (971) 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 käsittelyjärjestelmä, 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 koneytymissä.

2 PROJEKTIN TAVOITTEET

Valmistaa kokeilulaitteet ja prototyypit kullekon projektivaiheelle.

Suorittaa maasto- ja rasituskokeet kyseisten laitekokonaisuuksien käytettävyyden ja kestävyiden parantamiseksi sekä suorituskvyn kartoittamiseksi.

Testata Eko-Log-järjestelmän soveltuvuutta samanaikaisessa energiapuun ja sellupuun talteenotossa.

Käynnistää tuotteiden markkinointi- ja tuotantotoiminta.

3 JÄRJESTELMÄN KUVAUS

Kokonaisuutena on kyseessä logistinen järjestelmä, joka mahdollistaa ylimääräpuusta energiapuun tuottamisen logistisena ketjuna ”kannolta uuniin”. Saatujen koetulosten perusteella sama ketju pystyy myös toimittamaan sellupuuta.

Laitteistotasolla järjestelmä tulee käsittämään nippuharvesterin, sen automatiikan ja lastausautomaatiikan, jotka nyt ovat kehityskohteena. Lisäksi järjestelmässä tarvitaan kuljetuskalustoa, sopivasti vaihtolavalaitteistoa.

4 PROJEKTIN TOTEUTUS

Projektin toteuttaminen tästä eteenpäin koostuu seuraavasti:

- nippuharvesterin kehittäminen
- nippuharvesterin automatiikan kehittäminen
- lastausautomaatiikan kehittäminen
- toiminta- ja kenttäkokeiden suorittaminen
- järjestelmän kehittäminen ja laitteistojen jatkokehittäminen
- tuotanto- ja markkinointitoiminnan käynnistäminen.

Projektin toteuttamisesta vastaa Eko-Log Oy. Projektin vaatimat kenttäkokeet tehdään yhteistyössä asiakaskuntaan kuuluvan teollisuuden ja VTT Energian kanssa.

Maastokokeita hyväksi käyttäen on pystytty ratkaisemaan nippuharvesterin rakenteen oleelliset ongelmat. Prototyyppi on havaittu toimintakelpoiseksi.

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.

PIENPUUN KERÄILYKAATOON PERUSTUVAN HARVENNUSKONEEN KEHITTÄMINEN - 106

Risto Lilleberg
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki
Puh. (90) 132 5231
Faksi (90) 659 202

Abstract: A combimachine for harvesting of small sized trees

The goal of the project was to develop a combimachine suitable for the harvesting of small sized trees in first thinning. The use of such a machine could considerably decrease harvesting costs in first thinning. The basic idea with the combimachine is, that the same machine both fells the trees and transports the timber to roadside storages. A forwarder was equipped with a lightweight felling device, which also can do the crosscutting and loading. When harvesting undelimbbed timber the forwarder could be equipped with a load-compressing device.

During the spring 1995 a trial was made with a combimachine in a first thinning stand of pine. An ordinary forwarder was equipped with the "Naarva-grapple" a device for felling, crosscutting and loading. The aim was to test how the felling device is working, to examine time expenditure for two different working methods and to collect data for the further development of the machine.

The trial showed a need to add a delimbing feature to the Naarva-grapple. The need for delimbing is based on the fact, obtained during the trial, that productivity in transport of delimbed timber was over 30 % higher than in transport of undelimbed pieces.

A device capable of delimbing was designed, and it was ready for a prototype test in December 1995. The idea worked, but also showed a lot of details which have to be redesigned, before the device is ready for manufacturing and marketing.

1 TAUSTA

Keskeisenä ongelmana pienen puun käyttöön saamisessa on ollut sen korkeat korjuukustannukset. Viime vuosina tapahtunut hakkuiden koneellistaminen on tehty hyvin pitkälle niin sanotun yleiskonelinjan ehdoilla. Käytännössä se on merkinnyt sitä, että koneista on tehty monipuolisia ja niiden

ominaisuuksia on kehitetty esimerkiksi mittauksen ja apterauksen kannalta hyvin pitkälle. Koneet ovat tästä johtuen tulleet kalliiksi. Yleiskoneessa olevia valmiuksia ja ominaisuuksia ei voida hyödyntää pienen puun valmistuksessa. Koneen kustannus tuntia kohden on kuitenkin sama valmistaa se puutavaraa pienistä tai suurista rungoista. Tämä kehitys on ollut johtamassa pienen puun kohdalla kestävämpään kustannustilanteeseen.

Pienen puun korjuukustannusten alentaminen edellyttää uuden tekniikan kehittämistä sen korjuuseen. Pienen puun korjuutekniikan kehittämisessä on lähdettävä sille ominaisista korjuuolosuhteista ja sen käyttäjän raaka-aineen ominaisuuksille asettamista vaatimuksista. Erityisen merkittävää on pitää pienen puun korjuukoneen hinta alhaisena. Siksi on etsittävä sovelluksia, jotka ainakin jossain määrin pohjautuvat jo käytössä olevaan tekniikkaan, esimerkiksi alustakoneiden osalta. Toinen merkittävä tavoite kehittämisessä on koneen käyttömahdollisuuksien säilyttäminen mahdollisimman laajana. Koneita on voitava käyttää tarpeen tulleen muuhunkin kuin pienen puun korjuuseen esimerkiksi tavanomaiseen metsäkuljetukseen jne. Tällä tavoin varmistetaan riittävät vuosityömäärät koneelle ja pidetään taloudellisuus hyvänä. Eräs nämä ehdot täyttävä tekniikka on yhdistelmäkonetekniikka.

2 PROJEKTIN TAVOITE

Hankkeen tavoitteena oli kehittää ensiharvennusten pienen puun korjuuseen soveltuva yhdistelmäkone, joka alentaa ensiharvennuspuun korjuukustannuksia merkittävästi nykyiseen tasoon verrattuna. Yhdistelmäkoneen perusajatuksena on, että sama kone eli metsätraktori voi tehdä harvennushakkuukohteella sekä hakkuun että metsäkuljetuksen.

Yhdistelmäkoneena toimivan metsätraktorin etuja ovat: korjuun pääomapanos vähenee, koneen käyttömahdollisuudet laajenevat, korjuun organisointi helpottuu, konekustannukset laskevat ja käytössä olevan konekapasiteetin joustavuus lisääntyy. Yhdistelmäkoneen käyttökelpoisuuden edellytyksenä on, että sen tuotos sekä hakkuussa että metsäkuljetuksessa on riittävän korkea.

Tavoitteena on, että kohtuuhintaisella lisälaitteella varustettu metsätraktori voi toimia osan vuotta harvennusten hakkuu- ja kuljetuskoneena. Yhdistelmäkoneen alustakoneena käytetään normaalia keskikokoista metsätraktoria, jonka käyttökustannukset ovat selvästi alhaisemmat kuin tavanomaisen harvesterin kustannukset. Yhdistelmäkonetta voidaan lisäksi käyttää joustavasti niin teollisuuden ainespuun kuin energiapuun hankintaan. Yhdistelmäkoneeseen perustuvan teknologian soveltamismahdollisuudet ovat laajat.

3 TOTEUTUS

Projektin toteutukseen osallistuivat yhteistyössä Metsätehon kanssa Pentin Paja Ky, Tehdaspuu Oy:n Keski-Suomen hankinta-alue sekä urakoitsija Eero Karhu sekä loppuvaiheessa kokeiluun osallistui myös maanviljelijä Antti Timonen Valtimosta. Hankkeen toteutuksen rahoitukseen osallistui maa- ja metsätalousministeriö.

Kokeilu aloitettiin helmikuussa 1995 ja viimeisen vaiheen tulokset olivat valmiina tammikuussa 1996.

4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät vuonna 1995 olivat:

- 1 Rakentaa metsätraktoriin asennettava kaato-katkaisu-kuormauslaite
- 2 Testata laitetta käytännön olosuhteissa ensiharvennusmännikössä
- 3 Tehdä menetelmäkokeilu ja siihen liittyvä aikatutkimus
- 4 Kehittää laitetta kokeilusta saatujen kokemusten ja tiedon pohjalta
- 5 Rakentaa seuraava laiteversio.

5 RAHOITUS

Hankkeen rahoitukseen osallistuivat kaikki osallistujat. Laitteen rakentaminen (Pentin Paja Ky) ja sillä tehdyt kokeilut (Metsäteho) ja jatkokehittäminen tehtiin pääosin maa- ja metsätalousministeriön päätöksellä Dnro 4830/64/1994 hankkeelle myöntämällä varoilla, joita käytettiin sen toteuttamiseen 350 000 mk.

6 TULOKSET

6.1 ENSIMMÄINEN KEHITTÄMISVAIHEVAIHE, KARSIMATON RANKA

Yhdistelmäkoneen suunnittelun lähtökohtana oli hakkuulaitteen keveys. Näin siksi, että se on kyttävä asentamaan tavanomaisen metsätraktorin pohjalle lisälaiteratkaisuna. Pentin Paja Ky:n valmistama Naarva koura on

kevyt kaato-katkontalaite, jota kehitettiin koetta varten paremmin metsätraktoriin soveltuvaksi. Naarva-kouralla voidaan tehdä joko karsittua tai karsimatonta puutavaraa työtekniikasta riippuen.

Keväällä 1995 tehtiin korjuukokeilu ensiharvennusmännikössä. Kokeessa yhdistelmäkone oli metsätraktori, johon oli asennettu Naarva-koura kaato-katkaisulaite. Korjuukokeilun tavoitteena oli selvittää yhdistelmäkoneella kahden erilaisen työmenetelmän toimivuutta ja hankkia tietoa jatkokehittämistä varten.

Kokeilu tehtiin Tehdaspuu Oy:n Keski-Suomen hankinta-alueessa. Hankinta-alue järjesti kokeilussa tarvittavat työmaakohteet. Koealaverkoston ja siihen liittyvät mittaukset teki Metsäteho. Metsäteho teki myös aikatutkimuksen sekä aineiston analyysin ja raportoinnin. Yhdistelmäkoneen alustakoneena käytettiin urakoitsija Eero Karhun metsätraktoria.

Kokeilussa olivat mukana seuraavat korjuumenetelmät:

1) Karsimattoman puutavaran hakkuu ja metsäkuljetus yhdistelmäkoneella. Karsimattoman puutavaran karsinta joukkokäsittelyharvesterilla tienvarsivarastolla ja autokuljetus puutavara-autolla Kymmene Oy:n Kuusanniemen tehtaille.

2) Karsitun puutavaran valmistaminen ja metsäkuljetus yhdistelmäkoneella. Autokuljetus puutavara-autolla Kymmene Oy:n Kuusanniemen tehtaille.

Kokeilusta tehtiin aikatutkimusanalyysi ja tulokset on raportoitu Metsätehon monisteena "Naarva-kouralla varustettu yhdistelmäkone ensiharvennusmännikössä".

Hakkuuvaiheen ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin karsimattoman rangan menetelmässä käy ilmi taulukosta 1.

Taulukko 1. Hakkuuvaiheen ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin, cmin/r. Menetelmänä karsimaton ranka.

Ajanmenekki ja osuus	Puutavaran teko	Järjestely, häiriöt	Valmistelu	Siirtyminen	Keskeytykset	Yhteensä
Ajanmenekki, cmin/r	55	13	3	5	12	88
Osuus, %	62	14	3	5	13	100

Suurin osa koneen työskentelyajasta kuluu puutavaran valmistusvaiheeseen. Työmenetelmästä johtuen myös järjestelyjen ja siihen liittyvien tekijöiden osuus oli suuri. Työmenetelmä sisältää runsaasti lyhyitä järjestelyitä esimerkiksi kasaussvaiheessa ja se näkyy ajanmenekin jakaumassa. Valmisteluihin ja siirtymisiin kuluva aika on normaalin konetyöskentelyn tasoa. Eri-laisista syistä johtuviin keskeytyksiin sen sijaan kului suhteellisen runsaasti aikaa. Se on normaalia uuden laitteen ollessa kyseessä. Hakkuutyön tehotuntituotos karsimattoman rangan menetelmässä oli keskimäärin 5,7 m³/tunti, kun keskirunko oli 66 dm³.

Taulukossa 2 ovat tulokset karsimattoman rangan metsäkuljetuksesta työ-vaiheittain. Metsäkuljetuksen aikatutkimus tehtiin menetelmäkohtaisena siten, että koealoilta ajatut kuormat kelloitettiin. Metsäkuljetusmatka vaihteli 150 - 250 metrin välillä.

Taulukko 2. Metsäkuljetuksen ajanmenekki ja sen jakaantuminen. Karsimattoman rangan menetelmä. Ajat taakkaa kohden.

	Taakka- aika	Kasaus- järjestely	Siirty- minen	Kuormat- tuna ajo	Tyhjänä ajo	Purka- minen	Yhteensä
Ajan- menekki, min/taakka	24	3	8	5	6	9	55
Osuus, %	43	5	14	9	10	16	100

Kuorman koko on merkittävin metsäkuljetukseen vaikuttava tuotostekijä. Kuorman koko karsitun rangan metsäkuljetuksessa oli noin kaksinkertainen verrattuna karsimattoman rangan metsäkuljetukseen. Uranvarsitiheydet olivat samansuuruiset joten olosuhteet olivat samanlaiset molemmissa menetelmissä. Metsäkuljetuksen tehotuntituotoksessa ero menetelmien välillä oli erittäin suuri. Karsimattoman rangan metsäkuljetuksen tuotos oli 36 % alhaisempi kuin karsitulla rangalla. Metsäkuljetuksen tuotosero ratkaisi hyvin pitkälle menetelmien keskinäisen paremmuuden.

Menetelmien taloudellisuuden tarkastelussa on käytetty perustietoina kokei-lusta saatua ajanmenekkitietoa ja yleisesti käytettyä konetyön kustannustie-toa. Yhdistelmäkoneneen tuntikustannuksena käytettiin 270 mk/tunti. Erillis-karsinnan tehneen harvesterin tuntikustannuksena käytettiin 350 mk/tunti. Koneiden käyttöasteeksi on arvioitu hakkuussa 80 %, metsäkuljetuksessa 90 % ja erilliskarsinnassa 85 %. Olosuhdetekijät olivat seuraavat: rungon kes-kikoko 60 - 70 dm³ ja kertymä 55 - 65 m³/ha. Metsäkuljetusmatka 200 m. Kustannustarkastelu käy ilmi taulukosta 3.

Taulukko 3. Menetelmien taloudellisuuden vertailu, kustannukset keskimäärin mk/m³.

Menetelmä	Hakkuu	Metsäkuljetus	Karsinta	Siirrot ja asennus	Yhteensä
Karsimaton ranka	56	25	28	2	111
Pystyyn-karsittu ranka	66	16	-	2	84

Menetelmien kustannuksissa oli selvä ero. Karsittuun rankaan perustuva menetelmä oli selvästi edullisempi. Erilliskarsinta metsätien varressa ei ole järkevä menettely vaan se lisää kustannuksia aivan merkittävästi. Jos erilliskarsinta jätetään pois niin menetelmät ovat korjuun osalta taloudellisesti lähes saman veroiset. Jos erilliskarsintaa ei tehdä niin kaukokuljetuksen kustannukset ovat karsimattoman rangan menetelmässä noin 20 % korkeammat. Lisäksi karsimattoman rangan rummutus ja haketus tehtaalla ovat jossain määrin ongelmallisia.

Pienen puun korjuumentelmän taloudellisuuden arvioinnissa onkin aina muistettava myös jalostusketjun myöhempiä vaiheita ja niiden kustannusvaikutuksia. Toteutetussa kokeilussa sellutehtaalta saatu palaute sisälsi luettelon ongelmista, jotka ovat kustannuksia aiheuttavia tekijöitä. Ne on otettava huomioon taloudellisessa analyysissä.

6.2 TOINEN KEHITTÄMISVAIHE, RULLASYÖTÖN KOKEILU

Tehdyn kokeilun pohjalta todettiin tarpeelliseksi kehittää Naarva-kouraa siten, että sillä kyettäisiin valmistamaan karsittua puutavaraa ensiharvenusolosuhteissa. Tavoitteena on metsäkuljetuksen tuottavuuden parantaminen. Metsäkuljetuksen tuottavuusero oli yli 30 % ja se merkitsee karsimattomalle puutavaralle selvästi korkeampia metsäkuljetuskustannuksia.

Uuden karsintaan kykenevän prototyypin saatiin päätökseen kesään mennessä. Ensimmäisen karsintaan kykenevän laitteen rakentamisvaiheeseen päästiin kesäkuussa ja sillä voitiin tehdä metsässä ”penkkitestauksia” jo loppukesän aikana. Ongelmaksi muodostui laitteen hydraulikan toiminta ja suunnittelu.

Laitteen suunnittelussa lähdettiin alunperin siitä, että sitä voitaisiin käyttää paitsi metsätraktoreissa niin myös metsävarusteisissa maataloustraktoreissa. Tämä edellytti, että laitteen paino tuli pitää erityisen alhaisena ja ulkomitat pieninä. Tähän tavoitteeseen pyrittiin rakennesuunnittelun ja hydraulikkaratkaisujen avulla. Rautarakenteinen laite painaa vain noin 160 kg, mitä on pidettävä erittäin hyvänä saavutuksena. Varsinkin kun ottaa huomioon, että

se sisältää hydrauliikkamootorit ja syöttörullat. Pienen koon ja alhaisen painon säilyttämiseksi hydrauliikan venttiilit tehtiin noin tiiliskiven kokoiseen lohkoon, joka osoittautui ensitesteissä toimivaksi ratkaisuksi.

Uutta syötöllä varustettua laitetta päästiin kokeilemaan vasta joulukuussa 1996, kun prototyyppilaitteen ostanut maa- ja metsätalousyrittäjä Antti Timonen Valtimolta sai sen asennettua metsävarusteiseen maataloustraktoriin (Kuva 1). Uuden laitteen testauksen tarkoitus oli selvittää, pystyikö se tekemään karsintavaiheen.

Valtimolla tehtyjä "kenttätestauksia" häiritsi erittäin kova pakkanen, mikä teki hydrauliikan nestevirroista hitaita ja koneen liikkeet olivat hyvin kankeita. Itse hakkuulaitteen osalta näiden testausten keskeisiä havaintoja olivat:

- 1) laitteen syöttö toimii vaatimattomillakin hydrauliikkajärjestelmillä, kuten esim. maataloustraktoreissa
- 2) ongelmia aiheutui laitteen hydrauliikkalohkossa ilmenneistä epäpuhtauksista, karat juuttuivat kiinni
- 3) laitteen syöttönopeus oli parhaimmillaan luokkaa 2 metriä sekunnissa
- 4) testissä olleen maataloustraktorin heikkotehoisella hydraulipumpulla
- 5) tehokkaan työskentelyn kannalta on tarpeen tehokkaampi hydraulipumppu kuin mitä maataloustraktoreissa on
- 6) laite osoittautui kompaktina puiden seassa helposti liikuteltavaksi (Kuva 2)
- 7) karsintaterien muotoilua on vielä parannettava, tarttuminen puuhun hidasta ja itse karsintavaiheessa paksujen oksien katkaisu vaikeaa
- 8) karsintaterien ohjaussysteemiä parannettava, puut irtosivat välillä otteesta
- 9) karsintarullien puristuspaineiden ohjauksessa ilmeni ongelmia

Ensimmäisellä karsivalla laiteversiolla tehty kokeilu osoitti karsinnan periaatteessa toimivan. Testaus osoitti myös, että paljon on vielä tehtävä ennen kuin laite on niin valmis, että sitä voidaan ryhtyä toden teolla markkinoimaan ja valmistamaan. Nyt toteutetusta "kenttätestauksesta" ei tehty aikatutkimusta, koska peruskone ja sen varustus sekä laite itse ei vielä ollut siinä

kunnossa, että aikatutkimuksella olisi saatu todellista tietoa sen suorituskyvystä. Tässä vaiheessa toimintojen arviointi oli riittävä testin tarkoitus.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET KEHITTÄMISHANKKEESTA

Toteutettu kehittämishanke osoitti, että uudella yhdistelmäkonetekniikalla on käyttöä pienen puun korjuussa ja siitä ollaan erittäin kiinnostuneita. Alustavissakin kokeiluissa saatujen tuotos- ja kustannustietojen pohjalta voidaan päätellä siitä tulevan kehittämisen myötä erittäin kilpailukykyinen vaihtoehto. Tekniikan jatkokehittämisessä on paneuduttava käyttäjäkohtaisiin tarpeisiin ja varustettava yhdistelmäkone kulloistenkin tarpeiden mukaan. Uuden tekniikan myönteisiä puolia ovat sen halpuus ja joustavuus. Jos pienen puun korjuuta ei ole niin konetta voidaan käyttää tavanomaisessa puutavaran kuljetuksessa. Tämä parantaa yhdistelmäkoneella työskentelevän yrittäjän toimeentulomahdollisuuksia olennaisesti.

Uutta tekniikka kyetään kehittämään tämän tyyppisillä hankkeilla ja siitä saadaan tarpeellista tietoa kiinnostuneille käyttäjille sekä laitteiden valmistajille. Toisessa vaiheessa kehitetty laite on ensimmäinen kevyt karsintaan kykenevä yhdistelmäkoneen hakkuulaite, joka soveltuu käytettäväksi sekä metsätraktoreissa että metsävarusteisissa maataloustraktoreissa. Viime mainittu seikka on erittäin tärkeä, jos metsänomistajien omatoiminen korjuu harvennushakkuilla tulevaisuudessa yleistyy.

Ongelmaksi voitiin todeta, että uutta tekniikkaa kehittävällä yrittäjällä ei ole aina itsellään riittäviä resursseja, joita tarvitaan uuden tekniikan tuotteistamisessa, valmistamisessa ja markkinoinnissa. Nytkin kehitetty yhdistelmäkoneen hakkuulaite on liki valmis tuote mutta edellyttää kuitenkin vielä tuotteistamisvaiheen läpikäymistä ennen kuin laite siirretään valmistukseen ja markkinoitiin.

Pentin Paja Ky käy parhaillaan neuvotteluja laitteen tuotteistamisvaiheen läpiviennistä tunnetun metsäkoneenvalmistajan kanssa ja tarkoitus on, että vielä kevään 1996 aikana tuotteistamisvaihe toteutetaan ja laite saadaan valmistuskuntoon. Jos hanke etenee tältä osin sen ensimmäiset tuotantoversiot tulevat markkinoille syksyllä 1996.

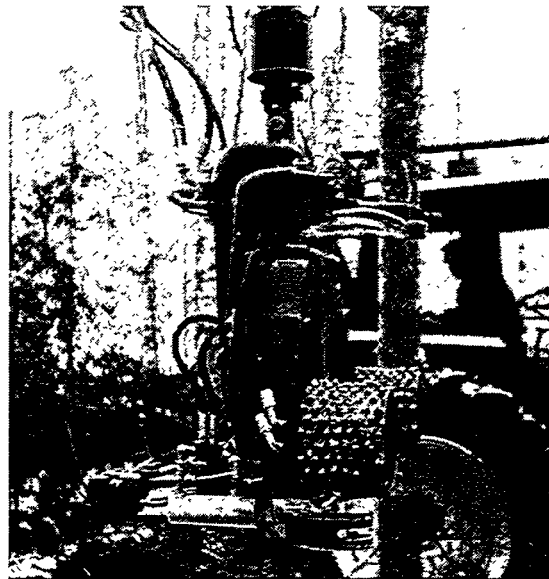
8 RAPORTIT

Lilleberg, R. 1995. Naarva-kouralla varustettu yhdistelmäkone ensiharvennuskönnössä. Metsätehon moniste 11.9.1995.

YHDISTELMÄKONEEN HAKKUULAITTEEN TESTAUS VALTIMOL-
LA JOULUKUUSSA 1996



Kuva 1. Peruskoneena oli metsävarusteinainen maataloustraktori Valmet 715 M, jossa oli Kronoksen kuormain.



Kuva 2. Hakkuulaite on kompakti ja kevyt ja siten helppo liikuttaa puuston seassa.

JOUSTAVA HAKKEEN VALMISTUS JA LOGISTIIKKA - D104

Matti Hämäläinen, Panu Pankakari
Metsäenergia Meter Ky
58220 Louhi
Puh. (949) 450 925

Abstract: Flexible production and logistics of wood chips

The target of the project was to develop a multi-purpose chipper-lorry (MOHA), which could be used both as chipping and transportation unit. MOHA is capable of chipping trees directly from the lot, so the size of the storage plays no role. Even though the MOHA-unit can be used as an individual transportation unit, it can also be used for feeding any further dispatch unit equipped with interchangeable container system e.g. when the transportation distances are long and the ordered volumes of wood chips are large.

Previous projects concerning chipping-logistics are based on various intermediate storage models, but the MOHA delivers the chips straight from the lot to the site of utilization. The raw material short-distance haulage is reduced from previous 150 - 250 m to 1 - 50 m. In this new delivery model chips are bunkered only at largest heating plants. At smaller heating plants no bunker storages are needed. MOHA collects self the load, delivers it, brings, if controlled properly, back-haul, and delivers it to another site of utilization.

1 LÄHTÖKOHTA

BIOENERGIA-ohjelman 1993 - 1995 hankkeen D104 - Monitoimihakkuri alkukäyttötulokset ovat antaneet viitteitä, että teoreettiset arviot ovat olleet aivan selvästi oikeansuuntaisia. Koneen esikäyttöjakso ajoittui välille 15. toukokuuta - 31. lokakuuta 1995. Tänä aikana on tehty polttohaketta noin 6000 - 7000 i-m³ etupäässä hakkuutähteestä.

Hakkeen laatu on ollut pääsääntöisesti joko erinomaista tai hyvää. Tämä osoittaa, että hakkurin valinnassa on osuttu oikeaan.

PERINTEINEN MENETELMÄ

Perinteisessä menetelmässä hakkeen tuotanto on jakautunut erilliseen haketus- ja kuljetusyksikköön. Haketus on tehty joko palsta- tai varastohakurilla vaihtolavakonttiin tai suoraan kuorma-auton lavalle. Tämän järjestelmän heikkoutena on mm. alhainen käyttöhyötysuhde, joka on keskimäärin vain n. 50 % kokonaistyöajasta.

Muita ongelmia muodostivat erityisesti hakettavan puuaineksen välivarastointi, sekä ko. varastojen koko (väh. 250 i-m³) ja varastopaikan taso, eli sinne on päästävä helposti tavallisella kuorma-autolla. Nämä edellä mainitut seikat aiheuttavat sen, että kohteet, joista tähdepuuaines olisi hakettavissa ilman suuria ennakkotoimenpiteitä rajoittaa kannattavien tähdepuukohteiden määrää.

NYKYISIÄ MENETELMIÄ

Varastohakurien kehitys on mennyt siihen suuntaan, että ne pääsääntöisesti rakennetaan kuorma-autoalustaisiksi ja niiden maastoliikkuvuus on olematonta. Tämä edellyttää edelleen sen, että maastossa olevien varastojen tason on oltava korkean ja tiestön suhteellisen hyvän. Haketus tapahtuu edelleen erilliselle kuljetusyksikölle.

Palstahakurit ovat suhteellisen kevyitä ja maastokelpoisia mutta niiden omat kuljetuskontit ovat melko pieniä (12 - 17 i-m³) ja liikkumisnopeus tielläkin vain max. 25 km/h (esim. Bruks ja Chipset). Nämä yksiköt soveltuvat lähinnä huonosta maastosta mutta läheltä hyväkuntoista tietä tapahtuvan hakkuutähteen haketukseen. Em. yksiköiden ei voida olettaa kuljettavan kuormaa kovinkaan pitkiä matkoja niin, että niiden kannattavuus säilyisi. Ajoihin ja kuorman siirtoihin jatkokuljetusyksikköön ei saa tärväytyä paljoa aikaa tai kokonaishyötysuhde putoaa selvästi.

Poikkeuksena muihin nykyisiin menetelmiin on Metsäenergia Ky:n kehittämä monitoimihakuriauto, joka toimii sekä haketus- että kuljetusyksikkönä. Se pystyy hakettamaan suoraan palstalta, eikä varaston koolla ole merkitystä. Sen lisäksi, että MOHA toimii itsenäisenä kuljetusyksikkönä, voi se syöttää mitä tahansa vaihtolavajärjestelmällä varustettua jatkokuljetusyksikköä mm. silloin, kun kuljetusmatkat ovat pitempiä ja tilatut hakemäärät suurempia.

Kaikki hakelogistiikkaan liittyvät projektit, joita tähän mennessä on tehty, perustuvat eri asteisiin välivarastointimalleihin. Tässä suhteessa MOHA edustaa uutta ajattelua, sillä se toimittaa tavarat suoraan palstalta hakkeen käyttöpaikalle. Raaka-aineen lähikuljetukset supistuvat 1 - 50 metriin aiemmasta 150 - 250 metristä. Uudessa toimitusmallissa hakkeen

varastointia tapahtuu vain suurimmissa lämpölaitoksissa, joissa on puskurivarastot. Pienissä laitoksissa puskurivarastoja ei tarvita. MOHA:n toimituslogistiikka perustuu ns. puuauton toimintaan. Se kerää itse kuormansa, toimittaa perille, sekä oikein ohjattuna ottaa paluukuorman ja tuo sen toiselle käyttöpaikalle.



— 100 —

INTEGROIDUT MENETELMÄT

YHDISTELMÄKONEEN KEHITTÄMINEN PIEN- PUUN KORJUUSEEN SEKÄ ENSIHARVENNUK- SEEN - Y115

Pekka Nevalainen, Kari Kinnunen
Outokummun Metalli Oy
PL 8
83501 Outokumpu
Puh. (973) 555 111
Faksi (973) 550 308

Abstract: Development of a machine combination for harvesting of small wood and first thinnings

The objective of the research was to develop a machine combination for harvesting of small wood, which carries out both the harvesting and forest haulage. The development was started in September 1995. The first prototype of the machine is ready. A Lokomo 910 forest tractor was acquired for the tests. The prototype has been mounted on the tractor, and the tests have been started in the beginning of March 1996. The reconstruction of the device will be made after the tests, as well as the description of different working praxis. Time consumption study and the analysis of it will be made after the equipment tests.

The device consists of a grapple equipped with a guillotine cutting device mounted on the tractor. The actual felling is made stem by stem in the test phase. The stem can be forwarded directly into the load or it can be left aside, and new stems can be brought beside it and then all the stems can be taken together into load. The harvested stems can be processed easiest during the forwardment in the upward position, and they will be "felled" into the load space. Hence the space requirement is small so the damaging of the remaining trees can be minimized.

The logging road is made driving backwards by felling the trees from the road to the sides of the road and by collecting the stems into load space while returning. The harvested stems will be transported undelimbbed to the storage site there they can be processed with multi-function machine or chipped, after the thinning has been completed. The cutting device can be turned aside when using the loading grapple so the operation is similar to operation of an ordinary timber loader.

1 TAVOITE

Projektin tavoitteena on rakentaa yhdistelmäkone pienpuun korjuuseen, joka tekee sekä hakkuun että metsäkuljetuksen.

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.

3 NYKYTILANNE JA LÄHIAJAN TOIMENPITEET

Laitteen ensimmäinen prototyyppi on valmis. Kokeiluja varten on hankittu Lokomo 910 -metsätraktori. Prototyyppi on asennettu paikoilleen metsätraktoriin ja kokeilut on päästy aloittamaan maaliskuun alkupuolella 1996. Laitetestauksien jälkeen tehdään tarvittavat laitemuutokset sekä menetelmäkuvaukset erilaisista työskentelytavoista. Erilaisten laitekokeilujen jälkeen tehdään aikaututkimus ja aikaututkimusanalyysi.

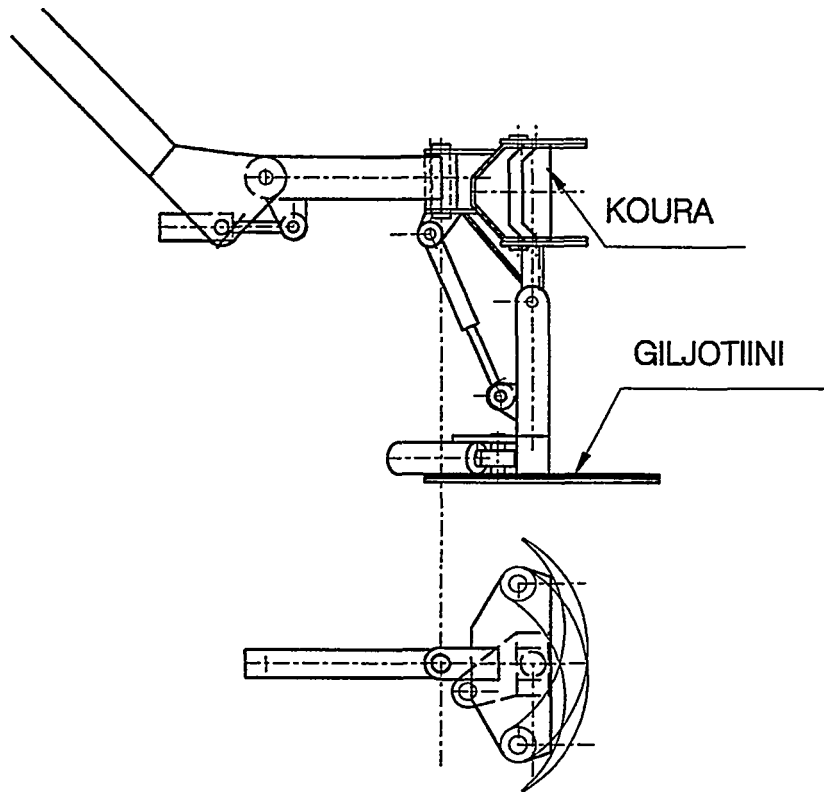
4 LAITTEEN RAKENNE JA TYÖMENETELMÄT

Oheinen kaaviokuva 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.



5 YHTEENVETO

Menetelmä- ja aikatutkimustulokset ovat valmiit toukokuun 1996 loppuun mennessä. Tulosten valmistuttua tehdään päätökset jatkotoimenpiteistä.

----- 1777 1778 1779 1780 1781 1782 -----

PUUPOLTTOAINEEN JA SELLUHAKKEEN INTEGRoitu TUOTANTO KETJUKARSINTA-KUORINTATEKNIKALLA - 101, D102

Kaarlo Rieppo
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki
Puh. (90) 132 521
Faksi (90) 659 202

Pentti Hakkila
Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
Puh. (90) 857 051
Faksi (90) 857 05361

Veli-Juhani Aho
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Abstract: Integrated production of wood fuels and pulpwood using chain-flail delimbing-debarking technology

The objective of the research was to develop a procurement method for small-diameter pulpwood based on chain-flail delimbing-debarking method. The study consisted of four parts: Development of the chain-flail delimbing-debarking method (based on Peterson Pacific DDC 5000 device); Combined chain-flail delimbing and drum-debarking; Processing and procurement of the chain-flail delimbing chips and; Intensifying of the timber debarking in chain-flail delimbing. The project was coordinated by Metsäteho, and it was carried out as cooperation between Metsäteho, the Finnish Forest Research Institute (METLA), VTT Energy, Pertti Szepaniak Oy and Enso-Gutzeit Oy.

A calculation model, by which it is possible to determine the costs of pulpwood chips and fuel-rawmaterials formed beside the pulpwood chips while using different kinds of procurement methods and chains, was developed for chain-flail delimbing-debarking-chipping method based on utilization of Peterson Pacific device. By the model it is possible to optimize the utilization of the method in practice. On the basis of exemplary calculations made using the model it was noticed that the size of the road-side storage has usually to be at least 250 - 1000 m³ so that road-side chipping would be profitable. The range between the sizes is caused by different rawmaterials and different transportation distances. It is profitable to chip the whole-trees with smaller storage size, than it is in the case of partial-tree and normal shortwood methods. When the length of the long-distance transportation becomes shorter, the profitability of timber procurement, based on chipping at the plant, is improved in comparison with road-side and terminal storage chains. The mutual profitability of different timber processing chains depends always strongly on how optimally different timber processing areas are located in respect to the road-side storage. With those timber processing chains, in which the fuel-rawmaterial is not left on the road-side, the costs of pulpwood chips are increased

by 3-4 % while the reimbursement price of the fuel-fraction is decreased from 45 FIM/MWh to 15 FIM/MWh.

A new fixed version of the combined chain-flail delimbing drum-debarking equipment was constructed in 1995. Tests with this equipment started in February 1996. The preliminary test results of this equipment have shown that it will be possible to obtain required bark content with pine at least to temperature - 10 °C. The tests will continue as a separate task during 1996.

The productivity of the Morbark 1200 hammer-crusher in processing of delimbing chips has been noticed to be so high that employment of the machine and the profitability require it to be used by the side of chain-flail delimbing residues also for processing of other energy rawmaterials. Chips made of chain-flail delimbing-debarking residues are suitable, by the terms of the chip-size distribution, for utilisation as a fuel of thermal plants. The suitability of the crusher for processing of the felling residues was also tested. The storage time of the chips should be reduced to few weeks only.

A debarking simulator, by which it is possible to study the effects of the lengths of the chains and brushes, the positioning, the hit-angles and speeds on the removal of branches and bark, has been compiled in the "Intensification of wood debarking in chain-flail delimbing" sub-task. Preliminary tests have been made using mainly frozen first thinning pine as test material. The clear effect of the rotation speed on the delimbing result and wood-losses has already been noticed in the tests. The tests will be continued as a separate task during 1996.

1 TAUSTA

Ketjukarsinta-kuorintamenetelmässä puut kuoritaan tai karsitaan ja kuoritaan joukkokäsittelyä ennen haketusta yhdellä laitteistolla. Selluhakkeen lisäksi menetelmä tuottaa oheistuotteena edelleenkäsiteltynä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta. Tutkimushanke on koostunut neljästä osaprojektista:

- Osaprojekti 1: Ketjukarsinta-kuorintamenetelmän kehittäminen, Metsäteho
- Osaprojekti 2: Yhdistetty ketjukarsinta- ja rumpukuorinta, Metsäteho
- Osaprojekti 3: Ketjukarsintamurskeen käsittely ja jakelu, Metsäntutkimuslaitos
- Osaprojekti 4: Puun kuorinnan tehostaminen ketjukarsinnassa, VTT Energia

Vuonna 1995 hankkeessa rahoitettiin osahankkeita 1, 2 ja 4. Osahanke 3 saatettiin loppuun vuodelta 1994 jääneellä rahoituksella.

2 TAVOITE

Hankkeen tavoitteena on kehittää ja saada tuotantokäyttöön ketjukarsinta-kuorintatekniikkaan perustuva, harvennuspuun jalostus- ja energiakäytön kilpailukykyä edistävä puupolttoaineen ja teollisuuden ainespuun integroitu menetelmä. Edelleen projektin tavoitteena on kehittää pienten puiden joukkokäsittelyyn soveltuva menetelmä, jolla voidaan tuottaa kilpailukykyiseen hintaan sekä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta että selluteollisuuden käyttöön hyvälaatuista haketta. Pyrkimys on päästä alle 1 %:n kuoripitoisuuteen.

3 TOTEUTUS

Projekti toteutettiin Metsätehon koordinoimana. Osahankkeiden toteutukseen osallistuivat Metsäteho, Metsäntutkimuslaitos ja VTT Energia. Hanke toteutettiin yhteistyössä Pertti Szepaniak Oy:n ja Enso-Gutzeit Oy:n kanssa.

4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät vuoden 1995 aikana olivat:

Osaprojekti 1:

- Projektissa saavutettuihin tutkimustuloksiin perustuvan laskentamallin kehittäminen
- Erilaisten hankintaketjuvaihtoehtojen kannattavuuksien määrittäminen laskentamallin avulla
- Kk-yksikön organisoinnin kehittäminen terminaali- ja tehdasvarastoinnin osalta

Osaprojekti 2:

- Kenttäkokeet uudella laitekoonpanolla
- Poltto- ja selluhakkeen tuotantokustannusten määrittäminen

Osaprojekti 3:

- Hankkeen loppuunsaattaminen vuoden 1994 suunnitelman mukaisesti

Osaprojekti 4:

- Simulaattorin loppuunrakentaminen
- Laboratoriokokeet simulaattorilla
- Täyden mittakaavan prototyypin rakentaminen ja testaus

5 RAHOITUS VUODELLE 1995

Rahoittaja	Osa- projekti 1	Osa- projekti 2	Osa- projekti 4 mk	Yhteensä
TEKES/Bioenergia- ohjelma	155 000	258 000	387 000	800 000
Tutkimuslaitokset	103 000	172 000	575 000	850 000
Yritysrahoitus / Yritysten työpanos	20 000	90 000	223 000	223 000
YHTEENSÄ	278 000	520 000	1 185 000	1 983 000

6 TULOKSET

6.1 OSAPROJEKTI 1: KETJUKARSINTA-KUORINTA-MENETELMÄN KEHITTÄMINEN

6.1.1 Laskentamallin kehittäminen

Laskentamallin rakenne

Projektissa aiemmin tuotettuja tuloksia hyväksikäyttäen kehitettiin Peterson Pacificin käyttöön perustuvalla ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmälle laskentamalli, jolla voidaan määrittää selluhakkeen ja ohessa syntyvän polttoraaka-aineen kokonaiskustannukset erilaisia hankintamenetelmiä ja -ketjuja käytettäessä. Mallilla on erilaisten ketjujen kannattavuusvertailu käytännön olosuhteissa hyvin mahdollista. Tämä mahdollistaa ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän optimaalisimman käytön. Malli on luovutettu Enso-Gutzeit Oy:n Karjalan hankinta-alueen käyttöön.

Kehitetyllä mallilla määritetään yhden tienvarsivaraston eri hankintaketju-kustannukset kerrallaan. Terminaali- ja tehdasvarastolle oletetaan tietyt koot (kyseinen tienvarsivarasto mukaan lukien): esimerkiksi tehdasvarastokoko on 5000 m³, kun sinne viedään kyseinen 300 m³:n tienvarsivarasto. Kaiken puuraaka-aineen ei tarvitse olla tehtaalla heti haketuksen alkaessa, mutta ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikkö hakettaa yhtäjaksoisesti tuon määrän siirtyen vasta sen jälkeen toiseen työkohteeseen.

Malli toteutettiin Excel 5.0:lla ja sen Visual Basic -ohjelmointikielellä. Erityyppiset asiat on jaettu mallissa omille laskenta-alustoilleen, jotta malli olisi mahdollisimman selkeä ja helposti ymmärrettävä. Laskenta-alustatyyppinä ovat: syöttötieto-, lähtötieto-, tuloslaskenta-, erilliset laskentamalli-, tulos-, välinäyttö- ja makroalustat. Visual Basicillä on rakennettu

näytönhallinta (valikko), lähtöarvojen tarkastusrutiinit ja osa varsinaisesta laskennasta. Laskenta-alustoilta toiselle siirrytään kätevästi omasta valikosta.

Laskentamalliin syötetään mm. seuraaventyypisiä lähtöarvoja:

- varastojen koot (m^3 ainespuuta)
- tarvittavat etäisyydet (ks. kuva 1)
- puulaji (mänty, kuusi, koivu)
- puuraaka-aine (5 erilaista)
- erilaisia olosuhdetietoja
- polttoraaka-aineen lähtötietoja
- muita mahdollisia kustannustietoja

Tulokset lasketaan valikkotaulun valinnalla: Tulosten laskenta. Malli päivittää jokaisella laskentakerralla kaikki kolmella eri tulosalustalla olevat tulokset. Nämä ovat: yleisketjut, Morbark-ketjut ja Enson ketjut (vain Enso-Gutzeit Oy:n käyttöön). Yleis- ja Morbark-ketjut perustuvat PP:n osalta tässä projektissa määritettyihin kustannusarvoihin. Enson ketjut perustuvat sovituihin haketustaksoihin Enso-Gutzeit Oy:n ja Pertti Szepaniak Oy:n välillä.

Kullekin ketjulle saadaan yksityiskohtaiset kustannukset tekijöittäin: kantohinta, organisointi/mittaus-, hakkuu-, metsäkuljetus-, kaukokuljetus-, haketus-, murskaus-, karsinta-kuorintajätteen/murskeen siirto-, hakkeen tehtaalla siirto- ja muut kustannukset. Erillisenä tulokohtana on polttoraaka-ainehyvytys. Kokonaiskustannukset on esitetty ainespuu- ja selluhakekiinto- m^3 :ä kohti. Polttoraaka-ainetuotto on esitetty murske- m^3 :ä, MWh:a ja ja selluhakekiinto- m^3 :ä kohti.

Mallin laskentaperusteet

Manuaalisen hakkuun kustannukset koko- ja osapuulle sekä tavaralajille määritettiin Metsätehossa kehitetyllä erillisellä laskentamallilla. Hakkuukoneen tuntikustannukset määritettiin Metsätehon erillisellä laskentamallilla ja tuottavuudet puulajeittain Metsätehon tekemässä maskuperusteselityksessä kehitetyillä tuottavuusfunktioilla.

Metsätraktorin tuntikustannukset määritettiin Metsätehon erillisillä laskentamallilla. Hakkuukoneella valmistetun mänty-tavaralajin tuottavuudet määritettiin em. maksuperustetutkimuksessa kehitetyllä funktiolla. Muut puuraaka-aineet suhteutettiin tavaralajin kustannukseen kertoimin.

Peterson Pacificin kustannusten laskennassa käytettiin projektissa aiemmin kehitettyä tuntikustannuslaskentamallia, jolla voidaan määrittää haketus-

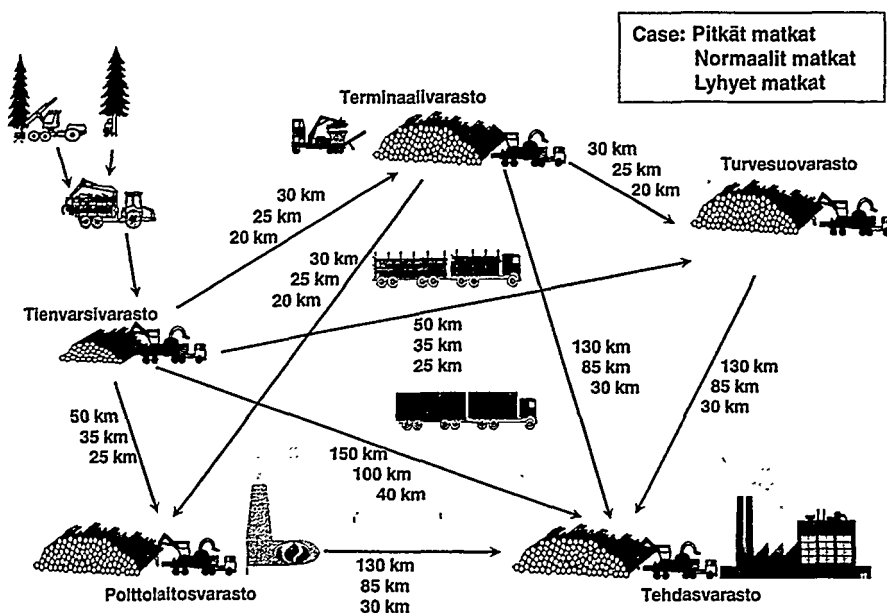
tannukset erikseen tienvarressa, terminaalissa ja tehtaalla toimittaessa. Polttolaitoksella ja VAPOn terminaalissa toiminta on rinnastettu terminaali-toimintaan tuottavuudeltaan ja kustannuksiltaan. PP:n tuotosarvoina käytettiin projektin tuottamia tietoja.

Autokuljetuskustannusten laskennassa lähtökohtana käytettiin Enso-Gutzeit Oy:n ja Pertti Szepaniak Oy:n sopimia taksoja irtohakkeelle tienvarresta ja terminaalista sekä havupuutavaralajille. Puutavaralajikuljetuskustannuksista johdettiin autokuljetustaksat koko- ja osapuulle sekä joukkokäsittelylle tavaralajille kertoimin. Murskeen ja murskaamattoman karsinta-kuorintajätteen kustannukset saatiin hakkeen kuljetuskustannuksista kertoimin.

Energiapuuosuudet määritettiin puulajeittain. Energiapuuosuus koostui latvusmassasta, katkenneesta runkopuusta, kuoresta ja puuhävikistä. Puuraaka-aineesta riippuen osa tai kaikki näistä tulivat mukaan kokonaisenergiapuuosuuteen. Latvusmassat määritettiin julkaisun Folia Forestalia 773 "Hakkuupoistuman latvusmassa" ja Metsätehossa kehitetyn latvusmassamallin perusteella. Latvusmassamallin kehittämistä myös rahoitettiin osaprojektien 1 ja 2 varoista. Kokopuulla latvan oletettiin katkeavan 3,5 cm:stä. Kuoresta oletettiin 98 % poistuvan ketjukarsinta-kuorinnassa. Ketjukarsinta-kuorinnassa oletettiin puuhävikiksi 3 % kuorettomasta runkopuusta.

6.1.2 Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän käsittelyketjuvertailut

Kehitetyllä ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän laskentamallilla tehtiin yleistettyjä vaihtoehtolaskelmia kolmelle case-tapaukselle, joita nimettiin seuraavasti: *pitkät matkat*, *normaalit matkat* ja *lyhyet matkat* (kuva 1).



Kuva 1. Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän laskentamallilla tehdyissä laskelmissa käytetyt etäisyydet case-tapauksittain.

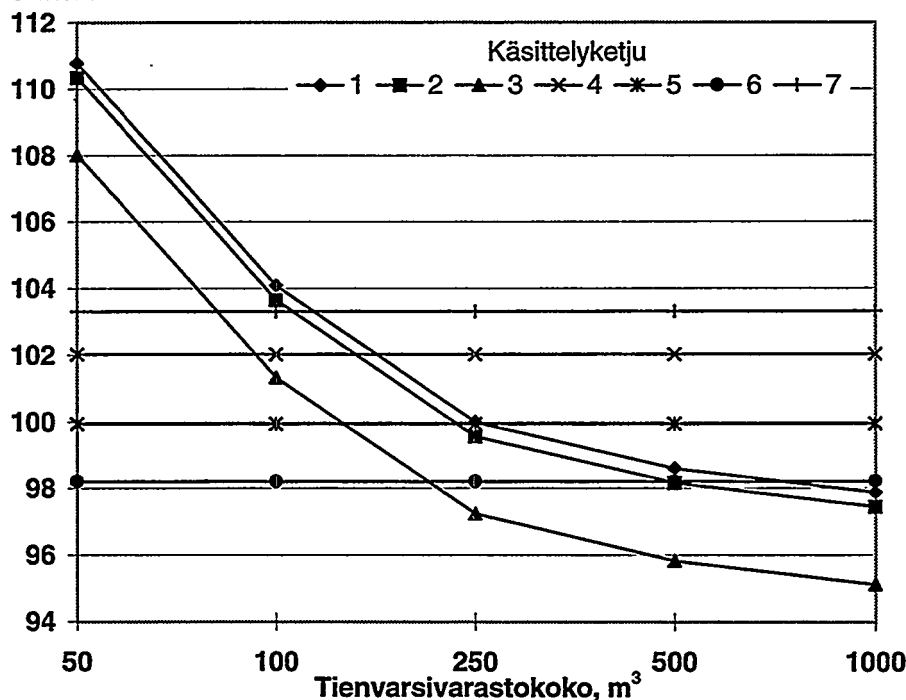
Seuraavassa esitettävät laskelmat tehtiin ns. yleisille ketjuille eli käsittelyketjuille, joissa karsinta-kuorintajätteen käyttöpaikalla on oma murskain, jonka kustannusten ei oletettu rasittavan tätä hankintaketjua. Aluksi tarkastellaan tienvarsivarastokoon merkitystä erilaisten käsittelyketjujen suhteellisiin kustannuksiin erilaisilla puuraaka-aineilla eri case-tapauksissa. Näissä laskelmissa terminaalivarastokooksi on oletettu 2500 m³ ja tehdasvarastokooksi 5000 m³. Tarkasteltavat puuraaka-aineet ovat:

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

Hakkuu on oletettu tehdyn lumettomana aikana ja karsinta-kuorinta-haketus puun ollessa sulassa tilassa eli lämpötilan ollessa plussalla. Polttoraaka-aineesta on oletettu saatavan Bioenergia-ohjelman mukainen tavoitehintaa eli 45 mk/MWh. Varastoalueiden ja teiden mahdollisiin parannuksiin ja kunnossapitoon tarvittavia kustannuksia ei peruslaskelmissa huomioitu minkään varastopaikan suhteen, koska nämä ovat hyvin tapauskohtaisia. Käytännön laskelmissa näitä varastopaikkakohtaisia kustannuksia on syytä käyttää.

Mäntykokopuulla pienillä tienvarsivarastoko’oilla polttolaitoksella tehtävään haketukseen perustuva käsittelyketju on tehdyin oletuksin edullisin (kuva 2). Hyvin tavanomaisilla yksityismetsien varastoko’oilla 50 - 100 m³ tienvarsihaketukseen perustuvat ketjut eivät ole kannattavia. Nämä menetelmät vaativat kokopuulla vähintään 250 m³:n tienvarsivarastokokoa. Edullisin tienvarsivarastokäsittelyyn perustuvista ketjuista näyttäisi olevan ketju 3 eli ‘tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte polttolaitosmurskaukseen’. Suuremmilla tienvarsivarastoko’oilla mäntykokopuulla kallein vaihtoehto on ketju ‘tehdashaketus ja -murskaus’. Terminaalihaketukseen perustuvat ketjut eivät näyttäisi tehdyin oletuksin olevan koskaan edullisimpia.

Suhteellinen selluhakkeen hinta



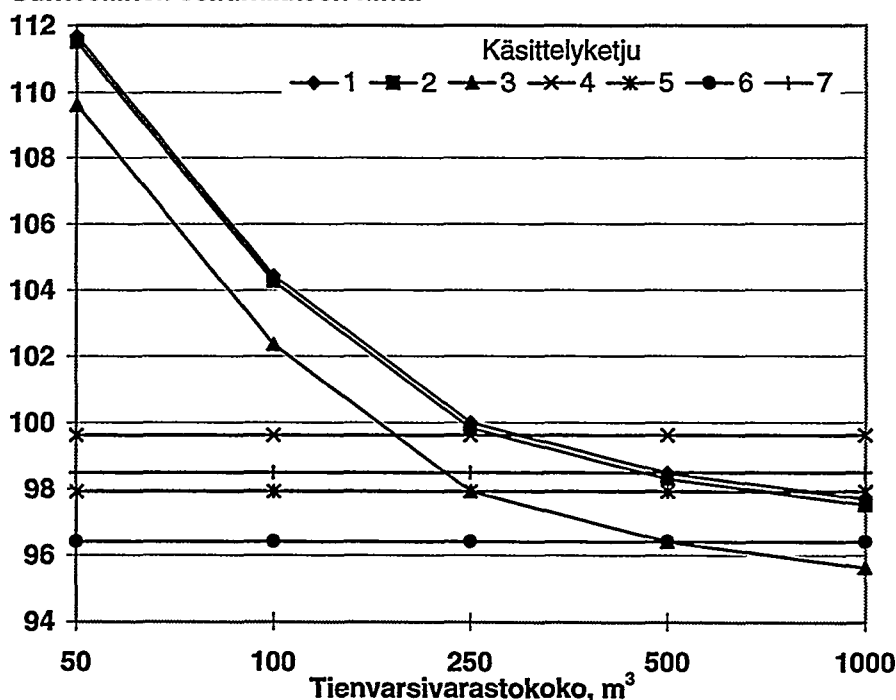
Kuva 2. Suhteellinen selluhakkeen hinta manuaalisesti hakatulla mäntykokopuulla eri tienvarastoko’oilla, Case: normaalit kaukokuljetusmatkat.

Käsittelyketjut:

1. Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätettä ei hyödynnetä
2. Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte tehdasmurskaukseen
3. Tienvarsihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte polttolaitosmurskaukseen
4. Terminaalihaketus - hake ja karsinta-kuorintajäte tehtaalle - tehdasmurskaus
5. Terminaalihaketus - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajäte polttolaitosmurskaukseen
6. Haketus polttolaitoksella - hake tehtaalle - karsinta-kuorintajätteen polttolaitosmurskaus
7. Tehdashaketus ja -murskaus

Mäntyosapuulla normaaleilla kaukokuljetusmatkoilla tienvarsivarastokäsittelyketjujen kannattavuus on heikompi kuin kokopuulla (kuva 3). Tienvarsivarastokoon on oltava vähintään 500 m³ ennenkuin mikään siihen perustuva ketju tulee edullisemmaksi kuin edullisin muu käsittelyketju. Aina kaikki ketjuvaihtoehdot eivät tule kyseeseen. Jos mäntyosapuulla on käytettävissä esimerkiksi käsittelyketjut 1 ja 7, on tehdaskäsittelyyn perustuva ketju 7 edullisempi 500 m³:n tienvarsivarastokokoon saakka. Tätä suuremmilla varastoilla kannattaisi toiminta keskittää tienvarteen. Suurimmilla tienvarsivarastoko'illa terminaalihaketukseen perustuva ketju 4 näyttäisi epäedullisimmalta.

Suhteellinen selluhakkeen hinta



Kuva 3. Suhteellinen selluhakkeen hinta manuaalisesti hakatulla mäntyosapuulla eri tienvarastoko'illa, Case: normaalit kaukokuljetusmatkat. Käsittelyketjuselitykset kuvan 2 yhteydessä

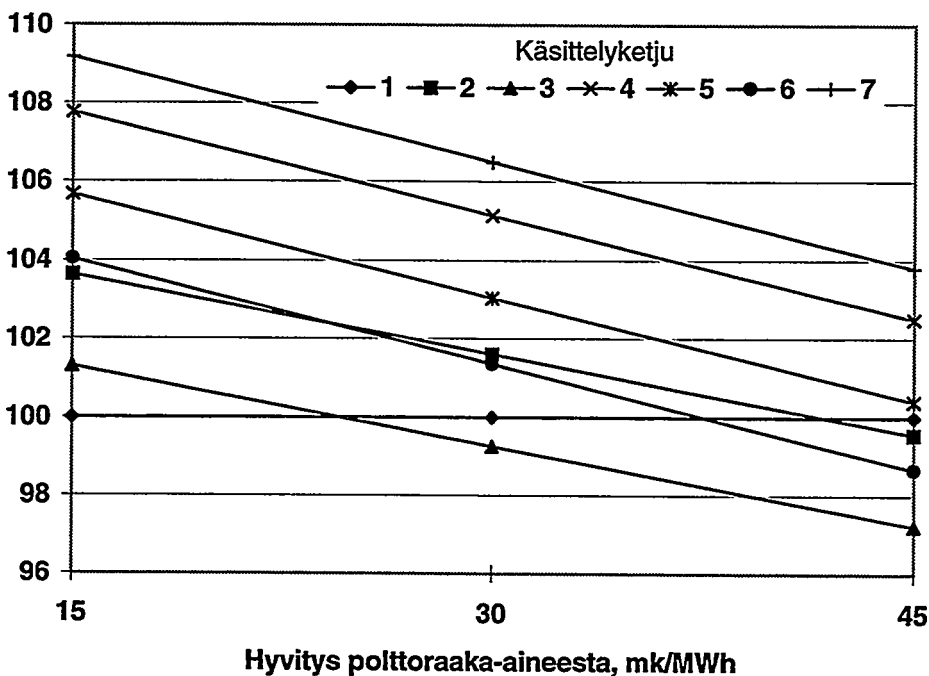
Tavaralajimenetelmiin perustuvien käsittelyketjuryhmien (tienvarsivarastoketjut, muihin varastoihin perustuvat ketjut) sisällä suhteelliset selluhakkeen hintaerot ovat pieniä, noin prosentin. Tienvarsivarastolla tehtävä hakeus tulee jälleen muita menetelmiä edullisemmaksi noin 500 m³:n suuruisilla tienvarsivarastoilla. Näillä oletusarvoilla raaka-aineen ollessa normaali tavaralaji on siten oleellista ainoastaan valinta: hakeus tienvarsivarastolla vai muualla.

Lyhyemmän ja pidemmän kaukokuljetusmatkan vaikutusta tarkastellaan lähemmin puuraaka-aineen ollessa osapuu. Lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla tehdaskäsittelyyn perustuvan ketjun edullisuus paranee suhteessa muihin ketjuihin. Ellei polttolaitos sijaitse sopivan lähellä tienvarsivarastoa, pitää tienvarsivaraston koon olla suuri, vähintään 1000 m³, ennenkuin se kannattaa hakettaa tienvarressa.

Pitkillä matkoillakin ketjujen keskinäiden edullisuus riippuu paljon siitä, miten optimaalisesti polttolaitospaikka sijaitsee tienvarsivarastoon nähden. Jos polttolaitos sijaitsee 50 km:n etäisyydellä tienvarsivarastolta ja polttolaitoksen kautta tehtaalle tulee matkaa 30 km enemmän kuin suoraan tienvarsivarastolta tehtaalle, tulee edullisin tienvarsihaketusketju halvimmaksi noin 300 - 400 m³:n tienvarsivarastokoolla.

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

Suhteellinen selluhakkeen hinta



Kuva 4. Polttoraaka-aineen hyvityshinnan vaikutus suhteelliseen selluhakkeen hintaan manuaalisesti hakatulla mäntyosapuulla. Käsittelyketjuselitykset kuvan 1 yhteydessä.

Merkittävimpiä selluhakkeen hintaan vaikuttavia olosuhdetekijöitä on puuraaka-aineen järeys. Jos puun koko kaksinkertaistuu 0,040 m³:stä 0,080 m³:iin ja samalla tiheys kasvaa 30:stä 50 m³:iin hehtaarilla, pienenee selluhakkeen tuotantokustannukset ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmää käytettäessä noin 13 %.

Jos ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän käytöstä johtuen joudutaan tekemään, parantamaan tai kunnossapitämään varastoalueita, teitä tms. ja tästä johtuva ylimääräinen kustannus on 10 mk/ainespuu-m³, nousee suhteellinen selluhakkeen kustannus niissä käsittelyketjuissa, joita tämä kustannus koskee, reilut 4 %. Vastaavasti, jos em. kustannuserä on 20 mk/ainespuu-m³, nousevat kustannukset lähes 9 %.

Edellä esitettyjä laskentamallilla määritettyjä tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että esitetyt tulokset ovat vain esimerkkejä, joihin sisältyy paljon oletettuja lähtöarvoja. Nämä lähtöarvot voivat jossakin tilanteessa olla hyvin erilaiset, josta johtuen myös tulokset voivat poiketa selvästi nyt esitetyistä. Mallilla on helppo tehdä vertailulaskelmia, mutta aina on pidettävä mielessä, että hyvä lopputulos vaatii myös luotettavat ja eri ketjujen välillä vertailukelpoiset lähtöarvot.

6.2 OSAPROJEKTI 2: YHDISTETTY KETJUKARSINTA- JA RUMPUKUORINTA

Alustavalla prototyypillä vuoden 1994 lopulla tehdyn koesarjan tulokset valmistuivat vuoden 1995 alussa. Ne olivat männyn osalta seuraavat.

Karsimattomasta osapuusta syntyi energiapuuksi soveltuvaa prosessitähdetä yli kaksi kertaa niin paljon kuin karsitusta kuitupuusta. Oksat, pääosa kuoresta ja pääosa runkohukkapuusta poistuivat jo piiskauksessa. Rummutusvaiheeseen jäävän kuoren määrä oli vain puolet tavanomaisesta:

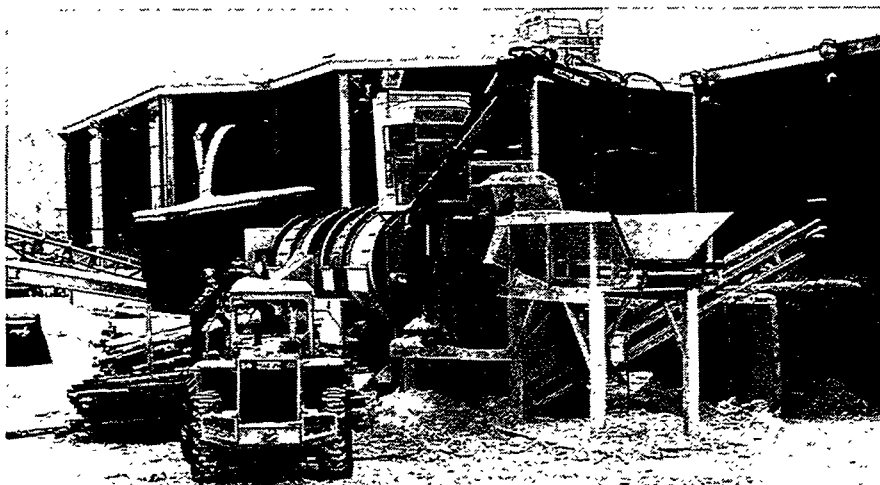
Puutavaran kuorinta-aste	Piiskaustähde		Rumpu- tähde	Kaikki tähde	Kuitupuun kertymä	Kuitupuun + tähde yh- teensä
	Oksat	Kuori+puu	Kuori+puu Osuus syötteestä, %			
Karsittu	0,0	7,6	3,0	10,6	89,4	100,0
Karsimaton	11,3	10,4	2,9	24,6	75,4	100,0

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

kauksessa. Karsimattoman puun parempi kuorintalaatu johtui ilmeisesti olosuhteiden ja ajoarvojen eroista.

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

Pertti Szepaniak Oy kehitti yhdistettyä ketjukarsinta- ja rumpukuorintalaitteistoa loppuvuonna 1994 tehdyistä kokeista saatujen kokemusten perusteella vuoden 1995 aikana. Laitteisto on suunniteltu ja rakennettu täysin uudelleen. Se sijaitsee Enso-Gutzeit Oy:n tehdasalueella Kaukopäässä. Vanhasta koelaitteistosta on jäljellä ketjukarsintayksikkö ja pienrumpu. Ketjukarsintayksikköönkin on tehty muutoksia. Laitteiston muodostavat: nosturi, ohjaamo, syöttölaite, ketjukarsinta-kuorintayksikkö, pienrumpu, laikkahakkuri, seula ja erilaiset pölkkyjen, kuorijätteen ja hakkeen siirtokuljettimet (kuva 5). Laitteisto tuottaa seulottua selluhaketta sekä purua ja oksa-/kuorijätettä polttokäyttöön.



Kuva 5. Pertti Szepaniak Oy:n yhdistetty ketjukarsinta- ja rumpukuorintalaitteisto

Uusittu laitos saavutti tutkimuksiin riittävän teknisen valmiuden vasta helmikuussa 1996, joten viimeisten tutkimusten tulokset eivät ole vielä käytettävissä. Kokeet tehtiin vaikeissa pakkasoloissa. Tästä johtuen vasta kesällä 1996 tehtävä koesarja tulee antamaan selkeän kuvan hakkeen ja polttoaineen laadusta ja määräsuhteista sekä laitteiston tuottavuudesta ja kustannuksista.

6.3 OSAPROJEKTI 3: KETJUKARSINTAMURSKEEN KÄSITTELY JA JAKELU

Vuoden 1994 kokeissa todettiin, että ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön prosessitähteessä on niin paljon kuitupuupölkyistä murtuneita ylisuuria kappaleita, että lämpölaitosten syöttölaitteiden häiriötön toiminta edellyttää tähteen homogenisoimista murskaamalla. Osaprojektissa tutkittiin Morbark 1200 vasaramurskaimen tuottavuutta, joka todettiin niin suureksi, että koneen työllistäminen ja taloudellisuus edellyttävät sen käyttöä ketjukarsintatähteen ohella myös muiden energiaraaka-aineiden käsittelyyn.

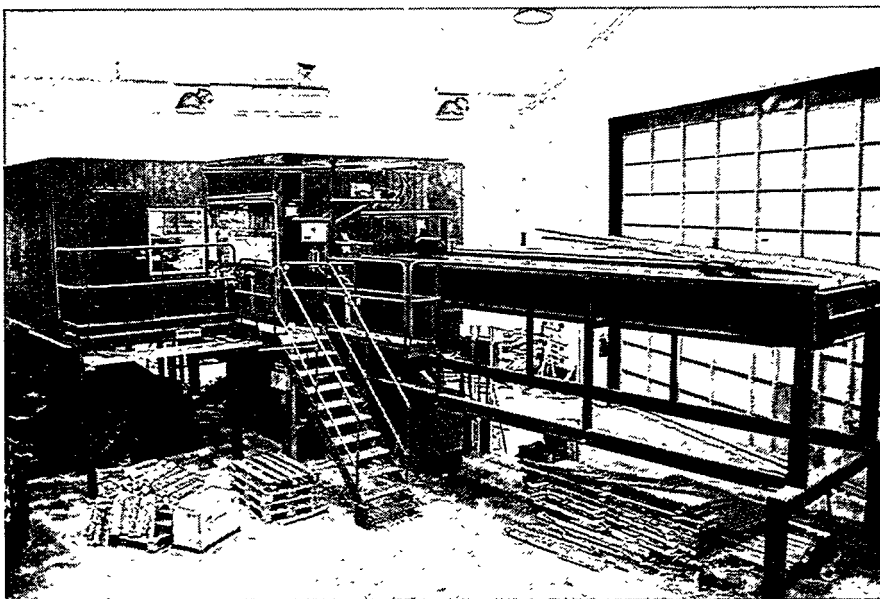
Edellä mainitusta syystä vuonna 1994 tutkittiin Morbark 1200 vasaramurskaimen soveltuvuutta myös hakkuutähteen käsittelyyn. Näissä kokeissa tuotetusta murskeesta valmistettiin 175 tuoretonnin auma, jonka säilymistä seurattiin syksystä 1994 kesään 1995 saakka yhteistyössä projektin 114 kanssa. Toinen puoli aumasta tiivistettiin telaketjutraktorilla, toinen puoli jätettiin tiivistämättä.

Kokeen aikana murskeen kosteus kohoiti aumassa sateiden ja lumen vaikutuksesta 56 %:sta 65 %:iin. Mikrobitoiminnan vaikutuksesta murskeen vetypitoisuus supistui 6,6 %:sta 5,7 %:iin ja hiilipitoisuus kasvoi 50,0 %:sta 51,2 %:iin kuivamassasta laskettuna, mikä kokonaisuutena merkitsi lämpöarvon merkittävää alenemista. Tiivistämisen vaikutus jäi verraten vähäiseksi, joskin se hapensaantia estämällä hidasti murskeen lämpötilan kohoamista. Koe osoitti, että hakkuutähde tulee varastoida mahdollisimman pitkään murskaamattomana. Murskeen varastointiaika tulisi rajoittaa vain muutama viikkoon.

Ketjukarsinta-kuorintatähteestä tehdyn murskeen seulontakokeet osoittivat, että tuote soveltuu palakokojakaumansa puolesta hyvin lämpölaitosten polttoaineeksi. Alkuperäisessä työsuunnitelmassa olleet VTT Energian polttokokeet katsottiin seulontatulosten perusteella tarpeettomiksi, ja niistä luovuttiin kustannussyistä.

6.4 OSAPROJEKTI 4: PUUN KUORINNAN TEHOSTAMINEN KETJUKARSINNASSA

Projektissa on vuoden 1994 aikana suunniteltu laboratoriosimulaattori, joka muodostuu erilaisista moduuleista, joita voidaan kytkeä toisiinsa. Laitteeseen kuuluu syöttö-, ketjukarsija-, ketjukuorija-, harjakuorijayksikkö ja vastaanottotasku. Alkuvaiheessa koelaitteesta toteutettiin syöttö- ja ketjukarsijayksikkö sekä vastaanottotasku (kuva 6). Ketjukarsijayksikköön voidaan vaihtaa ketjujen sijaan harjarumpu, jolloin voidaan selvittää sekä ketjujen että harjojen toimivuutta yksittäisten puiden kuorinnassa. Yksikön sivut on harjojen kohdalta suojattu paksulla lasilla, jolloin päästään tarkemmin seuraamaan ketjujen ja harjojen käyttäytymistä niiden osuessa puuhun. Harjojen "työstökohdat" tullaan kuvaamaan high-speed -videokameralla, jolloin kyetään paremmin analysimaan kuorenirroitustapahtuma.



Kuva 6. Tutkimuksessa käytettävän laboratoriosimulaattorin kuva.

Kuorintasimulaattorilla tutkitaan ketjujen ja harjojen pituuksien, asettelun, iskukulmien ja iskunopeuden vaikutusta oksien ja kuoren poistamiseen. Tutkimuksissa selvitetään erilaisten konstruktioiden yksittäisvaikutukset sekä koskemattomaan puuhun että erilaisilla "esikäsiteltyihin" runkoihin. Laboratoriokokeiden tuloksena saadaan tietoa ketjujen ja harjojen muodoista ja pyörimisnopeuksista sekä kokopuiden/runkojen syöttönopeuksista.

Aluksi koeajoissa keskityttiin laitteen testaukseen ja sen sekä koeajo- että mittauskäytännön luomiseen ja parantamiseen. Varsinaiset koeajot aloitettiin marraskuussa 1995. Kuoren irrotukseen liittyviä koeajoja on tehty ensiharvennusmännnyllä käyttäen eri pituisia, paksuisia ja eri järjestyksissä olevia ketjuja sekä erilaisia "harjakonstruktoita". Puu on ollut jäässä lähes kaikissa koeajoissa. Koeajot ja tulosten analysointi ovat vielä meneillään.

Alustavien tuloksien mukaan on ilmennyt varsin selvästi pyörintänopeuden vaikutus kuorintatulokseen ja puuhävikkiin. Erityisesti jäätyneen männyn karsimiseksi riittää hyvinkin pieni (300 r/min) kierrosnopeus. Riittävän hyvän kuorintatuloksen saavuttaminen yhdellä ketjuparilla vaatii suhteellisen suuret kierrosnopeudet (esimerkiksi 550 r/min). Tällöin kasvaa kuitenkin myös puuhäviöt ketjujen iskiessä liian voimakkaasti runkoon säilöittäen puuta (kuva 7). Rungon rikkoutumisella on myös haittaava (hienontava) vaikutus hakkeeseen hakurissa.



Kuva 7. Eri ketjujen pyörimisnopeuksilla suoritettuja koeajoja. Kokeessa 148 ketjurummun pyörimisnopeus oli 300 r/min ja numerolla 155 merkityssä kokeessa 500 r/min

Harjojen kuorintavaikutus säästää puuta eikä riko itse puuta suurilla kierroksilla kuten ketjut. Tosin pelkillä harjoilla ei varsinkaan jäätyneestä puusta kuori irtoa riittävän hyvin, vaan puut täytyy esikäsitellä esimerkiksi ketjuilla ja suorittaa vasta loppupuhdistus harjoilla.

Tulevaisuuden ketju-harja-kuorintalaitteessa on käytettävä useampaa kuin yhtä ketjukuorintaparia, jotta päästäisiin riittävän pieneen, alle 1 %:n, kuoripitoisuuteen ja lisäksi välttyttäisiin merkittäviltä puuhäviöiltä.

Lisäkoeajoilla määritellään tarkemmin eri ajo- ja kierrosnopeuksien vaikutus kuorintaan ja puuhäviöön. Laboratoriokokeiden perusteella voidaan määritellä hallituissa olosuhteissa erilaisten ketjujen ja harjojen vaikutus eri olosuhteissa kuoren irtoamiseen. Tuloksia hyödynnetään edelleen prototyypin rakentamisessa ja lopullisia tuloksia hyödyntää laitteita valmistava teollisuus omien kuorintalaitteiden valmistuksessa.

7 JATKOTOIMENPITEET

Peterson Pacificin osalta varsinainen tutkimustyö päättyi tähän projektiin. Käytännössä koneeseen tullaan asentamaan alkuvuonna 1996 lisätela, joka parantanee laitteistolla saavutettavaa kuorintatulosta vaikeimmissa olosuhteissa eli puun ollessa jäässä. Toistaiseksi laitteisto on ainoa maassamme. Projektin suurin anti on ollut se, että tämä avasi ketjukarsinta-kuorintaan liittyvän tutkimuksen maassamme. Jatkoprojekteja on jo syntynyt. Nämä aikanaan näyttävät, löytyykö menetelmästä ”viisasten kivi” pienpuun käsittelyyn laajemmassa mitassa.

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

Ketjukarsinta-kuorintasimulaattoritutkimuksen jatkotavoitteena on päästä alle 1 %:n kuoripitoisuuteen ennen haketusta, päästä saannossa ensiharvennuskannella yli 65 %:n ja koivulla yli 75 %:n sekä pienentää hakkurille menevien tikkujen ja epäpuhtauksien määrää. Asetettuun tavoitteeseen pyritään männyllä, kuusella ja koivulla sekä kesä- että talviolosuhteissa. Tavoitteena on edelleen tuotteistaa tutkimuksissa saadut tulokset siten, että olemassaoleviin karsijoihin siirretään vuosina 1996 ja 1997 tutkimuksissa saatu tieto ja vuonna 1998 olisi valmiina uuden sukupolven karsija-kuorijaprototyyppi suomalaisten koneyritysten ja metsäteollisuuden käytössä. Vuoden 1996 tavoitteena on kehittää ketjujen ja erityisesti harjojen parempia muotoja ja materiaalien laatuja sekä puiden hallittua syöttönopeutta. Kokeissa keskitytään erityisesti sekä koivun että kuusen kuorintaan. Tavoit-

teena on päästä myös jäätyneellä puulla selluteollisuuden hyväksyttyn kuoripitoisuuteen mahdollisimman vähällä puuhäviöllä.

8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s. + liitt. 6 s.

Rieppo, K. Pienpuu hyötykäyttöön piiskausmenetelmällä. Koneyrittäjä 1995:1. 14 - 15.

Rieppo, K. Ketjukarsinta-kuorintatekniikalla joustavuutta puunkäsittelyyn. Tekniikan Näköalat-1995:2. s.19.

Rieppo, K., Poikela, A., Hakkila, P. & Aho, V.-J. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 6. Vuosikirja 1994. Osa I: Puupolttoaineiden tuotanto. VTT Energia. 189 - 205.

Rieppo, K., Poikela, A., Hakkila, P. & Aho, V.-J. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla. Väkiraportti 1994. Moniste. Helsinki 3.3.1995. 29 s.

Rieppo, K. Aines- ja energiapuun tuotanto ketjukarsinta-kuorintahaketusyksiköllä. Moniste. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia, Jyväskylä 1995. 4 s.

Rieppo, K. Production of merchantable wood with a chain delimeter-debarker-chipper. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia, Jyväskylä 1995. 4 s.

Rieppo, K. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Julkaisussa: Nurmi, J. & Heino, E. (toim.): Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570. Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, Kannus 1995. 17 - 24.

TEOLLISUUDEN AINESPUUN JA PUUPOLTTO- AINEEN INTEGROITU TUOTANTO - Y106

Kari Kuvaja
Enso-Gutzeit Oy
Metsäosasto
Wolffintie 5
55800 Imatra
Puh. (954) 689 3067
Faksi (954) 689 3000

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 m³ 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-dry drum 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 suoritettuna 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 Metsäntutkimuslaitos (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 terminaaliosuhteissa
- hakkeen kuoripuhtauden varmistaminen

2. Enocell Oy:n rumpukuorintakokeen uusiminen

Vuosi 1995

Varsinaisia tutkimuksia ei enää tehty. Kehitystyön tuloksiin perustuen yksi ketjukarsinta-haketus-yksikkö 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 tienvarsivaroilla 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 puupolttosärmä käytetään Enson Kaukopään voimalaitoksella. Ensimmäiset koetulokset vaikuttavat lupaavilta, varsinkin männyn osalta.

4 JATKOTOIMENPITEET

Mikäli Kaukopään kiinteän yksikön kustannustehokkuus ja tuotteiden laatu vastaavat ennakkolaskelmia, on seuraavana tavoitteena siirrettävän ketjukarsinta-kuivarumpuyksikön kehittäminen. Kehittäjänä olisi edelleen P. Szepaniak Oy ja yksikköä voitaisiin käyttää lähinnä Enson Varkauden integraatin puunhankinta-alueella.

POLTTOJAKEEN HANKINTA PUUN YHDISTEL- MÄKORJUUSSA JA INTEGROITU ENERGIA- PUUN TUOTANTOMENETELMÄ POHJOIS- SUOMESSA - D103, Y114

Ari Hooli	Pekka-Juhani Kuitto	Tapio Ranta
Hooli Oy	VTT Energia	Finntech Ltd. Oy
Niemi-Niemeläntie 193	PL 1603	c/o VTT Energia
95999 Kemi	40101 Jyväskylä	PL 1603
Puh. (9698) 275 300	Puh. (941) 672 611	40101 Jyväskylä
Faksi (9698) 275 307	Faksi (941) 672 597	Puh. (941) 672 611
		Faksi (941) 672 799

Abstract: Integrated production method for wood fuel and pulp wood in Northern Finland

Chip production company Hooli Ltd. has built an innovative mobile chain-flail delimbing-debarking-unit which includes also a hammer crusher for wood fuel. This integrated production method for wood fuel and pulp wood based on that unit has been planned especially for the circumstances where the power or heating plants are near and the pulp mills more remote from the wood processing sites.

The trees are felt into bunches and transported as whole trees or tree-sections to the roadside. The Hooli-unit delimbs and debarks the trees using multi-tree processing. The optimal bark content of Scot pine bolts after processing is under 1 %. All green branches, stops and bark are directly crushed into wood fuel in the same unit. Fuel chips are carried to the nearest power plant. The debarked bolts are transported to the pulpmills in the form of roundwood or pulpchips, thus giving better economy for the whole method. Based on first field experiments in 1995 this method has operated well. However, there are still development work ahead: e.g. good debarking quality of birch and spruce in the winter conditions. To attain the targets of the project looks promising.

The project is carried out as joint project between Hooli Ltd, Finntech Ltd. Oy, the Finnish Forest Research Institute, Veitsiluoto Ltd and VTT Energy. The chain-flail delimbing-debarking-crushing unit was built at Tervolan Konepaja Ky.

1 TAUSTA

Hooli Oy:n yrityshankkeen tavoitteena on kehittää pienpuuston joukkokäsittelyyn soveltuva tuotantomenetelmä, jossa varastoille kuljetetut kokopuut karsitaan ja kuoritaan ketjukarsintayksiköllä kuorettomiksi pölkyiksi ja syntyvä puujäte murskataan samalla koneyksiköllä suoraan polttokäyttöön. Uutta kotimaista teknologiaa edustava ketjukarsintakuorinta-murskauslaite-yhdistelmä mahdollistaa ainespuun korjuun yhteydessä erotettavan energiapuuositteiden (oksat ja kuori) suoran talteenoton, murskauksen ja kuljettamisen hakeautoilla polttolaitoksiin. Karsitut ja kuoritut ainespuupölkyt toimitetaan joko sellaisinaan tavanomaisilla puutavara-autoilla tai haketuksen jälkeen kuorettomana selluhakkeena hakeautoilla jalostukseen.

Laiteyhdistelmän käyttöönottoon perustuva tuotantomenetelmä mahdollistaa harvennus- ja pienpuustojen taloudellisen korjuun ja kuljetuksen Pohjois-Suomen puunhankintaolosuhteissa. Ratkaisussa yhdistyvät puupolttoaineen tuotanto ja jakelu sekä jalostuskelpoisen puukuidun talteensaannon ja laadun parantaminen. Tuotettu puupolttoaine voidaan kuljettaa lähimmälle voimatai lämpölaitokselle ja kuoreton ainespuu edullisesti puunjalostuslaitoksiin. Onnistuessaan menetelmä edistää harvennuspuun hankinnan taloudellisuutta, parantaa aines- ja energiapuun autokuljetuksen kannattavuutta ja käyttölaajuutta sekä tuottaa samanaikaisesti polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimursketta ja laadut täyttävää sellun raaka-ainetta.

Laiteyhdistelmän suunnittelu- ja valmistusprojekti (D103) toteutettiin vuosina 1993 - 1995. Koko tuotantomenetelmän kehittämisprojekti (Y114) aloitettiin loppuvuonna 1995 ja jatkuu.

Projektien vastuullisena johtajana on toiminut toimitusjohtaja Ari Hooli Hooli Oy:stä. Molemmat projektit on toteutettu yhteistyössä Hooli Oy:n, Finntech Ltd. Oy:n, Metsäntutkimuslaitoksen, Veitsiluoto Oy:n ja VTT Energian kesken. Projektien johtoryhmään ovat kuuluneet edustajat lisäksi KTM:stä ja Tekesistä.

2 PROJEKTIN D103:N TAVOITE JA TOTEUTUS

Projektin tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa kotimainen pohjoismaisiin puunhankintaoloihin soveltuva ja uuteen ketjukarsinta-kuorintatekniikkaan ja vasaramurskaukseen perustuva laiteyhdistelmä integroitua puupolttoaineen ja ainespuun tuotantoon.

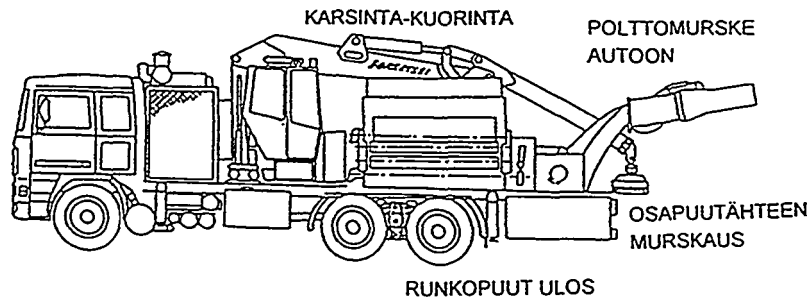
Kauppa- ja teollisuusministeriö myönsi kesällä 1993 Hooli Oy:lle investointiavustuksen laiteyhdistelmän ja sillä tuotetun polttopuumurskeen kaukokulje-

tukseen tarkoitetun puoliperävaunun valmistamiseen. Investointiprojekti toteutettiin Hooli Oy:n johdolla ja päärahoituksella vuosina 1993 - 1995.

KTM:n päätöksen jälkeen käynnistettiin välittömästi laitteiston suunnittelutyöt. Yksityiskohtainen rakennesuunnittelu ja teknisten piirustusten teko aloitettiin viikolla 36/1993. Pääsuunnittelun teki Pasi Hooli, joka on myös osallistunut laitteistosuunnitteluun koko hankkeen keston. Yksikön rakentamisesta tehtiin sopimus Tervolan Konepajan kanssa. Johtoryhmä ohjasi ja valvoi jo laiteyhdistelmän komponenttien suunnittelu- ja rakentamisvaihetta. Lisäksi johtoryhmän asiantuntemus toi arvokkaita soveltamisratkaisuja itse laitteistoyhdistelmän valmistuksessa.

Suunnittelutyöt saatiin valtaosin päätökseen vuodenvaihteessa 1993-94, jolloin tehtiin myös ensimmäiset osalaitetilaukset.

Laitteisto koostuu suuritehoisesta käyttömoottorista, ketjurullastosta, kuljettimista ja energijakeen murskaukseen tarkoitetusta vasarahakusta, sekä voimansiirtoon ja ohjaukseen tarkoitetusta hydraulikasta ja sähköistyksestä. Lisäksi yhdistelmään kuuluu alusta-auto varusteineen, säädettävä ohjaamo ja kuormain.



Kuva 1. Ketjukarsintakuorinta-murskaus-laiteyhdistelmä.

Laiteyhdistelmä on autoalustainen ja soveltuu liikkuvuutensa ja kokonsa puolesta työskentelemään metsäpään välivarastoilla. Välivarastolla koneeseen syötetään tienvarteen kasoihin varastoitua osa- tai kokopuuta auton poikkisuunnassa ketjukarsijaan. Karsitut ja kuoritut pölkyt putoavat auton toiselle puolelle maahan. Oksien, kuoren ja runkohukkapuun muodostama prosessitähde johdetaan vuorostaan vasaramurskaimelle, josta tuotettu polttopuumurske puhalletaan suoraan hakeauton kuormatilaan tai yhdistelmän vetämään perävaunuun. Kuoritut pölkyt voidaan kuljettaa puutavara-

autoilla pölkkyinä tehtaalle tai ne voidaan hakettaa erillisellä hakkurilla kuorettomaksi selluhakkeeksi hakeautoihin joko välittömästi tai myöhemmin.

Projektin alussa todettiin, että kotimaasta tai maahantuojilta ei löytynyt läheskään kaikkia tarvittavia komponentteja. Lähes koko hydraulikka oli tilattava ulkomailta, pääosin Ruotsista ja Saksasta. Osa tärkeimmistä komponenteista (mm. ketjurullastot, syöttölaitteet, energiamurskeen kuljettimet ja vasarahakku) valmistettiin itse. Komponenttien tai niihin tarvittavien osien pitkät toimitusajat viivästyttivät huomattavasti alkuperäistä rakentamisaikataulua. Samoin viivästyttivät komponenttien toimittajien tiukat rahoitus- ja toimitusehdot.

Laitteiston valmistusajankohdaksi oli kaavailtu alunperin kevättä 1994. Em. syistä prototyypin osarakenteiden valmistus, niiden testaukset ja runsaasti virittämistyötä vaatinut komponenttien modifioinnit ja yhdistely viivästyivät niin, että yhdistelmän kokoonpano saatiin valmiiksi ensimmäiseen koekäyttöön 13.1.1995. Jo koekäyttö kuitenkin osoitti, että laitteistoperiaate toimii.

Laitteistoihin tehtiin tarvittavat rakennetekniset muutostyöt ja laiteyhdistelmää testattiin konepajan alueella erilaisilla kokopuuraaka-aineilla Tervolassa. Syyskuussa 1995 laitteisto oli vihdoinkin valmis laajempiin käytännön koeajoihin projektitavoitteen mukaisesti.

Koneyhdistelmän suunnittelussa ja valmistuksessa otettiin jo alunperin huomioon VTT Energiassa suunniteltu puunkuoren harjauslaitetekniikka ja sen asentaminen koneyksikköön ja koekäytöt. Ko. konsepti parantaa valmistuessaan huomattavasti puunkuorinnan laatua ja tasoa etenkin jäätynyttä puuta käsiteltäessä verrattuna pelkkien karsintakuorintaketjujen käyttöön.

Projekti raportoi säännöllisesti toiminnastaan ja välituloksista johtoryhmälle. Lisäksi projektin vaiheista informoitiin *Bioenergian tutkimusohjelmaa* kirjallisesti ja esitelmin sen vuosikokouksissa 1994 ja 1995 sekä ohjelman puupolttoaineen tuotantoalueen kokouksissa. Laiteyhdistelmää on esitelty julkisesti myös messu- ja työnäytöstapahtumissa.

Projektin johtoryhmä totesi lokakuussa 1995 ketjukarsintakuorintamurskainlaitteiston olevan käyttövalmis ja totesi siltä osin projektin päättäneeksi. Myös puoliperävaunun suunnittelu oli aloitettu, mutta Hooli Oy ei aloittanut sen rakentamista, koska kokonaisbudjetti oli ylittynyt jo itse laiteyhdistelmän valmistuksessa. Syinä olivat projektin kuluessa kallistuneet ulkomaiset rakenneosat sekä useat pakolliset komponenttien uussuunnittelut, valmistamiset ja testaukset. Projektista toimitettiin loppuraportti KTM:lle, joka on sen hyväksynyt.

3 PROJEKTIN Y114 TAVOITE JA TOTEUTUS

TEKES myönsi 6.2.1995 Hooli Oy:lle tuotekehitysavustuksen em. koneyhdistelmään perustuvan energia-ainespun tuotantojärjestelmän tuotekehittämiseksi. Projekti aloitettiin loppuvuonna 1995 ja jatkuu. Myös tämä projekti on hyväksytty Bioenergian tutkimusohjelmaan: *"Integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa"*.

Projektin tavoitteena on osoittaa tuotantomenetelmän toimivuus ja liiketaloudellinen kannattavuus Pohjois-Suomen oloissa. Hanke vaatii sekä koneyksikön että tuotantomenetelmän teknislogistisen kehittämisen ja käytäntöön soveltamisen osaksi integroitua puuntuotantoa. Hooli Oy:n lisäksi projektissa on mukana useita tahoja. Veitsiluoto Oy toimittaa tutkimustyömaiden puuraaka-aineen, Finntech Ltd. Oy vastaa tutkimuskokonaisuudesta, sen koordinoinnista ja yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen ja VTT Energian kanssa suorittaa tarvittavat kone- ja menetelmätekniset tutkimus- ja kehittämistyöt.

3.1 TYÖ- JA MENETELMÄTUTKIMUSTEN TOTEUTTAMINEN

Laiteyhdistelmän toimintaa tutkittiin Veitsiluoto Oy:n järjestämällä välivarastoilla Torniossa, Pudasjärvellä ja Ranualla. Laiteyhdistelmä on työskennellyt myös Utajärvellä ja Muhoksella.

Koetyömaiden suunnittelut, puustojen hakkuut ja välivarastoinnit toteutettiin Veitsiluoto Oy:n toimesta elo-syyskuussa 1995. Kaikki kohteet olivat mäntyvaltaisia ensiharvennuksia. Puuraaka-ainemääristä tehtiin koealueittain metsurimittaukset. Varsinaiset ketjukarsintakuorinta-laitteen työhön kohdistuneet työntutkimukset (aikatutkimukset) sekä aines- ja energiapuuhun liittyvät mittaukset tehtiin Torniossa lokakuussa ja marraskuussa 1995 ja Pudasjärvellä tammikuussa 1996. Lisäksi tehtiin työntutkimus Muhoksen kohteella joulukuussa.

Finntech tutki hankintamenetelmän ja ketjukarsinta-kuorintayksikön soveltuvuutta ensiharvennuspun hankintaan sekä toteutti aikatutkimukset välivarastoilla. Metsäntutkimuslaitos on tutkinut samanaikaisesti menetelmän biomassatasetta sekä tuotetun polttomurskeen ja selluhakkeen ominaisuuksia kohteittaisten mittausten ja näytteenottojen avulla. VTT Energian toimesta selvitettiin murskeen vastaanoton ja käytön kysymyksiä lämpölaitoksissa. Lisäksi VTT Energian asiantuntijat ovat osallistuneet tutkimusjärjestelyiden ja niiden toteutusten suunnitteluun.

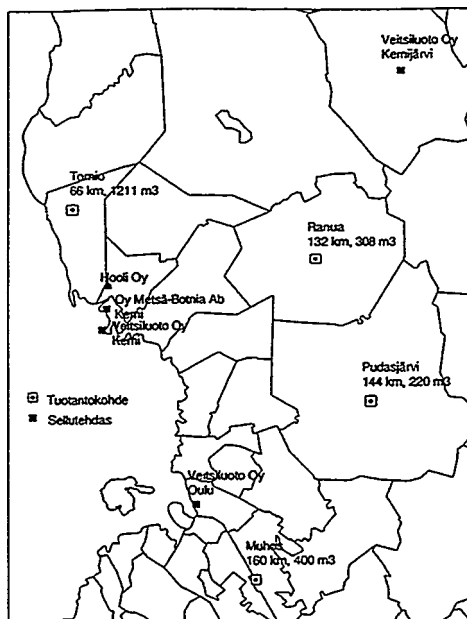
Taulukossa 1 on esitetty kohteittain puumäärät. Kohteilla koivu oli kasattu havupuusta erilleen, kuusi ja mänty oli samoissa kasoissa. Pudasjärven koh-

de oli puhtaasti mäntyä, samoin Tornion toinen leimikko oli melko mäntyvaltainen. Ranuan kohde oli kuusivaltaisain.

Taulukko 1. Veitsiluodon toimittamat raaka-ainemäärät työntutkimuskohteille.

Kohde	Tomio 1		Tomio 2		Ranua		Pudasjärvi	
Puuraaka-ainemäärä (m ³)	418		793		308		219,8	
mänty	377	90 %	635	80 %	187	61 %	219,8	100 %
kuusi	17	4 %	93	12 %	83	27 %		
koivu	22	5 %	65	8 %	38	12 %		
Ainespuumäärä (m ³)	389		645		257		182	
mänty	355	91 %	518	80 %	159	62 %	182	100 %
kuusi	13	3 %	69	11 %	63	25 %		
koivu	21	5 %	59	9 %	35	14 %		
Runkomäärä (kpl)	9048		12346		4698		4663	
mänty	8082	89 %	10132	82 %	2661	57 %	4663	100 %
kuusi	345	4 %	1308	11 %	1281	27 %		
koivu	557	6 %	906	7 %	756	16 %		
d1.3 (cm)	ka + hajonta		ka + hajonta		ka + hajonta		ka + hajonta	
mänty	10.6 + 3.6		10.8 + 3.3		12.0 + 4.1		10.2 + 2.5	
kuusi	10.2 + 2.2		11.1 + 3.5		11.4 + 3.1			
koivu	10.4 + 3.1		12.8 + 4.2		11.0 + 3.6			

Kuvassa 2 on esitetty tutkimuskohteiden sekä Pohjois-Suomen sellutehtaiden sijainnit. Veitsiluodon järjestämillä kohteilta kuoreton selluhake ja murske toimitettiin Veitsiluodon Kemijärven tehtaille. Muhokselta ja Utajärveltä hake toimitettiin Metsä-Botnian Kemijärven tehtaille ja murske Toppilan voimalaitokseen Ouluun. Karttaan on merkitty kohteiden raaka-ainemäärät (m³) ja tieverkon mukainen etäisyys (km) Kemijärven tehtaille.



Kuva 2. Loppuvuoden 1995 ja alkutalven 1996 työntutkimuskohteiden sijainnit.

3.2 TUTKIMUSTULOKSET

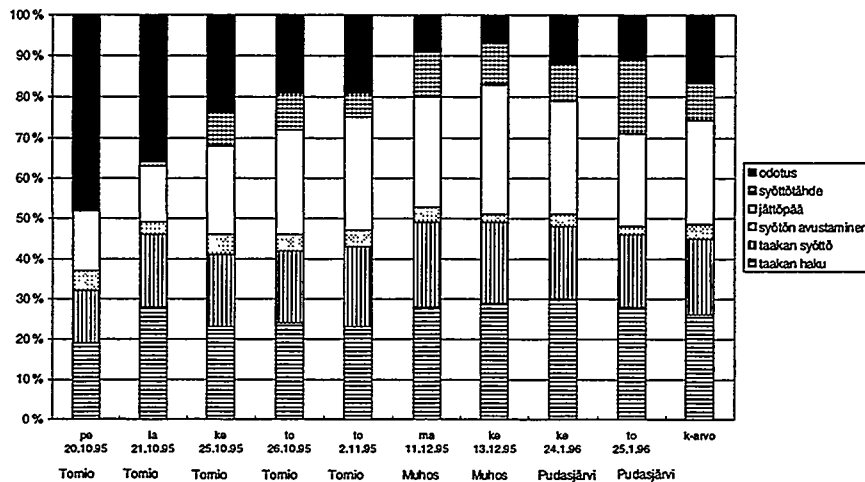
3.2.1. Ajanmenekit ja käyttötuntituotokset

Laiteyhdistelmän ensimmäiset varsinaiset kenttäkokeet käytännön työmailla toteutettiin lokakuun 1995 ja tammikuun 1996 välisenä aikana. Kone- ja menetelmäkehittelyä jatketaan saatujen tutkimustulosten perusteella. Tässä esitetään yhteenvetona tulokset tehdyistä kenttätöistä.

Ajanmenekki ja sen jakautuminen eri tekijöihin määritettiin työmaallaoloajalle. Lisäksi koneen käyttöaika jaettiin edelleen eri työvaiheisiin. Koneen käyttöaika kuvaa koneen varsinaista työskentelyaikaa varastokasatyössä. Käyttötuntituotos sisältää alle 15 min keskeytykset, joiden osuus on kuitenkin pieni. Ajanmenekki- ja tuottavuustulokset on esitetty yksinomaan ketjukarsinta-kuorintamurskauskoneelle. Ketjuun kuuluvien erillisen hakurin ja hakeautojen ajanmenekkejä ja tuottavuuksia ei ole tässä yhteydessä analysoitu. Käytännössä ketjukarsinta-kuorinta-työvaihe on ketjun herkin osavaihe, ja siinä aikaansaatu tuottavuuden lisäys parantaa koko integroidun tuotantoketjun tuottavuutta.

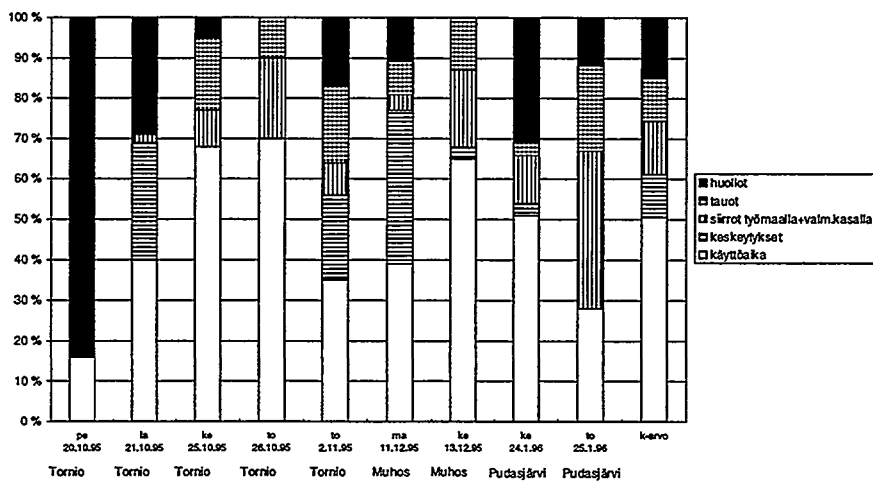
Kuvassa 3 esitetään käyttöajan jakautuminen kuormaintyöskentelyn eri vaiheisiin. Taakkojen noutoon, syöttöön ja sen avustamiseen kului noin 50 % käyttöajasta. Kuorittujen pölkkyjen siirtelyyn ja järjestelyyn kului noin 25 %, syöttöpöydän eteen karsiutuneen oksatähteen syöttöön noin 10 % ja odotusaikaan noin 15 % käyttöajasta. Kuormaimen odotusaikana odotetaan esimerkiksi edellisen taakan kulkeutumista rumpuun, tehdään ketjukarsijan toimintaan liittyviä säätöjä tai odotetaan murskeen kulkeutumista murskaimelle. Koejakson alussa odotusaikojen suhteellisen suuri osuus johtui murskeen syötössä murskaimessa silloin ilmenneistä ongelmista.

Syöttöpöydän tyhjänäkäyntiaikaa ei mitattu erikseen. Sen osuus koko käyntiajasta on kuitenkin merkittävä ja antaa siten lisäpotentiaalia koneen tuottavuuden parantamiseksi. Kuorittujen pölkkyjen järjestelyyn kuluva osuutta on mahdollista huomattavasti pienentää työmaajärjestelyjen avulla sekä pölkkyjen pinonmuodostumista parantamalla. Erityisesti työmaajärjestelyillä, kuten raaka-ainekasojen koolla ja sijainnilla suhteessa koneeseen sekä työskentelytilan suuruudella on vaikutusta kuormaintyöskentelyn ajanmenekkiin. Täten terminaalityöskentelyssä - parempien tilajärjestelyjen johdosta - päästään parempaan tuottavuuteen, kun tuottavan työn suhteellinenkin osuus ajankäytöstä lisääntyy. Puuraaka-aineen ominaisuuksien vaikutusta ajanmenekkiin ja tuottavuuteen ei vielä tutkittu.



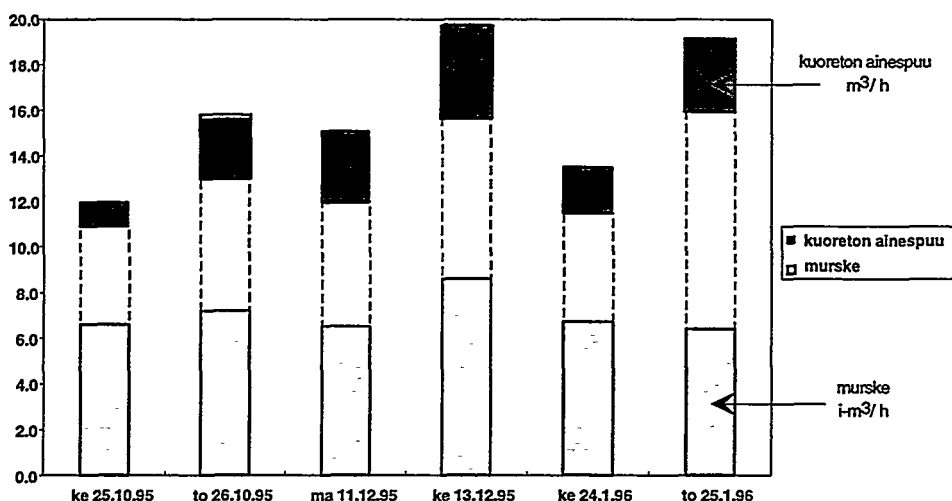
Kuva 3. Käyttöajan suhteellinen jakautuminen kuormaintyöskentelyssä.

Kuvassa 4 esitetään tuotantoajan (tarkoitetaan tässä työmaallaoloaika) suhteellinen jakautuminen eri vaiheisiin. Käyttöajan osuus työmaallaoloajasta oli keskimäärin noin 50 %, kun parhaimmillaan on päästy 70 %:iin. Huollot ja keskeytykset ovat luonteeltaan odottamattomia, kun taas suunnittelu- ja lepotauot ovat luonteeltaan ennakoitavampia. Hallituilla työmaajärjestelyillä pystytään pienentämään siirtoihin ja valmisteluihin kuluva tuotantotonta työaikaa.



Kuva 4. Tuotantoajan suhteellinen jakautuminen.

Ketjukarsinta-kuorintatyön tuottavuus on laskettu koneen käyttötuntia kohti. Se kohdistuu sekä polttomurskeelle ($i\text{-m}^3$) että kuorituille ainespuupölkyille (m^3). Ainespuun kuorinnan tuottavuus vaihteli merkittävästi eri päivien välillä ja myöskin päivän kuluessa. Vaihtelua kuvataan kuvan 5 pylväiden tummalla yläosalla. Murskeen tuottavuuslukuihin vaikuttaa kuorinnan tuottavuuden ohella merkittävästi myös puuraaka-aineen koostumus, kuten puulajisuhteet ja oksaisuus. Tuottavuudessa tapahtuvat suuremmat heilahtelut selittyvät työmaaolosuhteiden eroilla sekä vielä prototyyppivaiheessa olevan koneen teknisellä käyttövarmuudella ja kuljettajan harjaantumisella. Eräänä keinona tuottavuuden parantamiseen nähdään varastotyöskentelyn keskeytysten vähentäminen työmaalogistiikkaa kehittämällä. Toisaalta tuottavuuden nostoa rajoittaa puiden kuoriutumisaste. Riittävän hyvän kuoriutumistuloksen saavuttamiseksi kuljettaja joutuu säätämään taakkojen kokoa ja syöttönopeutta olosuhteiden ja syötettävän raaka-aineen mukaan. Työmaa ja käyttökokemuksen lisääntyessä voidaan jatkossa myös tarkastella puuraaka-aineen ominaisuuksien, kuten puulajin, järeyden ja tuoreuden vaikutusta tuottavuuteen.



Kuva 5. Käyttötuntituottavuus polttomurskeelle ja kuoritulle ainespuulle.

3.2.2 Ainespuun kuoripitoisuus ja menetelmän biomassatase

Metsäntutkimuslaitos selvitti menetelmän biomassatasetta ositteittain ja tuotteiden laatuominaisuuksia. Tuloksista esitetään tässä tiivistelmä. Kenttä-tutkimukset tehtiin Tornion Korttovaaran kohteella 25. - 27.10. 1995 (= koe 1) ja Pudasjärven kohteella 23. - 26.1.1996 (= koe 2). Puut prosessoitiin ensin ketjukarsintakuorinta-murskainyhdistelmällä. Polttomurske puhallettiin hakeauton lavalle. Kuorettomat ainespuupölkyt haketettiin erillisellä hakkurilla selluhakkeeksi.

Korttovaarassa ilman lämpötila oli kuorintatyön aikana -2 - -5 °C ja hake-
tustyön aikana +3 - + 5 °C. Pudasjärvellä pakkanen vaihteli välillä -7 - -22
°C. Kummankin työmaan selluhakkeen ja polttomurskeen tuoremassat mi-
tattiin autovaa'alla tehtaalla. Tornion työmaalla mitattiin myös taakoista
pinon pohjalle jääneen tai tielle varisseen oksatähteen varastotappiomäärät.
Raaka-aineen laatuominaisuuksia varten analysoitiin laboratoriossa koe-
pölkkyjen kuorinäytteet kiekkoina ja pölkyttäiset oksanäytteet. Selluhakkeis-
ta analysoitiin kuoripitoisuus jakeittain, palakokojakaumat ja kosteudet.
Polttomurskeista mitattiin puukuitupitoisuudet, palakokojakaumat, kosteu-
det ja tuhkapitoisuudet.

Osapuun ominaisuuksista voidaan todeta, että kuoren osuus oli sama kuin
Etelä-Suomen ensiharvennusleimikoitten pystypuustossa (9,7 % ja 10,1 %).
Puutavaran kosteus vastasi lähes kaatotuoreen ensiharvennusmännyn kes-
kimääräistä kosteutta, vaikka puut oli kaadettu valtaosin elokuussa 1995.
Taulukossa 2 esitetään lisäraaka-aineen ja veden suhteelliset osuudet puu-
raaka-aineessa.

Taulukko 2. Puuraaka-aineen koostumus.

Komponentti	Koe 1	Koe 2
	Suhteellinen osuus, %	
Rungon puuaine	76,7	81,2
Rungon kuori	8,2	9,1
Oksat	15,1	9,7
Kuivamassa yhteensä	100,0	100,0
Vesi	139,2	130,4
Tuoremassa yhteensä	239,2	230,4

Selluhakkeen, polttomurskeen ja maahan jääneen oksatähteen punnitusmit-
tausten perusteella saatiin tutkimuksen kohteena olleelle osapuulle taulukon
3 mukainen raaka-ainetasekaavio. Tasekaavio näyttää jo tutkimuksen tässä
vaiheessa edulliselta. Runkopuukuitua joutuu polttomurskeeseen vain vä-
hän. Kuitenkin kuorta jää selluhakkeeseen vielä yli tavoiterajan.

Taulukko 3. Ketjukarsinta-kuorintamenetelmän raaka-ainetasekaavio.

	Koe 1	Koe 2
SELLUHAKE:	Osuus biomassasta, %	
Hakkeen puuaine	72,6	77,3
Hakkeen kuori	1,4	1,8
Hakkeen puru (alle 3 mm)	1,5	1,2
Hake yhteensä	75,5	80,3
MURSKKE:		
Murskeen puuaine	3,3	1,4
Murskeen kuori ja oksat	18,7	15,8
Murske yhteensä	22,0	17,2
HÄVIKKI:		
Maahan jäänyt oksatähde	2,5	* 2,5
Kaikki biomassa yhteensä	100,0	100,0

* Arvio, ei perustu mittauksiin

Taulukossa 4 esitetään kuorettomista ainespuupölkyistä laikkahakkurilla tuotetun hakkeen palakokojakauma. Tuloksiin vaikutti se, että hakkuri oli ensimmäisen kentäkokeen jälkeen huoltokorjauksessa. Kun alle 3 mm:n puru eroteltiin ensin seulomalla, hakkeen kuoripitoisuus oli 1,8 % ja 2,3 %. Kun kuitenkin otetaan huomioon puiden pieni koko ja kokeen aikainen pakkakanen, niin kuorintatulos on ketjukarsinta-kuorintatekniikan teknisiin mahdollisuuksiin nähden melko hyvä. Jatkokehittämismahdollisuudet ovat hyvät.

Taulukko 4. Selluhakkeen palakokojakauma.

	Koe 1	Koe 2
	Osuus kuivamassasta, %	
Ylipitkä (45 mm+)	0,8	0,1
Ylipaksu (8 mm R+)	12,9	3,1
Ylite yhteensä	13,7	3,2
Hyväksytty (13-45 mm)	60,4	53,1
Hyväksytty (7-13 mm)	17,7	31,6
Hyväksytty yhteensä	78,1	84,7
Neulahake	6,2	10,7
Puru	2,0	1,5
Alite yhteensä	8,2	12,2
Kaikki yhteensä	100,0	100,0

Polttomurskeen kosteus oli 55,2 % ja 58,1 %. Murskeen runkopuukuitupitoisuus oli 15,2 % ja 8,0 %. Puuhävikki aiheutui osaksi kuitupuupölkkyjen vaippapinnalta irronneista tikuista ja osaksi pölkyistä katkenneista latvoista. Taulukossa 5 kuvatun polttomurskeen palakokojakauma oli hyvä. Runkopuun hävikiksi mitattiin ensimmäisessä kokeessa 4,2 % ja toisessa 1,7 %.

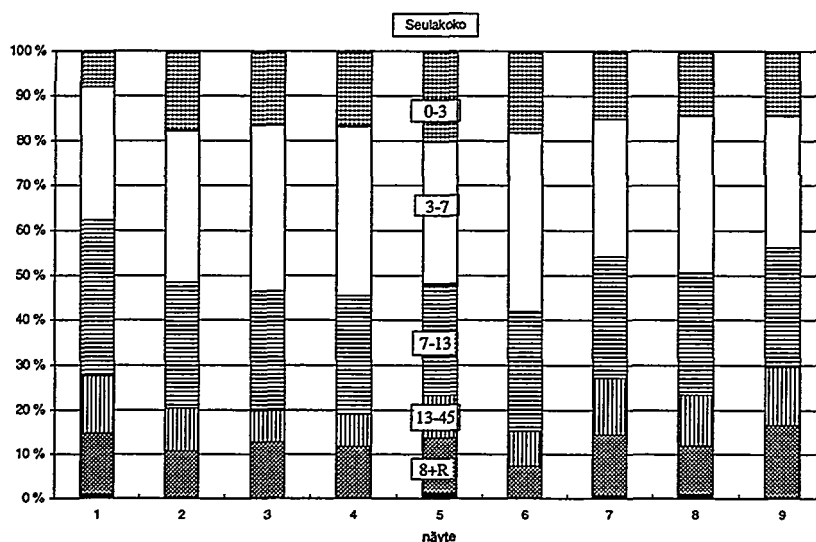
Taulukko 5. Polttomurskeen palakokojakauma.

Seulontajae, mm	Koe 1	Koe 2
	Osuus kuivamassasta, %	
45+	0,7	0,2
8+R	11,6	16,2
13-45	9,7	7,2
7-13	27,2	29,2
3-7	28,2	35,9
0-3	22,6	11,3
Yhteensä	100,0	100,0

Myös VTT Energia teki seulontakokeet Tornion Korttovaarasta kerätyille murskenäytteille. Taulukossa 6 esitetään polttomurskeen palakokojakauma kunkin näytteen osalta. Keskimäärin palakokojakauma oli seuraava: 45+: 0,5 %, 8+R: 12,1 %, 13-45: 10,2 %, 7-13: 27,5 %, 3-7: 34,0 % ja 0-3: 15,8 %. Taulukossa luokka, 45+, on esitetty tummalla yhtenäisellä kuviolla. Tulokset vahvistavat Metsäntutkimuslaitoksen mittaustulosten yleisselittävyttä murskeen palakokojakaumasta.

Murskeen käyttäytymistä tyypillisissä Pohjois-Suomen lämpölaitoksissa ei toistaiseksi kokeiltu tehdyille koe-erillä. Tammikuussa VTT Energia haastatteli laitoksien henkilökuntaa ja selvitti potentiaalisten laitosten murskeen vastaanoton ja polton mahdollisuuksia. Tuotettu polttomurske muistuttaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon hakkuutähdehaketta, jonka perusteella murske soveltuu teknisesti useimpiin lämpölaitoksiin. Kosteutensa johdosta se soveltuu parhaiten seospolttoon, jotta kattiloista saataisiin täysi teho talviaikana.

Taulukko 6. Polttomurskeen palakokojakauma Korttovaaran tuotantokoh-
teella.



4 PÄÄTELMÄ

Ketjukarsintakuorinta-murskainyhdistelmän ensimmäiset käytännön mittakaavan kokeet ovat vasta alkaneet. Talviolosuhteet huomioonottaen tulokset ovat lupaavia koneen ja koko menetelmän jatkokehittelyn kannalta. Kehitystyö jatkuu yritysprojektina, jolloin keskitytään erityisesti kuorintatuloksen parantamiseen ja varastotoimintojen optimointiin koko tuotantoketjun kannalta. Kuorintatuloksen tehostamisratkaisuna saattaa olla VTT Energiassa parhaillaan kehitteillä oleva kuorenharjaustekniikka ja/tai lisäketjurullaparin asentaminen laitteeseen. Samoin hankintaketjun kustannusten alentamiseksi haetaan ratkaisuja menetelmän logistiikan kehittämiseen. Menetelmän perusideana on jo metsäpäässä erottaa ainespuu- ja energijakeet toisistaan. Tämä soveltuu erityisesti Pohjois-Suomen olosuhteisiin pitkien kuljetusmatkojen johdosta. Polttomurske kuljetetaan välittömästi lähimpään lämpö- tai voimalaitokseen. Ainespuukuitu toimitetaan kuorettomana joko pölkkynä tai hakkeena jalostuslaitoksiin omana erillisenä vaiheenaan. Kuljetustalouden parantamisen lisäksi kilpailukykyä haetaan kuljetusten ohjauksen kautta, kuten menopaluu- ja monikulmio-kuljetusmahdollisuuksien hyödyntämisellä. Lisäksi selvitetään erilaisten puutavara-pitäjäterminaalien käyttömahdollisuuksia. Ohjausta helpottaa se, että kyseessä ei ole välivarastotyössänsäkään ns. kuuma ketju haketuksen suhteen.

5 JULKAISUT

Hooli, A. 1994. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa. Bioenergian tutkimusohjelma, Vuosikirja 1993. OSA I, Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 3, s. 153 - 159.

Hooli, A. 1995. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa. Bioenergian tutkimusohjelma, Vuosikirja 1994. OSA I, Puupolttoaineiden tuotanto. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 6, s. 215 - 219.

Hooli, A. 1995. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa. Loppuraportti KTM:lle. Luottamuksellinen.

PUUN KORJUU PALAHAKKEENA JA MONIVAI- HEINEN LASTUAMINEN - 102

Heikki Kaipainen, Veli Seppänen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Abstract: Wood harvesting as chunkwood chips and multi-stage chipping

The task for the year 1995 was to define the preliminary results of the previous years, to measure the productivity of a harvester, designed for production of chunkwood, and the properties of the chunks. The costs of the PALAPUU method from the felling site to pulpwood chips were to be examined on this basis. Because the prototype of the harvester was not yet available for field tests, the costs were partially calculated on the basis of previous measurements, completed by productivity data obtained from the time-consumption measurements of a multi-tree harvester, applied with minor alteration for this purpose.

According to the calculations the PALAPUU method cannot compete with partial-tree or shortwood methods. The profitability of the method could be improved by adding the transportation density and the productivity of the harvester. It is also possible to procure timber to the mill as partial-trees and to chunk it while feeding it into the drum.

Chipping tests were made using the steel-frame-chipper owned by VTT Construction Technology. The blade construction of the chipper was changed so, that it was possible to adjust the cutting thickness of the chips to 4 mm, while in the previous mill-tests it had been 6 mm. This resulted that about 85 % of the total volume of chips was of the desired thickness (2-6 mm), but the formation of dust appeared to be one of the disadvantages of the method, and that the chips broke down in the chipper.

The chips were used for cooking tests in the Department of Chemistry of the University of Jyväskylä. The results showed that the thinner chips were cooked further under the same cooking conditions. While cooking to low kappa-number the 2-4 mm chips resulted in high mass-yield, while in cooking to higher kappa-numbers the 4-6 mm chips resulted in the best yield.

By using the chunkwood method it is possible to harvest 10-70 more biomass for the mills, than it is possible in the pulpwood harvesting. It is possible to achieve 10 % more fuel fraction in the case of birch, and 150 % more with spruce than it is possible in pulpwood harvesting.

1 TAUSTA

Yksityismetsien harvennusten tarve vastaa Suomessa vuosittain vähintään 6 milj. m³:n hakkuukertymää. Pieniläpimittaisen puun korjuukustannukset ovat tavaralajimenetelmällä korkeat ja rumpukuorinnassa puuhävikki on 5 - 30 %. Teollisuuden käyttöön ottamia uusia korjuutekniikoita ovat korjuu osapuuna ja pienten puiden rumpu- ja ketjukarsintakuorinta. Kyseiset menetelmät eivät ole toistaiseksi ratkaisseet korjuukustannusongelmaa, joten yhä edullisimpia menetelmiä tulee kehittää. Toisaalta pieniläpimittaisesta havupuusta valmistetun hakkeen kuituominaisuudet ovat lyhyestä kuidunpituudesta johtuen heikommät kuin järeämmästä kuitupuusta valmistetun hakkeen.

VTT Energia on kehittämässä menetelmää, jossa prosessivaiheita ovat 300 - 700 mm:n pituisten puupalojen valmistaminen karsimattomasta puusta, palojen kuorinta ja hakettaminen tai lastuaminen. Menetelmälle on saatu patentti (Seppänen 1991). Menetelmää on tutkittu käyttäen palahaketta (Kaipainen & Seppänen 1993a) ja 300 mm palaa (Kaipainen & Seppänen 1993b). Nyt suoritetussa tutkimuksessa oli tarkoitus tutkia PALAPUU-menetelmän käsittelyketjua puun kasvupaikalta selluhakkeeksi sekä tehdä aiemmin tehtyjen haketus- ja lastuamiskokeiden materiaaleilla keittokokeita. Tutkimukseen kiinteästi liittyvä palapuun tekoon tarvittavan koneen valmistuminen viivästyi siinä määrin, että menetelmän laskennan kannalta tärkeät suureet jäivät niin metsäpään kuin kaukokuljetuksenkin osalta tarkentamatta. Korjuuketjun ja palojen tehdaskäsittelyssä syntyneitä kustannuksia selvitettiin muista tutkimuksista saaduilla ja kokeimuksen antamien arvojen avulla. Keittokokeet raportoidaan yksityiskohtaisesti Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella suoritetussa opinnäytetyössä.

2 TAVOITE

Tavoitteena on kehittää ensiharvennuspuulle soveltuva teollinen prosessi, joka tuottaa polttoainetta alle 45 mk/MWh:n kustannuksella ja teollisuuden laatuvaatimukset täyttävää raaka-ainetta (koivun kuoripitoisuus alle 1 %, kuusen kuoripitoisuus alle 0,5 %). Lastun paksuutta tulee voida hallita nykyistä paremmin ja kyetä tuottamaan uudentyyppistä raaka-ainetta sekä hierteen että sellun valmistukseen vastaamaan alan viimeisimpiä kehitystarpeita.

3 TOTEUTUS

Projekti toteutettiin VTT Energian tutkimusalueen koordinoimana vuosina 1993 -1995. Hakkeiden ja lastujen keittokokeet tehtiin Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella Jussi Ahosen toimesta prof. Raimo Alenin johdolla.

4 TEHTÄVÄT

Projektin osatehtävät olivat:

1. Kenttäkokeet Eko-log Oy:n korjuukoneen prototyypillä.
2. Tehdaskokeet kuorimarummulla kohdassa 1 valmistetuilla paloilla.
3. Hakkeen valmistuskokeet kuorimon pätkähakku-linjalla.
4. Lastuamiskokeet joko ylipaksun hakkeen ohentamiseen tarkoitetulla slicer-tyyppisellä laitteella tai modifioidulla teräkehälastuajalla.
5. Polttoaineen ominaisuuksien määrittäminen ja polttoaine-/raaka-ainetaseen määrittäminen.
6. Laskelmat menetelmän taloudellisuudesta.
7. Lastujen keittokokeet.
8. Raportointi ja tiedottaminen projektin tuloksista.

5 RAHOITUS

RAHOITTAJA	1993 mk	1994 mk	1995 mk	YHT. mk
Bioenergian tutkimusohjelma	300 000	300 000	250 000	850 000
VTT	130 000	130 000	180 000	440 000
YHTEENSÄ	430 000	430 000	430 000	1 290 000

6 TULOKSET

Vuoden 1995 tehtävänä oli tarkentaa aiemmin tutkimuksessa saavutettuja tuloksia ja mitata Eko-log Oy:n korjuukoneen prototyypin tuottavuutta ja valmistetun palan ominaisuuksia kuten kuljetustiheyksiä, oksien hävikkiä hakkuussa ja palan mittatarkkuutta. Niiden perusteella oli selvitettävä PALAPUU-metelmän kustannukset puun kasvupaikalta selluhakkeeksi. Koska korjuukone ei valmistunut ajallaan, myöskään mainittuja lisäkokeita ei pystytty tekemään. Näin ollen tutkimuksen tämä vaihe on korvattu kustannuslaskennalla, jossa on käytetty tutkimuksen aiempia tuloksia vain kuljetustiheysien osalta. Muutoin laskenta perustuu joukkokäsittelykoneen ajanme-

nekkitutkimuksissa saatuihin tuottavuuslukuihin, joita on sovellettu pienin muutoksin tätä tarkoitusta varten.

Lastuamiskokeita jatkettiin VTT Rakennustekniikan teräkehälastuajalla, jossa lastuttiin aikaisemmissa kokeissa saatua haketta.

Tutkimuksen yksi osatehtävä oli tehdä tutkimuksessa valmistetuilla hakkeilla keittokokeet Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella.

6.1 PALAPUU-MENETELMÄN KUSTANNUSLASKENTA

6.1.1 Palan valmistus ja metsäkuljetus

Palamenetelmään liittyvät hakkuukustannukset on määritetty käyttämällä hyväksi joukkokäsittelyharvesteriin liittyviä tutkimustuloksia (Noponen & Vesisenaho 1996). Tällöin palan valmistukseen kuluva lisäaika on määritetty katkaisusahaukseen kuluvan ajan ja valmistettavan palan pituuden perusteella. Lasketut tulokset on saatettu vertailukelpoisiksi tyypillisiin ensiharvenusten runkolukusarjoihin suhteuttamalla käyttötuntituottavuudet yksinpuinkäsittelyn käyttötuntituottavuuksien suhteen perusteella. Tällöin on oletettu, että joukko- ja yksinpuinkäsittelyn tuottavuuksien suhde pysyy muuttumattoman. Kustannuslaskelmissa käytetyt tutkimusten tulokset:

- Koska ajanmenekkitutkimuksessa (Noponen & Vesisenaho 1996) käytetty kone ei toiminut odotetulla tavalla ja puuston esiintymistiheys ei ollut joukkokäsittelylle paras mahdollinen, korjattiin saatua tulosta kertoimella. Kerroin saatiin jakamalla vastaavanlaisessa ajanmenekkitutkimuksessa, mutta suuremmassa puustossa saatu tulos (Lilleberg 1994) ajanmenekkitutkimuksen (Noponen & Vesisenaho 1996) tuloksella. Kerroin määritettiin männikön joukkokäsittelystä.
- Korjuukoneen (palanteko+kuljetus) tuntihinnaksi arvioitiin 300 mk.
- Metsäkuljetuksen kuljetustiheydet määritettiin vuonna 1995 tehtyjen mittausten perusteella (Seppänen & Kaipainen 1995).

6.1.2 Kaukokuljetus

Kaukokuljetuksessa on oletettu käytettävän täysperävaunullista vaihtolava-autoa, jonka kustannukseksi on arvioitu 350 mk/h. Vaihtolavojen käsittelyajat on arvioitu ja ajoaikana on käytetty kuitupuun kuljetuksessa käytettyä ajanmenekkiä. Materiaalien kuljetustiheytenä on käytetty samoja arvoja kuin metsäkuljetuksessa.

6.1.3 Palapuun tehdaskäsittely

Palapuun tehdaskäsittely pitää sisällään palojen kuorinnan kuitupuun seassa ja haketuksen selluhakkeeksi. Tehdaspään kuorinta- ja haketuskustannuksina on käytetty kokemusperäisiä kuorimon muuttuvia kustannuksia, joihin on lisätty PALAPUU-menetelmän syöttölaiteinvestoinnin aiheuttama kustannus 2 mk/m³.

6.1.4 Palapuu-menetelmän kustannusvaihtoehdot

PALAPUU-menetelmän kustannustarkastelut tehtiin koivulla ja kuusella käyttäen kolmea palapituutta (300 mm, 500 ja 700 mm). Menetelmää verrattiin perinteisiin osapuu- ja tavaralajimenetelmiin, joissa ei alle Ø 7 cm:n latvapuuta kerätty talteen. PALAPUU-metelmissä käsiteltiin vaihtoehtoja, joissa ei kerätty talteen alle Ø 5 cm:n eikä alle Ø 7 cm:n latvoja sekä tapausta, jossa myös latva oli mukana. Taulukkoon 1 on koottu saadut kustannuslaskennan tulokset kaikista kolmesta tapauksesta.

Taulukko 1. PALAPUU-menetelmän vertailu koivulla ja kuusella.

PUULAJI (KO = koivu, KU = kuusi) PALAN PITUUS, mm (Op. = osapuu, Tav. = tavaralaji)		KO 300	KO 500	KO 700	KO Op.	KO Tav.	KU 300	KU 500	KU 700	KU Op.	KU Tav.
Latvan kat- kaisu- läpimitta	cm A	0	0	0	7	7	0	0	0	7	7
	B	5	5	5	7	7	5	5	5	7	7
	C	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Ainesrunko- puun kanto- hinta	mk/m ³	98	98	98	98	98	110	110	110	110	110
Korjuussa talteensaata- va biomassa kuitupuuhun verrattuna	m ³ /m ³ A	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,7	1,7	1,7	1,2	1,0
	B	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,2	1,0
	C	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
Talteensaata- van bio- massan kantohinta	mk/m ³ A	73	73	73	97	98	64	64	64	89	110
	B	88	88	88	97	98	73	73	73	89	110
	C	97	97	97	97	98	89	89	89	89	110
Hakkuun kustannus	mk/m ³	0	0	0	84	0	0	0	0	0	69
Hakkuu + paloittelun kustannus	mk/m ³ A	148	103	83	0	0	108	76	61	0	0
	B	117	84	71	0	0	95	69	58	0	0
	C	100	74	63	0	0	89	65	56	0	0
Hakkuu + metsäkulje- tus, 250m	mk/m ³	0	0	0	59	0	0	0	0	68	0
Metsäkulje- tus, 250 m	mk/m ³	22	27	32	0	26	29	33	27	0	23
Metsäpää- yhteensä	mk/m ³ A	240	179	155	59	110	152	119	96	68	92
	B	194	152	136			137	111	92		
	C	168	137	125			129	107	90		
Kaukokulje- tus, 80 km	mk/m ³	30	38	44	43	32	40	45	37	46	30
Puunhankin- nan yleis- kustannukset	mk/m ³	15	15	15	20	20	12	12	12	17	20
		18	18	18			14	14	14	17	
		20	20	20			16	16	16	16	
Biomassan hinta tuo- tantolaitok- sella	mk/m ³ A	357	305	287	219	260	268	240	209	219	252
	B	329	296	286			263	243	215		
	C	315	291	286			275	258	232		
Rumpukuorinta ja haketus	mk/m ³	15	15	15	13	11	21	21	21	19	8
Selluhak- keen tuo- tantokus- tannukset	mk/m ³ A	520	435	407	267	312	553	523	438	352	316
	B	436	387	374			491	476	408		
	C	399	367	360			464	456	399		
Polttojakeen arvo	mk/MW h	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

Taulukon 1 perusteella voidaan todeta, että asetetulla polttojakeen arvolla sellujakeen kustannukset ovat selvästi korkeammat kuin kuitupuu- tai osapuumenetelmillä. Hakkuukustannuksia tulisi alentaa ja kuljetustiiviyttä parantaa. Eräs mahdollisuus alentaa palamenetelmän kustannuksia on hankkia puu tehtaalle osapuuna ja pätkiä se vasta kuorimarumpuun syötettäessä.

6.2 LASTUAMISKOKEET

Väli raportissa (Seppänen & Kaipainen 1995) esiteltyjä lastuamiskokeita jatkettiin VTT Rakennustekniikan teräkehälastuajalla, jolla suoritettiin SASMO HP-21/M-hakurilla tehdyn kuusihakkeen lastuaminen. Hake oli tehty kuoritusta, 2 m pitkistä kuitupuusta. Lastuajan vastakkain pyörivät kehä ja roottori muutettiin pyörimään tässä kokeessa samaan suuntaan. Lastun leikkauksenopeus säädettiin 17 metriksi sekunnissa. Lastuajan terärakennetta muutettiin niin, että lastun tavoitepaksuuteen pyrittiin 4 mm:n leikkauspaksuudella. Taulukossa 2 on kaksivaiheisessa lastuamiskokeessa saatujen lastujen seulonta-analyysien tulokset.

Taulukko 2. VTT Rakennustekniikan lastuajalla tehtyjen lastujen seula-analyysit. (M-hake = kaikki jakeet mukana, M: yli // 4 mm = poistettu alle // 4 mm:n jakeet, M: yli // 6 mm = poistettu alle // 6 mm:n jakeet).

	KUUSI		
Lastuttava hake	M - hake	M: yli // 4 mm	M: yli // 6 mm
SCAN-seula:			
Reikä 45 mm	0,07	0,12	0,08
Rako 8 mm	0,33	0,21	0,33
Reikä 13 mm	21,24	23,75	25,89
Reikä 7 mm	40,79	39,85	40,09
Reikä 3 mm	33,48	31,88	29,71
Pohja	4,09	4,19	3,90
Rako-seula:			
10 mm	0,14	0,20	0,35
8 mm	0,25	0,25	0,17
6 mm	0,85	0,75	0,59
4 mm	41,26	43,64	45,35
2 mm	42,32	41,24	40,19
Pohja	15,18	13,92	13,35

Kaksivaiheisen lastuamisen tavoitepaksuuden (2 - 6 mm) saanto oli kaikissa tapauksissa noin 85 %. Koska alkuperäisessä M-hakkeessa on 1,5 % alle //2 mm:n purua, 5,5 % //2 - 4 mm:n jaetta ja 11,5 % //4 - 6 mm:n jaetta, niin //2 - 6 mm:n jakeen saannon maksimoimiseksi kannattaa M-hake paksuusseulaa 6 mm:n rakoseulalla, jolloin //2 - 6 mm:n saanto nousee 83,6 %:sta 86,7 %:iin. Hienoineksen suuri määrä voi johtua lastuajan lasturaon ahtaudesta (4 mm), jolloin lastu ei leikkautuessaan päässyt vapaasti poistumaan kehältä, vaan sen viipymäaika lastuajassa kasvoi aiheuttaen lastujen lisäjauhautumista. UPM:n hakeleikkurilla tehdyissä lastuamiskokeissa (Kaipainen & Seppänen 1995), jossa lastun paksuus oli säädetty 6 mm:iin, oli //2 - 6 mm:n lastusaanto 65 % ja hienoinenosuus 6,0 %. Kokeen ensilastuaminen tehtiin samalla hakkurilla mutta 700 mm:n pituisista kuusipaloista.

Nykyisen tehdashakkeen tavoitehakepalakoon eli 13 mm:n seulalle jäänyt osuus oli vain 20 - 25 %, 7 mm:n ja 13 mm:n seuloille jääneen materiaalin yhteismäärä nousi yli 60 %:n.

Hakeanalyysit osoittivat, että pitkän lastun valmistuksessa ohuet hakepalat katkeilevat ja 2-vaiheisessa lastuamisessa lastut katkeilivat alkupituudestaan. Lastupituuteen tulee kaksiosainen jakauma, joista lyhyemmät ovat 15 - 20 mm ja pidemmät 35 - 45 mm.

6.3 HAKKEIDEN KEITTOKOKEET

Keittokokeisiin valmistettiin hakkeita teollisilla tai teollisesti sovellettavilla laitteilla. Laitteiden kapasiteetti ei tosin kaikkien menetelmien osalta ollut teollista kapasiteettia. Tuotetuista hakkeista seulottiin paksuuden mukaan jakeita, jotka keitettiin laboratoriokeittimellä Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella. Keittokokeiden avulla oli tavoitteena selvittää, pystytäänkö palahakkeesta valmistamaan käyttökelpoista haketta selluteollisuuteen ja voisiko uudenaikaisella lastuamistavalla parantaa hakkeen keitto-ominaisuuksia. Kokeissa käytetyt hakkeet valmistettiin ensiharvennuskouksesta ja olivat:

1. Käsillä kuorittu 200 cm pitkä kuitupuu, joka on haketettu Enocell Oy:n päähakulla ja hakkeesta seulottu VTT:n paksuusseulalla 2 - 4 mm jae
2. Kuten 1, mutta paksuusjake 4 - 6 mm
3. Kuten 1, mutta paksuusjake 6 - 8 mm
4. Enocell Oy:n kuorimarumulla kuorittu 700 mm pätkää, joka haketettu Enocell Oy:n pätkähakulla ja hakkeesta seulottu VTT:n paksuusseulalla 2 - 4 mm jae
5. Kuten 4, mutta paksuusjake 4 - 6 mm,
6. Käsillä kuorittu 200 cm pitkä kuitupuu haketettu Sasmo-hakkurilla M-terällä ja hake ohennettu hakeleikkurilla nimellispaksuuteen 6 mm ja ohennetusta hakkeesta seulottu VTT:n paksuusseulalla 2 - 4 mm jae
7. Kuten 6, mutta paksuusjake 4 - 6 mm

8. Käsien kuorittu 200 cm pitkä kuitupuu haketettu Sasmo-hakkurilla M-terällä 50 mm palapituuteen ja hakkeesta seulottu VTT:n paksuusseulalla 2 - 4 mm jae,
9. Kuten 8, mutta paksuusjake 4 - 6 mm,
10. Käsien kuorittu 200 cm pitkä kuitupuu haketettu Sasmo-hakkurilla M-terällä 50 mm palapituuteen ja hake ohennettu hakeleikkurilla nimellispaksuuteen 4 mm ja ohennetusta hakkeesta seulottu VTT:n paksuusseulalla 2 - 4 mm jae
11. Kuten 10, mutta paksuusjake 4 - 6 mm
12. Käsien kuorittu 200 cm pitkä kuitupuu haketettu Pohjois-Satakunnan Massahake Oy:n TT1750-laikkahakkurilla ja hakkeesta seulottu VTT:n paksuusseulalla 2 - 4 mm jae
13. Kuten 12, mutta paksuusjake 4 - 6 mm,
14. Kuten 12, mutta paksuusjake 6 - 8 mm

Vaikka hakenäytteet valmistettiin mekaanisella paksuusseulalla, niin hakelastujen todellinen paksuus vaihteli jonkin verran. Tämän vuoksi hakenäytteet analysoitiin Iggesund Tools Oy:n hakeanalyysaattorilla.

Taulukosta 3 voidaan todeta, että 2 - 4 mm:n paksuusseulottujen jakeiden paksuus on 3,1 - 3,4 mm, 4 - 6 mm jakeiden paksuus 3,9 - 4,4 mm ja 6 - 8 mm jakeiden paksuus 4,6 - 5,3 mm. Samaan paksuuteen seulottujen jakeiden välillä on kuitenkin suuria paksuuseroja, ja nämä vaikeuttavat keittoko-keiden tulkintaa. Mekaaninen seula erottelee kappaleen paksuimman kohdan perusteella ja optinen mittari laskee hakepalan keskipaksuuden. Jälkimmäinen tapa on keittymisen kannalta oikeampi.

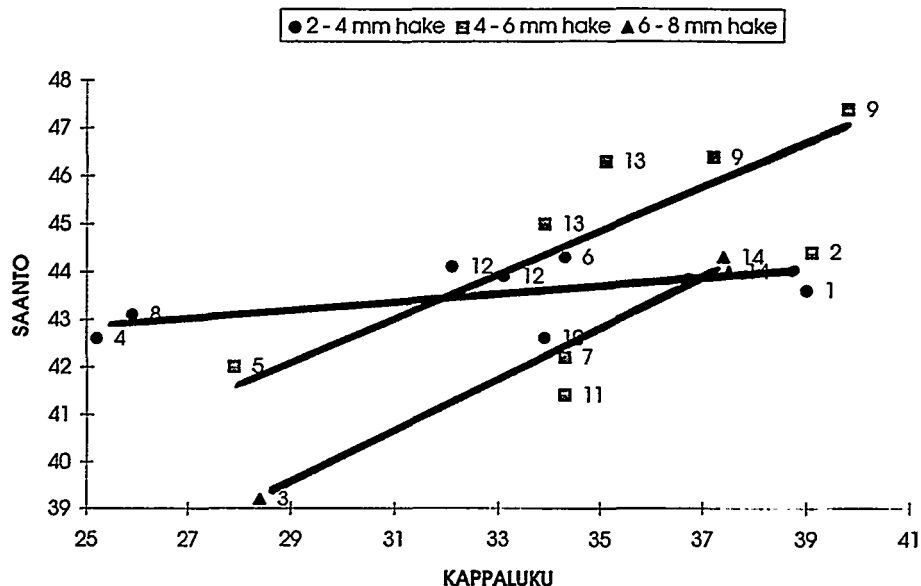
Hakkeiden keittotulokset on esitetty kuvassa 1. Siitä voidaan todeta, että 2 - 4 mm hakkeesta saanto on parempi kuin paksummista hakkeista, jos keitto suoritetaan kappaan alle 32. Korkeampaan kappaan keitettäessä 4 - 6 mm hakkeet ovat parhaita saannon kannalta. Hakkeiden paremmuutta toisiinsa vertailtaessa voidaan todeta, että M-hakkeesta paksuusseulotut jakeet antavat hyvän saannon verrattuna vastaavanpaksuisiin muihin hakkeisiin. Pak-suista hakepaloista lastuamalla tuotetut hakkeet antoivat huomattavan saannon kuin M-hakkeen valmistuksessa ohueksi lohjenneet lastut. Enocell Oy:n päähakulla tuotettu hakkeen seulontajee antoivat korkeintaan keskimääräisen saannon.

Taulukko 3. Hakenäytteiden analyysit Iggesund Tools analysaattorilla.

Hakenäyte, nro	Paksuus	Pituus	Leveys
	mm	mm	mm
1	3,3	18,3	15,4
2	4,2	20,7	21,6
3	4,6	21,3	23,4
4	3,1	15,9	12,1
5	3,9	19,9	18,8
6	3,2	20,2	15,5
7	4,2	26,8	25,5
8	3,4	25,3	23,6
9	4,4	32,6	33,0
10	3,2	19,9	11,4
11	4,1	25,0	22,9
12	3,2	20,2	17,5
13	4,1	24,0	26,4
14	5,3	24,7	29,2

Saanto kappaluvun funktiona on yksi tärkeimmistä tuloksista, mutta kokeita jatketaan tarkastelemalla myös massojen kuidunpituuksia ja lujuuksia. Saatujen tulosten merkitystä arvioitaessa tulee ottaa huomioon, että M-hakkeesta erottettua 2 - 4 mm jaetta on vain 5,5 % ja 4 - 6 mm jaetta 11,5 %. Ylipaksu hake on ohennettava käyttökelpoiseen paksuuteen. Edullisin tapa olisi pyrkiä lisäämään haketusvaiheessa ohuiden palojen osuutta. Ohentaminen näyttää tuottavan huonompaa haketta kuin haketuksessa syntynyt ohut hake.

Saanto kappaluvun muuttuessa eri hakkeen paksuuksilla



Kuva 1. Sellumassan saanto kappaluvun muuttuessa eri hakkeen paksuuksilla.

7 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN JA JATKOSUUNNITELMAT

Palapuun korjuuseen Eko-Log Oy on rakentamassa hakkuulaitetta, jossa on soveltuvin osin hyödynnetty tämän tutkimuksen tuloksia. Palapuun kuorinta kuorimarummissa on mahdollista toteuttaa kuorimoilla, joihin palapuu voidaan syöttää syöttökuljettimelle kauhakuormaajalla. Jos kuorimolla erotetaan kuitupuusta katkeilleet pätvät erotusrullastolla, voidaan myös kuorittu palapuu erottaa samaan jakeeseen. Pätvähake yhdistetään yleensä päähakun virtaan. Jos haluttaisiin erottaa palapuuuhake omaksi hakelajiksi, tulisi pätvähakulta lähtien rakentaa oma hakkeenkäsittelylinja hakekentälle asti. Hakkeenkäsittelyssä ollaan menossa tähän suuntaan.

Hakkeen 2-vaiheisen valmistuksen mahdollisuuksia tutkitaan edelleen keittokokeiden avulla. Pitkästä ja korkeintaan 6 mm paksusta hakkeesta sellumassan saanto on parempi kuin perinteisestä selluhakkeesta.

Palamenetelmällä saadaan ensiharvennuksesta korjattua biomassaa 10 - 70 % enemmän tehtaalte kuin kuitupuuna korjuussa. Polttoaineeksi käytettävää jaetta korjataan palamenetelmällä 10 % enemmän koivulla ja 150 % enemmän kuusella kuin kuitupuuna korjuussa.

Palamenetelmä ei ole kilpailukykyinen esitetyillä laskenta-arvoilla osapuutai kuitupuumenetelmään verrattuna. Alemmat hakkuukustannukset ja korkeampi kuljetustiiviys ovat mahdollisia, mutta ne tulee osoittaa kehitettävällä korjuuketjulla. Kustannusten alentamistavaksi esitetäänkin puun hankintaa osapuuna tehtaalte ja runkojen paloittelua rumpuun syötettäessä. Tällä menettelyllä mahdollistettaisiin pätäkä- ja palahakkeen erottaminen omaksi hakelaadukseen ja niiden hallittu ohjaus ja käyttö sellunvalmistukseen.

VIITTEET

Kaipainen H., Seppänen V. 1993a. Puun korjuu palahakkeena ja käsittely teollisuuden raaka- ja polttoaineeksi - esitutkimus. Jyväskylä. VTT Energia. Moniste 27 s.

Kaipainen H., Seppänen V. 1993b. Puupalan kuorinta tehdasrummussa. VTT Energia. Moniste. Jyväskylä. 15 s.

Noponen P., Vesisenaho T. Joukkokäsittelyhakkuulaitteen käyttö aines- ja energiapuun korjuussa. Jyväskylä 10.1.1996. VTT Energia. Moniste. 33 s. + liitteitä 1s.

Viinikainen, S., Nousiainen, I. 1993. Puun korjuu palahakkeena ja monivaiheinen lastuaminen. VTT Energia. Moniste. Jyväskylä. 15 s.

Seppänen, V. Patentti SF-83146, Menetelmä pienpuun korjaamiseksi teollisuuden raaka-aineeksi ja polttoaineeksi. 10.6.1991. 5 s.

Seppänen, V., Kaipainen, H. 1995. Puun korjuu palahakkeena ja monivaiheinen lastuaminen. Väliraportti. Jyväskylä. VTT Energia. Bioenergian tutkimusohjelma. 18 s.

MASSAHAKE-MENETELMÄN SOVELTAMINEN KOIVULLE SEKÄ MEKAANISEN MASSAN RAAKA-AINETUOTANTOON - 104

Mikko Ahonen, Veli Seppänen, Lauri Nikala
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Abstract: Application of the MASSAHAKE-method for birch whole tree chips and for the production of raw material for mechanical pulp production

The objectives of this project for the year 1995 were: 1) To develop the grinding process in order to decrease the wood losses in grinder, 2) To find the connection between the initial values in the process and the quality of the pulp chips, 3) To find out the behaviour of chips from mixed tree species in the MASSAHAKE process, 4) To find out the amount of knots in the pulp chips from the MASSAHAKE-process and 5) To find out the critical factors in big fuel stock made of the fuel fraction from the MASSAHAKE-process.

The research with grinder was made with five different types of grinder plates. One of the blade sets was used as a reference where all the other sets were compared. The results showed very clearly that the blades should be "worn out" during winter time rather than taking them into first use in summer. This is because in winter the whole tree chips need more grinding to loosen the attached bark. Also a significant difference between the attached bark in <6 mm wood chips compared to biggest particles was found. With new arrangements in the process the pulp chip yield can be increased.

In the second task a relationship between three most important initial values and the quality of pulp chips was determined. These values were: the feeding capacity of the whole tree chips to the process, the sensitivity of the optical sorter and the pixel size of bark to be removed in optical sorter. Based on the research and analysis results a linear model describing the process was made. According to the model the target bark content level (1%) and yield (>60%) of pulp chips could be achieved also on winter conditions.

In the third task the behaviour of mixed tree chips in the process was examined and also some full scale pulping experiments were done. The results indicate that the process can handle also this kind of material without any problems. Thus, somewhat different process parameters compared with e.g. birch whole tree chips should be used. The pulping experiments also showed that the chips from the process are suitable for the purpose.

Comparing the knot content of the pulp chips both from MASSAHAKE-process and normal pulp chip process a significant difference was noticed. The pulp chips from MASSAHAKE-system contained only 1/3 of the knots in normal debarking+chipping pulp chip line. With decreased knot content a 1 - 3% increase in digester capacity could be reached.

Finally in fuel fraction storing research a significant dry material loss was determined. The results indicated that up to 10% of the dry material of the fuel was lost during the four month storing period. Thus, no significant change in other elemental analysis or heating values was noticed.

1 TAUSTA

Integroituun puunkorjuuseen perustuvaa MASSAHAKE-menetelmää on tutkittu VTT Energiassa jatkuvatoimisella koelaitteistolla vuodesta 1991 lähtien. Monivuotisen projektin tavoitteena on kehittää taloudellisesti kilpailukykyinen menetelmä, joka tuottaa tasalaatuista polttohaketta ja korkealaatuista selluhaketta kokopuuhakkeesta. Pilot-laitteiston tavoitteeksi asetetut <1 %:n kuoripitoisuus ja >60 %:n selluhakkeen saanto saavutettiin v. 1993 sekä koivu- että mäntykokopuuhakkeilla.

MASSAHAKE-menetelmässä puut ensin haketetaan ja selluteollisuuden raaka-aineeksi kelpaava puuaines erotetaan polttojakeesta jauhinkäsittelyyn, pneumaattiseen erotukseen, mekaaniseen seulontaan ja optiseen lajitteluun perustuvalla tekniikalla. Oksat, neulaset, lehdet, kuoriaines ja epäkurantti puuaines ohjautuvat poltto-ositteeksi. Menetelmä soveltuu teknisesti kaikenkokoisesta puusta (kokopuu, ranka) tehdyn hakkeen puhdistukseen ja on kilpailukykyisin ensiharvennuspuuta käytettäessä.

Menetelmällä tuotettu polttojake vastaa lämpöarvoltaan ja muilta polttoteknisiltä ominaisuuksiltaan hienojakoista kokopuuhaketta. Raekooltaan (keskimäärin 3 - 5 mm) tasalaatuinen polttoaine sopii sellaisenaan ilman lisäkäsittelyä esimerkiksi leijukerrospoltoon. Selluhake on tasalaatuista ja raekokojakaumaltaan teollisuuden vaatimukset täyttävää: 95-prosenttisesti 7 - 13 mm:n kokoluokassa.

2 TAVOITTEET

2.1 YLEISTAVOITTEET

Projektin tavoitteena on kehittää integroituun puuntuotantoon perustuva hakkeen käsittelymenetelmä puupolttoaineen ja teollisuuden raaka-aineen tuottamiseksi. Lisäksi tavoitteena on tutkia menetelmää pilot- ja demonstraatiolaitostalla siten, että tunnetaan eri puulajien käyttäytyminen erilaisissa käyttöolosuhteissa sekä kehittää laitteiston mittaus- ja automaatiotekniikkaa miehittämätöntä laitosta silmälläpitäen.

Ensisijainen tavoite on kehittää MASSAHAKE-menetelmään perustuvaa tekniikkaa kotimaiselle (ensiharvennus)koivukokopuuhakkeelle ja tutkia hakkeen ominaisuuksien vaikutusta puhdistusprosessiin. Kokonaisuudessaan projektin tavoitteena on myös selvittää menetelmän soveltuvuus yleisesti käytetyille puulajeille sekä vuodenaikojen vaikutus ajoparametreihin eri puulajeilla sekä menetelmällä saatavan polttojakeen varastointi- ja käyttöominaisuudet.

Tutkimuksellisenä tavoitteena on myös kehittää menetelmää siten, että raaka-ainejakeen laatua kyettäisiin hallitsemaan mahdollisimman täydellisesti. Tällöin kyetään vastaamaan teollisuuden kulloinkin hakkeelle asettamiin laatuvaatimuksiin ja menetelmän kilpailukyky tässä suhteessa paranee.

2.2 TAVOITTEET VUONNA 1995

- Pienentää MASSAHAKE-linjan yli 7 mm puujakeen jauhautumista ja hävikkiä mm. jauhinosprosessia kehittämällä
- Muodostaa toimiva säätöyhteys sellujakeen kuoripitoisuuden ja laitteiston ajoarvojen ja säätöjen välille, jolloin menetelmään perustuvaa laitosta voidaan ajaa parhaalla mahdollisella tavalla
- Selvittää erikoisten puulajien (mm. eucalyptus- ja sekapuuhake) käyttäytyminen MASSAHAKE-linjassa
- Selvittää sellujakeessa olevien, keittoprosessissa kiertävien oksien osuus hakkeesta. Tulos selvittää hypoteesin, jonka mukaisesti menetelmällä tuotetussa sellujakeessa rungon sisäisten oksien lukumäärä on perinteisellä menetelmällä tuotettua pienempi
- Yhteistyössä demo-projektin kanssa selvittää suuren hienojakoisen ja viherainetta sisältävän polttoainetarastoauman kriittiset tekijät. Tuloksia voidaan hyödyntää varastojen rakentamisessa ja varastoinnin optimoinnissa yleensä.

3 TOTEUTUS

Projektisuunnitelman mukaiset tehtävät toteutettiin vuonna 1995 pääasiassa Kankaanpäässä Pohjois Satakunnan Massahake Oy:n demonstraatiolaitoksella. Eri tehtävien suorituksessa oli aina mukana VTT Energian edustaja valvomassa kokeiden suoritusta. Lisäksi koeajoissa oli laitoksen henkilökunta suorittamassa VTT:n tutkijoiden ohjeiden mukaisesti erilaisia näytteenottoja sekä ajamassa laitosta sovittujen alkuarvojen mukaisesti.

Koeajot pyrittiin mahdollisuuksien mukaan sijoittamaan normaalien tuotantoajojen yhteyteen, mutta muutamissa tapauksissa - koesuunnitelmasta johdun - jouduttiin kokeet suorittamaan erillisajoina normaalia tuotantotoimintaa häiritsemättä.

Koeajojen näytteet analysoitiin VTT Energiassa, jossa myös tulokset käsiteltiin.

4 TEHTÄVÄT

- Jauhinkokeet erilaisilla teräsarjoilla
- Kokeet koe- ja demonstraatiolaitteistolla säätöyhteyden selvittämiseksi
- Kokeet eucalyptus- ja sekapuuhakkeella
- Pilot- ja demonstraatiolaitoksella tuotettujen eri hakkeiden analysointi oksapitoisuuden selvittämiseksi
- Varastoaman valmistus, mittaus ja näytteiden analysointi
- Tulosten käsittely ja raportointi.

5 RAHOITUS

Projektin rahoitus vuoden 1995 osalta on seuraavan taulukon mukainen:

Bioenergia-tutkimusohjelma	450,000 mk
Kymmene Oy	80,000 mk
<u>VTT Energia</u>	<u>320,000 mk</u>
YHTEENSÄ	850,000 mk

6 TULOKSET

6.1 JAUHINKOKEET

6.1.1 Yleistä

Jauhinkokeet tehtiin MASSAHAKE-demonstraatiolaitoksella huhti-kesäkuussa. Kokeiden tarkoituksena oli selvittää läpimitaltaan yli 7 mm:n puujakeen hävikki jauhatusprosessissa sekä löytää mahdollisimman edulliset ajo-olosuhteet koivuosaapuuhakkeelle ja minimoida hakkeen puuhäviö jauhimessa. Toisaalta osatehtävän tavoitteena oli löytää se kehityssuunta, johon kyseistä työvaihetta tulisi kehittää mahdollisimman hyvän lopputuloksen takaamiseksi. Tehdyissä kokeissa päästiin siten hyvin vertailemaan eri terätyyppien vaikutusta hakkeen jauhautumiseen ja kuoren irtoamiseen.

Kokeissa tutkittiin kymmenen koeajon aikana yhteensä viittä erilaista terätyyppiä. Neljä oli geometrialtaan toisiaan vastaavia ja yksi täysin uudentyyppinen, aiemmin tutkituista poikkeava. Kahdessa koeajossa käytettiin edellä mainituista neljästä samantyyppisestä sarjasta muodostettua sekateräsarjaa.

6.1.2 Kokeiden suoritus

Jauhinkokeet tehtiin Pohjois Satakunnan Massahake Oy:ssä Kankaanpäässä. Koeajoja tehtiin yhteensä neljänä päivänä, ja jokaisen koeajon yhteydessä tehtiin kutakin koeajoa vastaavat vertailukoeajot teräsarjalla D. Vertailukoeajoilla pyrittiin eliminoimaan kokeiden välisen ajan ja kokeissa käytettyjen puiden ominaisuuksien vaihtelua

Taulukko 1. Jauhinkokeissa käytetyt teräsarjat, hakepituudet ja jauhimen terävälit.

Pvm	Tutkitut terämallit						Jauhimen terävälit			Hakkeen palapituus		
	A	B	C	D	E	SEKA	10 mm	12 mm	15 mm	24 mm	26 mm	28 mm
11.4.1995	X			X			X					X
4.5.1995	X			X		A+D	X	X	X	X	X	X
8.6.1995				X	X	D+B		X	X			X
12.7.1995			X	X					X			X

6.1.3 Yhteenveto tuloksista

Jauhinkokeiden tuloksia kuvaavana yhteenvetona voidaan todeta, että tulosten perusteella paras tutkittu teräsarja oli vertailuteräsarjana käytetty sarja D. Kaikissa tapauksissa tällä sarjalla jauhettun hakkeen palakokojakauma oli

edullisin. Se aiheutti myös pienimmät puuhäviöt kaikissa koeajotilanteissa. Erittäin lähelle sarjan D tuloksia päästiin sekateräsarjalla A+D, jolloin sarja A oli pyörivänä teränä.

Tuloksista ilmeni myös selvästi se, että jauhinterän leikkaavan särmän viistämisellä on jauhatustuloksen kannalta suurempi positiivinen merkitys, kuin pelkällä teräharjan madaltamisella. Näin ollen teräsarjaa uusittaessa on edullista viistää särmä ennen sarjan käyttöönottoa.

Vertailuteräsarja D on ollut aikaisemmin lähinnä tutkimuskäytössä, jolloin sarjan työstämisen jäljet ovat ilmeisesti jo kuluneet ja pyöristyneet. Terien haketta murskaava vaikutus oli muita tutkittuja sarjoja pienempi. Mikäli uusia teräsarjoja käyttöön otettaessa ei ole mahdollista ensin "tylsyttää" uusia teriä esimerkiksi vanhojen terien parina, tulisi uusien terien käyttöönotto ajoittaa talviaikaan, jolloin jäätyneessä puussa tiukemmin kiinni oleva kuori vaatii enemmän jauhintyöstöä irrotukseen.

Tässä tutkimuksessa saadut tulokset osoittivat, että etenkin kesäaikaan suhteellisen pienissä hakepaloissa (alle rako 6 mm) ei kiinni olevan kuoren osuus ole kovinkaan merkittävä. Luonnollisesti tämä tulos voi vaihdella alueellisesti samoin kuin siirryttäessä toisiin puulajeihin. Hakkeen paksuuslajittelu ja osan hakkeesta ohjaaminen ohi jauhimen suoraan prosessiin vaikuttaisi perustellulta ratkaisulta kaikissa tutkittuja tapauksia vastaavissa tilanteissa.

Hakkeen jakamisella kahteen osaan ja vain osa hakkeesta jauhamalla, voidaan olettaa olevan vaikutusta lähinnä koko laitoksen kokonaistalouden kannalta. Suurin vaikutus toimenpiteellä on todennäköisimmin sellujakeen saantoon. Teoreettisesti laskemalla voidaan todeta, että mikäli em. toimenpitein ja/tai muilla vastaavan tyyppisillä toimenpiteillä sellujakeen saantoa voidaan nostaa, sen vaikutus on merkittävä. 100 i-m³/h käsittelevällä laitoksella (1600 h/a) tulon nettolisäys on 5 %-yksikön saannon lisäyksellä 220 000 mk/a/työvuoro.

Jatkokehitystyön kannalta sekaterillä saavutetut tulokset ovat sikäli mielenkiintoiset, että teräkuvioita edelleen kehittämällä saattaa olla mahdollista päästä aiempaa parempiin tuloksiin. Vertailuteräsarjalla D saatujen tulosten perusteella jauhatuksessa olisi mahdollista pienentää puujakeen jauhautumista n. 3 - 5 %:a nykyisestä.

6.2 MASSAHAKE-MENETELMÄN SELLUJAKEEN JA KUORI-MOHAKKEEN OKSAPITOISUUKSIEN VERTAILU

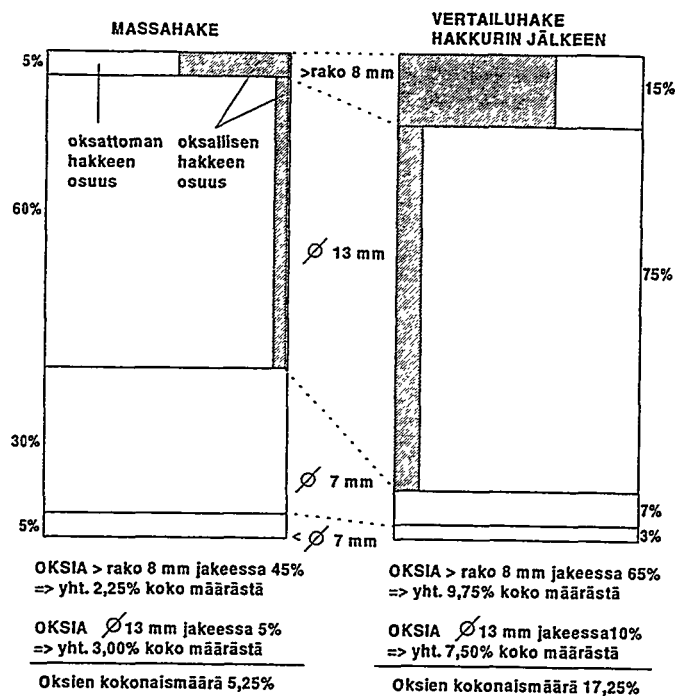
Tämän osatehtävän tarkoituksena oli selvittää MASSAHAKE-menetelmällä tuotetun hakkeen sisältämien oksien määrä verrattuna kuitupuusta haketetun

hakkeen oksapitoisuuteen. Tarkoituksena oli selvittää erityisesti sellaisten *rungon sisäisten* oksien määrä molemmissa haketyypeissä, joilla on vaikutusta sellun keittoon ja etenkin oksakierron määrään keittimessä.

Oksapitoisuuden määrittämistä varten otettiin demonstraatiolaitoksen normaalissa ajotilanteessa näyte sellujakeesta. Tämä hake-erä edusti näytettä, johon vastaavasta karsitusta ja kuoritusta puusta tehtyä kuitupuuhaketta verrattiin.

Kuvassa 1 on esitetty tilanne, jossa verrataan edellä kuvatunlaisten hakenäytteiden oksapitoisuutta absoluuttisesti. Kuvan tilanteessa on otettu tyypillisen palakokojakauman omaava kuvitteellinen hakenäyte, jonka oletetaan sisältävän oksia analyysitulosten osoittaman määrän kussakin jakeessa. Kuvan tilanteessa nähdään, että MASSAHAKE-menetelmän tapauksessa yli rako 8 mm jakeen sisältämän oksien määrä on alle 1/3 siitä määrästä, mikä hakkeessa olisi hakkurin jälkeen. Vastaavasti yli Ø13 mm jakeessa MASSAHAKE-menetelmällä tuotetussa hakkeessa oksien osuus on alle 1/2 vertailuhakkeen oksamäärästä. Kokonaisuudessaan oksan sisältäviä hakepaloja olisi kuvan 1 tapauksessa vertailuhakkeessa jopa yli kolminkertainen määrä verrattuna MASSAHAKE-menetelmän selluhakkeeseen.

Tulosten perusteella voidaan oksapitoisuuden vaikutusta selluteollisuuden prosessiin arvioida seuraavan ajatusmallin pohjalta. Sellunvalmistusprosessissa kovat oksapalat ohjataan oksakierron kautta uudelleen keittimeen. Tyypillisesti oksakierron osuus on 1 - 3 % keittimen kapasiteetista. Mikäli nyt esitetyt oksamääritysten tulokset vaikuttaisivat suorassa suhteessa oksakierron määrään ja siten myös keittimen kapasiteettiin on sen merkitys markkamääräisesti mitattuna esitetty taulukossa 2.



Kuva 1. Oksan sisältävien hakepalojen määrät tyypillisen palakokojakauman omaavissa hakeissa analyysitulosten perusteella.

Taulukko 2. Laskelma hakkeen oksamäärän vaikutuksesta keittimen selluntuotantokapasiteettiin. MASSAHAKE-menetelmä vs. nykyinen kuorimohake.

Tehtaan kapasiteetti, t/a	300000	300000	300000	300000	300000
Oksakierto nykyisellä hakeella, %	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Oksakierto MASSAHAKEella (1/3 nykyisestä) %	0,33	0,66	1,00	1,32	1,65
keittimen lisäkapasiteetti, %	0,66	1,33	2,00	2,68	3,35
lisäkapasiteetti, t/a	1980	3990	6000	8040	10050
Liikevaihdon lisäys (milj. FIM):					
sellun hinta FIM 2000/t	4,0	8,0	12,0	16,1	20,1
sellun hinta FIM 3000/t	5,9	12,0	18,0	24,1	30,2
sellun hinta FIM 4000/t	7,9	16,0	24,0	32,2	40,2
sellun hinta FIM 5000/t	9,9	20,0	30,0	40,2	50,3

6.3 SEKAPUUHAKKEEN PUHDISTUSKOE

Sekapuuhakkeen puhdistuskoe suoritettiin Kankaanpäässä MASSAHAKE-demonstraatiolaitoksella syyskuun loppupuolella 1995. Koeajon tarkoituk-

sena oli selvittää kyseisen hakkeen käyttäytyminen prosessissa sekä selvittää sellujakeen saanto jatkossa tehtäviä taloudellisia analyysejä varten.

Kokeessa käytetty puutavara toimitettiin Wisaforest Oy:n Pietarsaaren tehtaiden toimesta normaalilta ensiharvennusalueelta. Puutavara oli hakkuukoneella korjattu ja karsittu sekä katkottu n. 5 m:n kuljetuspituuteen. Minimilatvaläpimitta oli noin 4 cm. Sekapuuta toimitettiin neljä autokuormaa (n. 160 m³) ja sen koostumus oli puutavaran toimittajan mukaan n. 50 % männyä, n. 45 % koivua ja n. 5 % kuusta. Tarkempaa analyysiä saapuneen tavarapuulajijakaumasta ei tehty.

MASSAHAKE-menetelmällä sekapuuhakkeesta puhdistettu sellujake keitettiin Wisaforest Oy:n tehtailla Pietarsaassa, jossa sellu myös analysoitiin. Keittokoetulokset vastasivat odotuksia ja lyhyenä yhteenvetona ko. analyysiraportista voidaan todeta seuraavaa: MASSAHAKE-menetelmällä tehty hake vastasi odotuksia eikä esteitä vastaavantyyppisen hakkeen jatkokäyttöle hallituissa olosuhteissa ole nähtävissä.

Keittokokeesta valmistetusta sellusta tehty laboratorioanalyysi antoi sellun havukuituosuudeksi noin 38 %. Havukuidun suhteellisen pieni osuus laboratorioanalyysissä verrattuna vastaavaan lukuun demonstraatiolaitokselle toimitetussa ja prosessiin syötetyssä hakkeessa selittyy suurelta osin mitausperusteiden eri lähtökohdista. Puulajijakauma laitokselle toimitettaessa on mitattu tilavuusperusteisesti ja vastaavasti laboratorio-olosuhteissa painoperusteisesti. Myös sellun keittoprosessissa koivuhakkeella saanto on tyypillisesti havuhakkeen saantoa korkeampi, mikä osaltaan aiheuttaa mainitun eron kasvamista.

6.4 ERI MUUTTUIJEN VAIKUTUS PROSESSIIN

Tämän osatehtävän tarkoituksena oli selvittää sellujakeen saannon ja kuoripitoisuuden kannalta tärkeimpien muuttujien vaikutus MASSAHAKE-prosessiin sekä luoda perusteet myöhemmän prosessin säätöyhteyden rakentamiselle. Tässä vaiheessa tarkoituksena oli oppia prosessin käyttäytyminen mainittujen parametrien osalta sekä saada käsitys materiaalivirtojen liikkumisesta menetelmän teollisessa sovelluksessa. Prosessin muuttujina käytettiin ainoastaan tulevan kokopuuhakkeen syöttökapasiteettia sekä optisen lajittelijan parametreista lajittelun herkkyyttä ja erotettavan kappaleen palakokoa. Muut prosessiparametrit pidettiin koeajojen aikana vakioina.

Mallintamisessa keskityttiin laitoksen tuloksen kannalta olennaisimpiin muuttujiin: sellujakeen saantoon ja kuoripitoisuuteen. Laaditulla mallilla oli tarkoitus ennustaa eri muuttujien vaikutus kyseisiin parametreihin. Tavoitekuoripitoisuutena pidettiin 1 - 2 %:a saannon ollessa min. 60 - 65 %.

Ekstrapoloimalla saadulla mallilla hieman koealueen ulkopuolelle havaitaan, että asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa laitteistolla.

Lineaarimalli antoi tulokseksi sellujakeen saannolle ja kuoripitoisuudelle koesuunnitelmaa vastaavalla alueella seuraavat yhtälöt:

$$\text{Saanto-\%} = 1,900 \cdot X_1 - 0,530 \cdot X_2 + 3,29 \cdot X_3 + 41,478 \text{ ja}$$

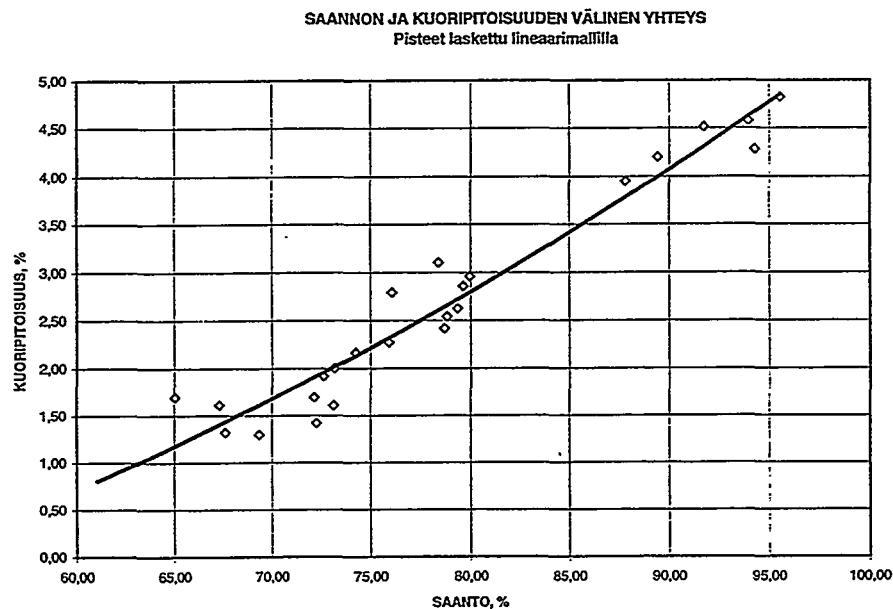
$$\text{Kuuripitoisuus-\%} = (-4,294 \cdot X_1 - 8,309 \cdot X_2 + 2,257 \cdot X_3) / 100 + 7,682.$$

Yhtälöissä X_1 = hakkeen syöttöruuvien kierrosnopeus (16 - 24 Hz)

X_2 = optisen lajittelijan herkkyys (30 - 40 %)

X_3 = erotettavan kuoripalan koko (2 - 5 pix.)

Kuvassa 2 on esitetty saannon ja kuoripitoisuuden välinen yhteys lineaarimallilla laskettuna sekä mallin mukaan laskettu toimintakäyrä prosessille.



Kuva 2. Lineaarimallilla laskettu saannon ja kuoripitoisuuden välinen yhteys.

6.5 POLTTOJAKEEN VARASTOINTI

Polttojakeen varastointikokeessa seurattiin suurikokoisen polttojakeauman lämpötilojen ja polttojakeen energiasisällön muuttumista varastoinnin aikana. Tutkimus aloitettiin 12.6.1995. Demonstraatiolaitoksen käynnistämisen jälkeen polttojakeaumaan oli kertynyt runsaan kuukauden ajalta koi-vuosapuujosta arviolta 2500 - 3000 i-m³ polttojaetta. Auma rakennettiin kauhakuormaajalla, jolla se myös tiivistettiin mahdollisuuksien mukaan.

Aumaa kasvatettiin koko tutkimusjakson ajan. Jakson lopulla (16.10.1995) sekä lämpötila-anturit että näytek pussit jäivät kasvavan auman pintakerroksesta mitattuna jatkuvasti alkuperäistä asennussyvyyttä syvemmälle.

Polttojakeesta tehdyt analyysitulokset osoittivat, että polttojaenäytteiden kosteus on hieman laskenut varastoinnin aikana. Muita merkittäviä muutoksia polttoaineen ominaisuuksiin ei ole havaittavissa. Sen sijaan taulukossa 3 esitetty polttojakeen kuiva-aineen muutos varastoinnin aikana osoittaa, että pitkän varastoinnin aikana kuiva-ainehävikki on merkittävä. Analyysitulosten mukaan kuiva-ainetta menetettiin jo neljän kuukauden varastoinnissa jopa noin 10 %.

Taulukko 3. Polttojakeen kuiva-ainehävikki varastointikokeessa.

Näytekohta	Alussa		Lopussa		Kuiva-ainehävikki	
	Paino, g	Kosteus-%	Paino, g	Kosteus-%	g	%
I	3894	48,1	4635	60,3	181,3	8,9
II	3267	46,7	2118	27,6	209,2	12
III	2781	47	1878	25,3	72	4,9
IV	3372	46,8	3059	51,6	314,4	17,5
V	3354	44,2	3208	45,7	130	6,9
Keskiarvo:					181,4	10,1

Kuiva-ainehävikin ollessa näin merkittävä jo suhteellisen lyhyen aikavälin varastoinnissa olisikin tärkeää, että prosessista saatava polttojake voitaisiin toimittaa mahdollisimman pian energiantuotantoon ilman pitkää varastointia. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella, mikäli 10% kuiva-ainehävikki toteutuu koko varastossa, merkitsisi se esimerkiksi Kankaanpään demonstraatiolaitoksella 200 000 i-m³ varastossa 20 000 i-m³ polttojaemenetystä vuosittain. Rahallisesti varastointitappiona menetettäisiin siis jopa 700 000 - 900 000 mk:n polttoaineen myyntitulot.

7 RAPORTIT JA JULKAISUT

Ahonen, M. Introduction of the first commercial MASSAHAKE-plant. Second Biomass Conference of the Americas. August 21.-24. 1995. Portland, Oregon, USA. 9 s.

Ahonen, M. Seppänen, V., Nikala, L. MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hierteen raaka-ainetuotantoon. Raportti vuoden 1994 tuloksista. BIOENERGIA-tutkimusohjelma. Projekti 104. Jyväskylä 1995. 71 s. + liitt. 27 s.

Seppänen, V. Ahonen, M. Nikala, L. MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hierteen raaka-ainetuotantoon, väliraportti 21.12.1993. BIOENERGIA-tutkimusohjelma. Projekti 104. Jyväskylä 67 s. + liitt. 12 s.

Seppänen, V. Ahonen, M. Nikala, L. Kokopuuhakkeen puhdistus MASSAHAKE-menetelmällä. Vuoden 1992 tulokset. Loppuraportti. Jyväskylä 1993. 37 s. + liitt. 8 s.

Seppänen, V. Ahonen, M. Nikala, L. Kokopuuhakkeen puhdistus MASSAHAKE-menetelmällä. Kokeet jatkuvatoimisella koelaitteistolla. Espoo 1992. VTT Tiedotteita 1408. 38 s. + liitt. 3 s.

Hänninen, K. Heimonen, R. Energiahakeaumatutkimus. Projektiraportti 1995. VTT Energia, Jyväskylä. Julkaisematon.

MASSAHAKE-DEMONSTRAATIOLOITOKSEN SEURANTA - D108

Timo Hartikainen
Pohjois-Satakunnan Massahake Oy
Pansiankatu
38700 Kankaanpää
Puh. (930) 57 81 590
Faksi (930) 57 83 609

Abstract: Follow-up study of the MASSAHAKE-demonstration plant

First thinnings of high harvesting costs and low timber accumulation have often remained unharvested in Northern Satakunta due to unprofitability of harvesting. One possible solution for the problem is a harvesting chain based on partial-tree harvesting combined with the Massahake method. The pulpwood-chipping plant owned by Pohjois-Satakunnan Massahake Oy started operation in May 1995.

The objective of this research is to clear-up the technical operability and profitability of the Kankaanpää demonstration plant, and the suitability of the products for industrial purposes. The second aim is to develop a delivery method, based on partial-tree harvesting, and the delivery organisation suitable for the conditions in Pohjois-Satakunta. The wood delivery of the Massahake is concentrated to first thinning forests. The first thinning area, given in the felling plan, located at the delivery area of Massahake, is 8870 ha/a. This corresponds to 283 000 m³ pulpwood, the total amount of biomass being 360 000 m³. Felling is mainly carried out as labour input using conveyance-felling method. The biomass yield in typical birch first-thinning cut as partial-trees with top diameter of 4 cm is about 40 % higher than in harvesting with short-wood method. The unit costs of harvesting are about a third lower.

Technically the massahake-plant has operated well. The technical degree of utilization in autumn 1995 exceeded 99 %. With birch rawmaterial the yield has varied from 65 % to 75 %, which meets well the targets set. The changes made to the production line in the beginning of February are expected to increase the yield. It has been possible to produce chips meeting the industrial chip-size and bark content requirements using the Massahake method. The chip-size distribution of the fuel fraction has been suitable for use in the fluidized-bed boiler of Kankaanpään Kaukolämpö Oy. The effective calorific value has varied from 2.7 Mwh/t to 2.9 Mwh/t fuel, which corresponds to good quality milled peat.

1 TAUSTA

Pieniläpimittaisen ensiharvennuspuun korjuu on ollut perinteisesti merkittävästi kalliimpaa kuin korjuu myöhemmissä harvennuksissa ja päätehakkuussa. Lisäksi metsäteollisuus on saanut riittävästi raaka-ainetta ensiharvennuksia edullisemmista kohteista ja tuontipuusta, joten suurta kiinnostusta ensiharvennuspuun korjuuseen ei ole ollut.

Myös Pohjois-Satakunnassa korjuukustannuksiltaan kalliit ja kertymältään vähäiset ensiharvennuskohteet ovat usein jääneet korjaamatta kannattamattomina. Tätä ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan perustamalla Pohjois-Satakunnan Massahake Oy. Yhtiö jalostaa Massahake-menetelmää hyödyntäen osapuumenetelmällä korjatusta puusta teollisuuden vaatimukset täyttävää haketta ja sivutuotteena syntyy puupolttoainetta.

Massahakelaitos aloitti toimintansa Kankaanpäässä toukokuussa 1995. Toiminnan alkuvaiheessa yhtiön asiakkaana on ollut koivuhaketta käyttävä tehdas, mutta painopiste siirtyy mahdollisesti jo vuoden 1996 aikana havuhakkeen tuottamiseen.

2 TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää Kankaanpään demonstraatiolaitoksen tekninen toimivuus ja kannattavuus sekä tuotteiden soveltuvuus teollisuuden tarpeisiin. Näin saadun tiedon avulla pyritään edelleen osoittamaan, että menetelmän laajemmalle käyttöönotolle ei ole teknisiä ja taloudellisia esteitä.

Toisena tavoitteena on kehittää Pohjois-Satakunnan olosuhteisiin soveltuva osapuukorjuuseen perustuva hankintamenetelmä ja -organisaatio.

Tutkimuksen aikana saadut kokemukset pyritään hyödyntämään välittömästi laitoksen tekniikassa ja puunhankinnassa.

3 TULOKSET

3.1 RAAKA-AINEVARAT

Pohjois-Satakunnan Massahake Oy:n hankinta-alue käsittää 15 metsänhoitoyhdistystä 20 kunnan alueella. Hankinta-alueen metsämaan pinta-ala on 470.000 ha, josta turvemaiden osuus on 22 %.

Puuston määrä on keskimäärin 104 m³/ha. Puuston kiintotilavuudesta mäntyä on 45 %, kuusta 41 % ja lehtipuuta 14 %. Nuoria kasvatusmetsiä on keskimäärin 29 %.

Massahakkeen puunhankinta keskittyy ensiharvennusmetsiin. Hakkuusuunnitteen mukainen ensiharvennusten pinta-ala hankinta-alueella on vuosittain 8870 ha. Näistä kertyy kuitupuuta 283.000 m³ ja kaikkiaan biomassaa 360.000 m³ (taulukko 1). Lisäraaka-aineen kertymän oletettiin olevan koivulla 40 %, männyllä 45 % ja kuusella 60 % kuitupuun määrästä.

Taulukko 1. Hankinta-alueen hakkuusuunnitteen mukainen kertymä ensiharvennuksista.

	Kuitupu	Koko biomass
Mänty	111700	162000
Kuusi	58900	940000
Koivu	74400	104000
Yhteensä	283000	360000

Ensiharvennustarpeeseen nähden hakkuita on tehty liian vähän. Vuosina 1991-93 suunnitteen mukaisista ensiharvennuksista toteutettiin 18 % (taulukko 2).

Taulukko 2. Ensiharvennusten toteutuminen (%).

1991	17
1992	18
1993	19
Keskimäärin	18

3.2 PUUNHANKINTA

Pohjois-Satakunnan Massahake Oy pyrkii hyödyntämään metsänhoitoyhdistysten olemassaolevia resursseja eikä ole perustanut omaa hankintaorganisaatiota. Metsänhoitoyhdistykset välittävät raaka-aineen yhtiölle. Kaukokuljetusten ohjaus on keskitetty Massahakkeelle.

Korjuuketjuja suunniteltaessa oppia on otettu Veitsiluoto Oy:stä. Hakkuu tapahtuu valtaosin osapuun siirtely-kaatomenetelmällä. Osapuuhakkuuseen koulutettiin syksyllä 1994 ja 1995 noin 500 metsuria ja metsänomistajaa.

Metsäkuljetuksessa käytetään perinteistä kuormaakantavaa metsätraktorikalustoa. Kaukokuljetus tapahtuu laidallisella osapuutautolla.

Koneellisten hakkuumenetelmien kehitystä on seurattu tiiviisti. Enson Pohjois-Suomen ensiharvennuksissa käyttöönotettava kaatavalla kourasahalla varustettu kuormatraktori on osoittautunut kilpailukykyiseksi mieshakkuuseen nähden ja tullaan mahdollisesti ottamaan käyttöön myös Massahakkeen hakkuukohteissa.

Jotta korjuuketjut saadaan toimiviksi, käytännön olosuhteet on tunnettava mahdollisimman hyvin. Leimikkotason puustotunnukset ja kustannusrakenne selvitettiin mittaamalla kaikkiaan 20 leimikkoa. Taulukossa 3 on kuvattu tyypillinen korjuukohde. Puusto- ja kustannusrakennetiedot on esitetty sekä tavaralajimenetelmälle että osapuun siirtely-kaatomenetelmälle.

Tavaralajivaihtoehdossa hakkuu oletettiin suoritettavan edullisinta menetelmää käyttäen (kuitu 3,6+ m, silmävarainen katkenta ja kasausta palstalle) 6 cm:n latvaläpimitaan. Massahake-esimerkissä latvaläpimita koivulla on 4 cm ja hakkuumenetelmä osapuun siirtely-kaato hyödyntäen myös normaaleja ainespuurunkoja pienempiä runkoja.

Taulukko 3. Tyypillinen korjuukohde koivuensiharvennuksessa

Puusto ennen hakkuuta

Runkoluku	2400 r/ha
Puuston tilavuus	135 m ³ /ha
Rungon keskikoko	56 l
Leimikon pinta-ala	2 ha

Poistettava puusto	Massahake	Tavaralaji
Rungon koko (l)	34	42
Poistuma (m ³ /ha)	50	50
Kertymä runkopuuta (m ³ /ha)	47	36
Kertymä oksineen (m ³ /ha)	52	36

Korjuun kustannukset		
Hakkuu (mk/m ³) sis. sivukulut	58	76
Metsäkuljetus (mk/m ³)	24	22

3.3 MASSAHAKELAITOKSEN TEKNINEN TOIMIVUUS

Laitoksen toimivuutta seurataan jatkuvasti pitämällä kirjaa ongelmakohtista, tuotantokatkoksista ja hälytyksistä. Tekninen käyttöaste oli toiminnan aloitusvaiheessa kesäkuussa 96 % ja syksyllä jo yli 99 %. Teknisten ongelmien vuoksi menetetty tuotantoaika jäi säätöjen ja ajoarvojen löydyttyä kohtuullisen pieneksi.

Nykyisillä selluhakkeen ja polttoaineiden hintasuhteilla toiminnan kannattavuuden ratkaisee tuotantokustannusten ohella ennen kaikkea saanto. Kallista kuituraaka-ainetta ei saa hukata polttoainekasalle. Koivuraaka-aineella saanto on vaihdellut 65 prosentista 75 prosenttiin, mikä on vastannut investointivaiheessa asetettuja tavoitteita.

Huolimatta suhteellisen hyvistä saantoluvuista, saantoa pyritään edelleen parantamaan. Tutkimustoiminnan alkuvaiheen merkittävin innovaatio liittyy juuri tähän. Helmikuun alussa tuotantolinjaan tehtyjen muutostöiden uskotaan parantavan saantoa jopa 5 prosenttiyksikköä.

3.4 SELLUHAKKEEN LAATU

Selluhakkeen ominaisuuksien seuranta käynnistyi tuotantotoiminnan alettua toukokuussa 1995. Jokaisesta laitokselta lähtevästä hakekuormasta otetaan näyte, josta määritetään kosteusprosentti ja palakokojakauma. Lisäksi kuoripitoisuus analysoidaan viikottain keräilynäytteen avulla.

Selluhakkeen kosteus oli korkeimmillaan toukokuun lopussa noin 45 % ja alimmillaan elokuun alussa 40 %. Puun kuivumisen ei havaittu merkittävästi vaikuttavan kuoren irtoamiseen ja hakkeen laatuun.

Palakokojakaumalla on suuri merkitys hakkeen keittymiseen. Eri keittomenetelmillä on omat palakoko-optiminnsa, joihin pyritään parhaan mahdollisen saannon, sellun laadun ja keitettävyyden saavuttamiseksi. Massahakelaitos pystyy vastaamaan asiakkaan palakokovaatimuksiin. Taulukossa 4 on esitetty kahden eri tehtaan palakokovaatimuksilla tuotetun hakkeen jakaumat.

Taulukko 4. Selluhakkeen palakokojakaumia.

	Tehdas A	Tehdas B
Ø 45 mm	0	0
// 8 mm	4	3
Ø 13 mm	80	63
Ø 7 mm	14	30
Ø 3 mm	1,5	3,5
pohja	0,5	0,5

Massahakelaitoksella pystytään valmistamaan haketta, joka vastaa asiakkaan laatuvaatimustasoa kuoripitoisuuden suhteen.

3.5 POLTTOJAKEEN LAATU

Toiminnan alkuvaiheessa polttojake on ollut koivusta peräisin olevaa puujätettä: kuorta, oksaa ja seulonnan alitetta. Kosteus lämpövoimalaitokselle toimitetussa polttoaineessa on vaihdellut 37 %:sta 50 %:in ja on ollut keskimäärin 42 % (taulukko 5). Tuoretta puuta alhaisempi kosteus selittyy sillä, että kesällä polttojake levitetään ohuena kerroksena varastoaumaan, missä tapahtuu haihtumista. Toisaalta kesäaikana haketettavan puun kosteus on yleensä alempi.

Polttojake on ollut palakokojakaumaltaan hyvin Kankaanpään Kaukolämpö Oy:n leijupetikattilaan soveltuvaa. Massahakkeen polttojakea poltettiin syksyllä 1995 yhdessä palaturpeen ja purun kanssa. Loppuvuodesta kokeiltiin myös tuoretta purua yhdessä massahakkeen polttojakeen kanssa ilman ongelmia.

Polttoaineen keskimääräinen energiasisältö on ollut 19,5 MJ/kg kuiva-ainetta. Tuhkapitoisuus oli 0,7 %, mikä on vähän verrattuna turpeen tuhkapitoisuuteen (4 - 5 %).

Tehollinen lämpöarvo on vaihdellut 2,7 MWh:sta 2,9 MWh:in tonnissa polttoainetta, mikä vastaa hyvälaatuista jyrsin-turvetta ja on noin 1 MWh irtokuutiota kohti.

Varastoinnin vaikutusta polttoaineen ominaisuuksiin on tutkinut VTT Energia omassa tutkimuksessaan. Auman lämpötilaa, polttoaineen kosteuden kehittymistä ja kuiva-ainehävikkiä seurattiin auman olemassaolon ajan. Lisäksi kesällä tutkittiin mikrobien määrää kuormauksen yhteydessä.

Alustavien tulosten perusteella auman lämpötila oli koko tarkastelujakson ajan noin 60 astetta, mikä osoittaa mikrobitoimintaa tapahtuvan. Silmä-
määräisesti tarkastellen merkittäviä muutoksia ei ole havaittu polttojakeen
ulkoasussa, mikä viestittää siitä, että suurta kuiva-ainehävikkiä ei ole tapah-
tunut.

Taulukko 5. Polttojakeen ominaisuuksia.

Kosteus keskimäärin	42 %
Tuhkapitoisuus	0,7 %
Kuiva-aineen energiasisältö	19,5 MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo	2,7 - 2,9 MWh/tonni noin 1 MWh/i-m ³

Palakokojakauma, %

Ø 45 mm	1
// 8 mm	4
Ø 13 mm	20
Ø 7 mm	20
Ø 3 mm	30
pohja	25

4 JATKOTOIMENPITEET

Vuonna 1996 tullaan selvittämään tähän mennessä suoritettuja kokeita laa-
jemmilla koesarjoilla havupuun käyttäytymistä prosessissa. Puulajille hae-
taan optimiajoarvot eri olosuhteissa.

Korjuuketjuja pyritään kehittämään edelleen. Korjuuketjuille lasketaan
kustannustaso Pohjois-Satakunnan olosuhteissa. Koneellisia hakkuuvaihto-
ehtoja tutkitaan ja mahdollisesti otetaan käyttöön koneellinen osapuun kor-
juuketju.

Koko tuotantoketjun taloudellisuus selvitetään. Kustannuslaskentamallin
avulla vertaillaan Massahake-mentelmän kannattavuutta muihin vaihtoehtoi-
siin osapuun korjuu- ja käsittelymenetelmiin.

PUUPOLTTOAINEEN TUOTTAMINEN KOKO- PUUJUONTOMENETELMILLÄ - Y109

Ismo Nousiainen
Finntech Ltd Oy
PL 1603
40100 Jyväskylä
Puh. (941) 672 670
Faksi (941) 672 597

Tero Vesisenaho
VTT Energia
PL 1603
40100 Jyväskylä
Puh. (941) 672 558
Faksi (941) 672 799

Abstract: Recovery of crown mass for energy with whole-tree skidding methods

The main aim of the project "*Recovery of crown mass for energy with whole-tree skidding methods*" was to develop the integrated harvesting method of wood raw material and wood fuel based on whole-tree skidding. The developed method gives also the possibility to deliver to sawmills raw material in the form of log section. In the harvesting chain under development whole-trees are felled and bunched with a normal one-grip harvester. The whole-trees are skidded to the roadside by a forwarder equipped with a clam bunk. At the roadside the trees are delimbed and cut with the one-grip harvester used for felling and bunching. According to the results of the field tests the harvesting costs of logging residues are in certain final cutting conditions even under 10 FIM/m³, when the average stem size is over 0,500 m³. In the developed method felling and bunching of whole trees with the one-grip harvester and skidding of whole-trees with the clam skidder succeeded well. The problems of the method concentrate on delimbing and bucking of whole-trees in landing site.

1 TAUSTA

Uudistushakkuualueille ainespuun korjuun yhteydessä jäävät hakkuutähteet muodostavat merkittävän puupolttoainereservin. Hakkuusuunnitteiden perusteella hakkuutähteiden teoreettinen määrä yksityismetsien uudistushakkuista (avo- ja kaistalehakkuut) on 8,6 milj. m³/a. Kun arvioon otetaan mukaan valtion, yritysten ja yhteisöjen metsät niiden pinta-alaosuuksien perusteella, muodostuu hakkuutähteiden teoreettiseksi määräksi 10,7 milj. m³/a, jonka energiasisältö 50 % kosteudessa vastaa 1,9 Mtoe. Vastaava ainespuun hakkuukertymä avo- ja kaistalehakkuista olisi tällöin 26,4 milj.m³.

Ottamalla huomioon hakkuutähteiden korjuun rajoitteet ja korjuuhävikki, voidaan hakkuutähdehakkeen vuotuiseksi tuotantopotentiaaliksi arvioida 4,3 milj. m³, jonka energiasisältö vastaa 0,77 Mtoe. Tällöin hakkuutähteiden korjuuseen on oletettu soveltuvan 80 % kuusivaltaisista avo- ja kaistalehakkuista (suunnitteen toteutuminen, korjuukelpoisuus ja myyntihalukkuus). Hakkuutähteiden korjuusaantona on käytetty 70 % hakkuualan teoreettisesta hakkuutähteen määrästä.

Nykytekniikkaan perustuen hakkuutähteiden korjuukustannukset ovat nousseet useassa tapauksessa niin korkeiksi, että hakkuutähdehake ei ole saavuttanut kilpailukykyistä hintatasoa käyttöpaikalle. Hakkuutähteiden kasaukseen, laajennetun kuormatilán käyttöön, palstahaketukseen sekä yhdistettyyn aines- ja energiapuun metsäkuljetukseen liittyvä tutkimus- ja kehitystyö on jo kuitenkin antanut lupaavia tuloksia korjuukustannusten alentamiseksi.

Sahatavaran tuotannossa olisi mahdollista optimoida puuraaka-aineen käyttöä tarkemmin, jos osa raaka-aineesta hankittaisiin kokonaisina tukkiosina ja katkottaisiin asiakaslähtöisten sahatavaratilausten mukaan vasta sahalaitoksella. Myös läpivalaisuun perustuvat tukkien laatulajittelutekniikat mahdollistaisivat tukkiosien tarkemman laatuapteerauksen sahalaitoksella.

Puutavaran korjuu perustuu Suomessa nykyisin lähes kokonaisuudessaan tavaralajimenetelmään, jossa puut karsitaan ja katkotaan hakkuupaikalla ennen metsäkuljetusta. Tavaralajimenetelmä on osoittautunut Suomessa parhaaksi yleisratkaisuksi mm. harvennushakkuiden suhteellisen suuren osuuden ja työmaiden pienen koon vuoksi. Koko maailmassa hyötykäyttöön korjattavasta puusta sen sijaan kaksi-kolmasosaa korjataan runko- ja kokopuumenetelmillä, joissa kaadetut puut juonnetaan tienvarsivarastolle joko kokonaisina runkoina tai kokopuina.

Kokopuumenetelmien soveltaminen uudistushakkuisiin mahdollistaisi aines- ja energiapuun metsäkuljetuksen integroinnin, jolloin sekä aines- että energiapuun korjuukustannuksia olisi mahdollista laskea nykytasosta.

2 PROJEKTIN TAVOITE JA TOTEUTUS

Vuosina 1994 - 95 toteutetun projektin päätavoitteeksi asetettiin kehittää tiettyihin uudistushakkuuolosuhteisiin soveltuva kokopuiden laahusjuontoon perustuva integroitu korjuumenetelmä, jolla hakkuutähdehakkeen tuotantokustannukset käyttöpaikalle jäävät alle 45 mk/MWh 80 km kuljetusetäisyyteen saakka. Samanaikaisesti tavoitteena oli alentaa myös teollisuuden ainespuun korjuukustannuksia sekä mahdollistaa tukkiosina korjuu osana sahateollisuuden puuraaka-aineen hankintaa.

Projektin vastuullisena organisaationa toimi Finntech Ltd Oy. Projekti toteutettiin yhteistyössä Biowatti Oy:n, Keski-Suomen Metsäenergia -projektin, Metsäliitto Osuuskunnan, Sisu Logging Oy:n, Timberjack Oy:n ja VTT Energian kanssa. Kenttäkokeiden toteutukseen osallistuivat lisäksi korjuuyrittäjinä Veljekset Lehtomäki Oy Multialta, Manu Toikkanen Kinnulasta ja Alpo Koivisto Kemistä.

Kokopuuna ja tukkiosina korjuuta tutkittiin kuusivaltaisissa uudistushakkuissa Jämsänkosken Hirvelänsalolla loka-marraskuun vaihteessa 1994 ja Keuruun Heinämäessä maaliskuussa 1995. Kokopuujuontomenetelmän soveltuvuutta ensiharvennuksille tutkittiin lisäksi erillisissä kenttäkokeissa lokakuussa 1995.

3 TUTKIMUSTULOKSET

3.1 KOKOPUUNA KORJUU

3.1.1 Kaato-kasaus

Yksioteharvesterilla suoritettun kaato-kasaustyön tavoitteena oli kasata kokopuut palstalle siten, että niiden metsäkuljetus puristuspankolla varustetulla kuormatraktorilla onnistuisi korjuuteknisesti mahdollisimman helposti. Toisaalta kasaustyön ajanmenekin täytyi jäädä mahdollisimman pieneksi.

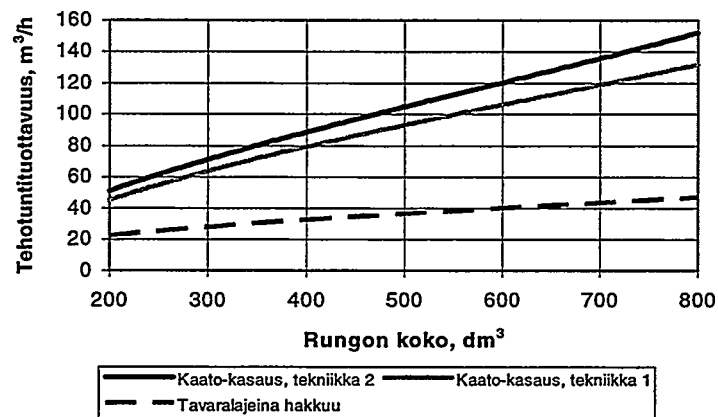
Kaato-kasaustyön työskentelytapana käytettiin hakkuu-uran toiselta puolelta tapahtuvaa puiden suunnattua kaatoa siten, että runkojen kasaus uran toiselle puolelle voitiin tehdä puun tyveä siirtämällä. Kaato-kasaustyössä tutkittiin sekä ajouran suuntaisten että ajouraan nähden n. 45° kulmaan asetettujen kasojen muodostamista. Ajouran suuntaisessa kasauksessa pyrittiin kasamaan useita puita samaan kasaan metsäkuljetuksen yhteydessä tapahtuvan kuormauksen nopeuttamiseksi. Kaato-kasaustyössä puita ei lajiteltu puulajin mukaan.

Kaato-kasaustyö onnistui yksioteharvesterilla korjuuteknisesti hyvin. Leimikon aloituksessa tuottavuus oli kuitenkin merkittävästi keskimääräistä tuottavuutta alhaisempi johtuen suuremmasta kasauksen ja järjestelyiden ajanmenekistä. Myös voimakas tuuli haitasi puiden suunnattua kaatoa jonkin verran.

Kuvassa 2 on esitetty tutkimustulosten mukainen kaato-kasaustyön ja vastaavan tavaralajeina hakkuun tehotuntuottavuus rungon koon mukaan.



Kuva 1. Kokopuuna korjuussa kaato-kasaustyöhön käytettiin tavanomaista yksioteharvesteria.



Rungon koko	dm³	200	300	400	500	600	700	800
Kaato-kasaus, tekniikka 1	m³/h	45,1	63,8	79,3	93,0	106,0	118,9	131,7
Kaato-kasaus, tekniikka 2	m³/h	51,0	71,3	88,6	104,4	120,0	135,9	151,9
Tavaralajeina hakkuu	m³/h	22,2	28,1	32,6	36,5	40,1	43,7	47,1

Kuva 2. Rungon koon vaikutus kaato-kasaustyön ja tavaralajeina hakkuun tehotuntituottavuuteen, kasaustekniikka 1 = ajouran suuntainen kasaus, kasaustekniikka 2 = ajouraan nähden 45° kulmaan kasaus.

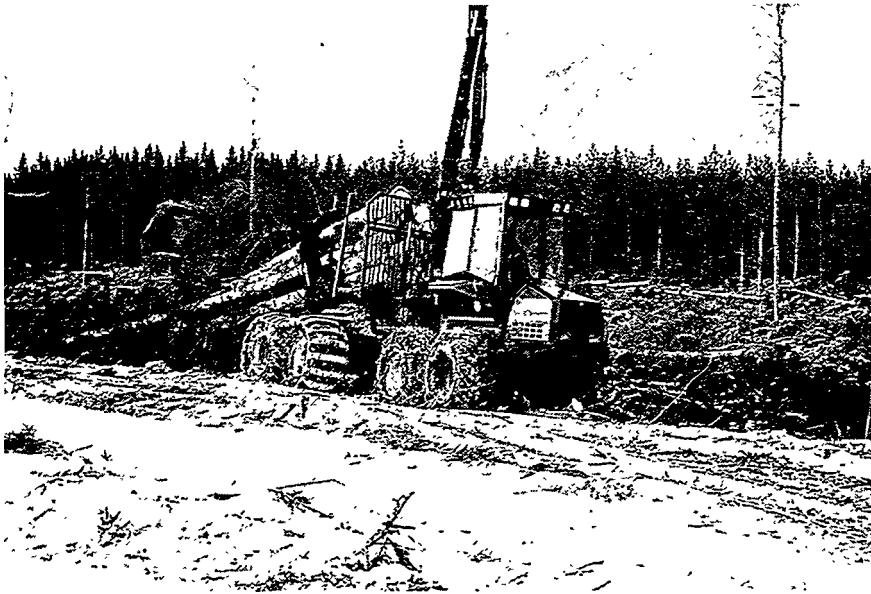
3.1.2 Kokopuiden laahusjuonto

Kokopuiden laahusjuonto tienvarsivarastolle suoritettiin hydraulisella puristuspankolla varustetulla kuormatraktorilla (kuva 3). Koska laahusjuontoon käytettiin lähinnä harvennushakkuisiin soveltuvaa VALMET 838 -kuormatraktoria, kuormatraktorin vetovoima ei ollut riittävä täysien kokopuukuormien juontamiseen.

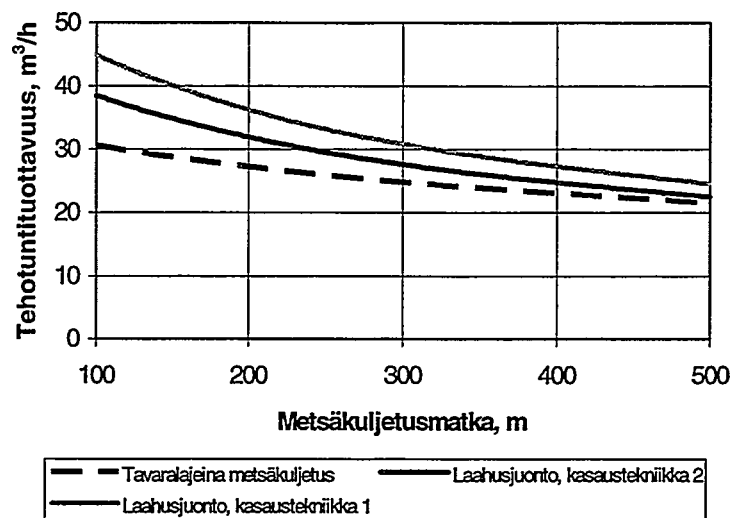
Laahusjuontokuormien keskimääräinen koko oli syksyn 1994 kenttäkokeissa 6,7 m³ ja kevään 1995 kenttäkokeissa 8,3 m³. Syksyn 1994 aineiston juontokuormien pienempään keskikokoon vaikutti osasyynä lyhyemmäksi jäänyt juontomatka, jolloin kuljettaja ei pyrkinyt saavuttamaan maksimaalista kuorman kokoa jokaisella juontokuormalla.

Kun saavutettavissa olevan juontokuorman koko oletetaan suoraan riippuvaksi käytettävissä olevan kuormatraktorin vetovoimasta, voidaan 15 kN:n vetovoiman kuormatraktorilla olettaa saavutettavan vastaavissa olosuhteissa 10,4 m³ keskimääräinen juontokuorman koko.

Kuvassa 4 on esitetty tutkimustulosten mukainen kokopuiden laahusjuonnon ja vastaavan tavaralajeina metsäkuljetuksen tehotuntuottavuus metsäkuljetusmatkan mukaan.



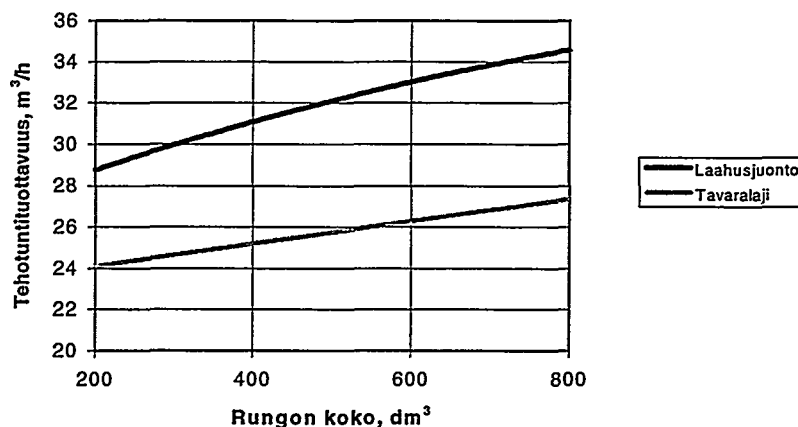
Kuva 3. Kokopuut laahusjuonnettiin tienvarsivarastolle hydraulisella puristuspankolla varustetulla VALMET 838-kuormatraktorilla.



Metsäkuljetusmatka	m	100	200	300	400	500
Laahusjuonto, kasaustekniikka 1	m³/h	44,9	36,2	30,9	27,3	24,6
Laahusjuonto, kasaustekniikka 2	m³/h	38,5	31,9	27,7	24,8	22,5
Tavaralajeina metsäkuljetus	m³/h	30,6	27,3	24,9	23,1	21,6

Kuva 4. Kokopuiden laahusjuonnon ja tavaralajeina metsäkuljetuksen tehotuntuottavuus metsäkuljetusmatkan mukaan, kuormatraktorin vetovoima 15 kN, rungon koko 0,554 m³.

Kuvassa 5 on esitetty kokopuiden laahusjuonnon ja tavaralajeina metsäkuljetuksen tuottavuuden riippuvuus korjattavan puuston rungon keskikoosta. Kokopuiden juonnon tuottavuuden riippuvuus rungon koosta jäi tutkimusaineistossa suhteellisen pieneksi, koska järeissä rungon kokoluokissa kuorman kokoa rajoitti kuormatraktorin vetovoima eikä pankon koko.



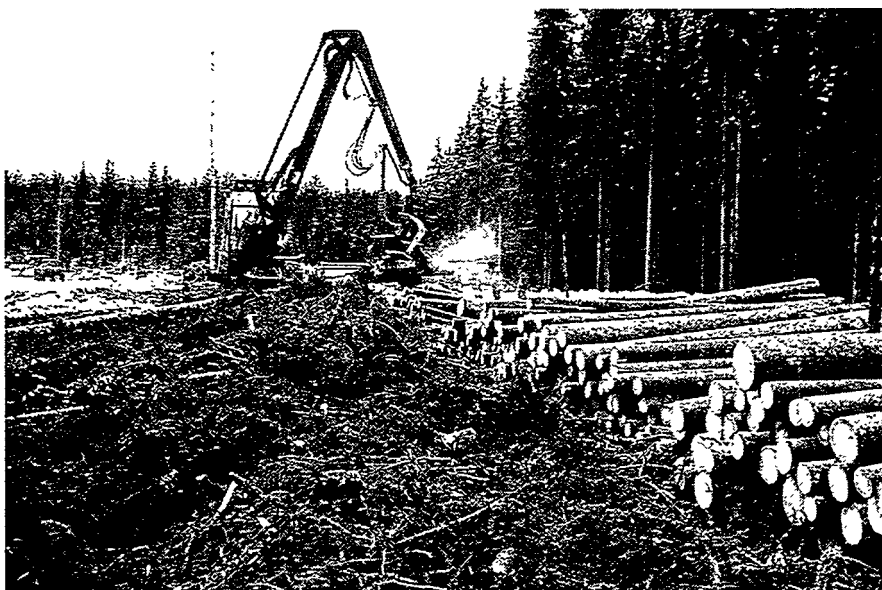
Kuva 5. Kokopuiden laahusjuonnon ja tavaralajeina metsäkuljetuksen tuottavuuden riippuvuus rungon keskikoosta, kuormatraktorin vetovoima 15 kN, metsäkuljetusmatka 250 m.

3.1.3 Puutavaran valmistus tienvarsivarastolla

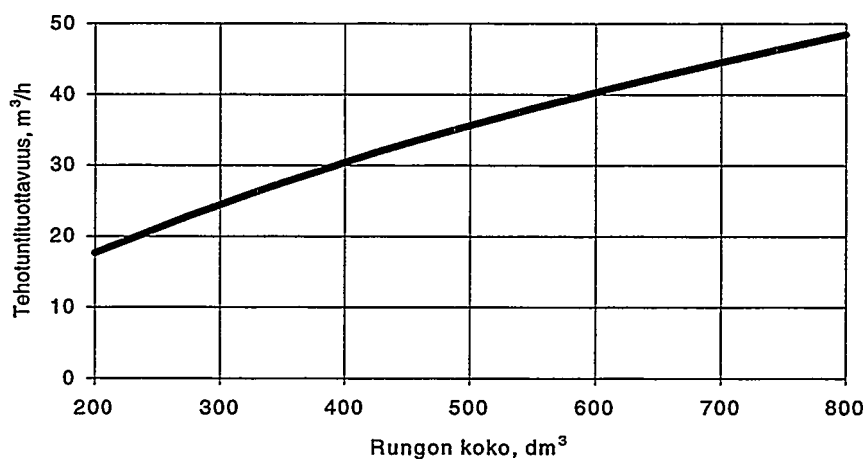
Laahusjuontokuormat purettiin tienvarsivarastolla siten, että kokopuiden karsinta ja katkonta voitiin suorittaa yksioteharvesterilla suoraan varastopinoihin. Työskentelytavassa hakkuutähteet jäivät paksuna mattona hakkuukoneen alle (kuva 6).

Puutavaran valmistuksessa tienvarsivarastolla järjestelyiden ja häiriöiden ajanmenekki muodostui suureksi, koska hakkuukoneen kuljettajan täytyi lajitella eri puutavaralajien pölkkyjä varastokasassa sekä siirrellä hakkuutähdettä. Kokopuiden karsinnan ja katkonnan tilantarve tienvarsivarastolla muodostuu myös suureksi. Toisaalta, koska kokopuiden laahusjuontoa ei voida toteuttaa jäävän puuston lävitse puuston vaurioitumisriskin vuoksi, rajoittuu menetelmän käyttö lähinnä tienvarsileimikoihin, jolloin käytettävissä oleva tila ei muodostu rajoittavaksi tekijäksi.

Kuvassa 7 on esitetty tienvarsivarastolla suoritettujen puutavaran valmistuksen tehotuntituottavuus rungon koon mukaan



Kuva 6. Kokopuut karsittiin ja katkottiin tienvarsivarastolla kaato-
kasaukseen käytetyllä yksioteharvesterilla.



Rungon koko	dm ³	200	300	400	500	600	700	800
Tehotuntituottavuus	m ³ /h	17,6	24,4	30,4	35,6	40,3	44,6	48,5

Kuva 7. Tienvarsivarastolla suoritettun puutavaran valmistuksen tehotuntituottavuuden riippuvuus rungon koosta.

3.1.4 Latvusmassan korjuuhävikki

Kokopuujuonnossa aiheutuva latvusmassan korjuuhävikki selvitettiin sekä talvikokeissa että sulan maan ajan kokeissa määrittämällä korjuun jälkeen hakkuualueelle jääneen latvusmassan määrä systemaattisella linjakoealaotannalla. Hävikkiä verrattiin Hakkilan latvusmassayhtälöillä lasketun pystypuuston latvusmassan ja hakkuutähteenä jäävän alle ainespuukokoisen hukkarunkopuun määrään.

Latvusmassan ja latvarunkopuun teoreettinen määrä sulan maan kokeiden tutkimuspalstoilla oli 88 k-m³/ha, kun ainespuun määrä oli 298 m³/ha. Tästä määrästä saatiin varastokasaan 76 %. Lisäksi kokopuiden varastoalueelle jäi hakkuutähdettä 16 % teoreettisesta määrästä. Hakkuupalstan alueelle latvusmassasta jäi hakkuun, kuormauksen ja juonnon yhteydessä vain 7 %. Hakkuutähdettä ei saatu haketettua aikaisen lumentulon takia, joten hakkeeksi saatavaa määrää ei voitu määrittää.

Latvusmassan ja latvarunkopuun teoreettinen määrä talvikokeiden tutkimuspalstoilla oli 90 k-m³/ha, kun ainespuun määrä oli 246 m³/ha. Hakkuutähdemäärästä saatiin talteen polttihakkeeksi 48 %. Lisäksi kokopuiden varastoalueelle jäi hakkuutähdettä 33 % teoreettisesta määrästä. Tätä määrää ei kuitenkaan saatu haketettua, koska hakkuri ei pystynyt liikkumaan tiealueen ulkopuolella. Kun juontomatka oli noin 300 metriä, jäi juontouralle latvusmassasta 6 %. Varsinaisen hakkuupalstan alueelle latvusmassasta jäi hakkuun ja kuormauksen yhteydessä 13 %.

Korjuu- ja juontohävikki oli talviaikaan liki kolminkertainen sulan maan/puun aikaan verrattuna. Koska oksat ovat talvella jäässä, ne katkeilevat ja karsiutuvat helposti juonnon aikana. Varastohävikkiä voidaan pienentää merkittävästi, mikäli hakkuri pystyy hakettamaan maastossa.

3.2 TUKKIOSINA KORJUU

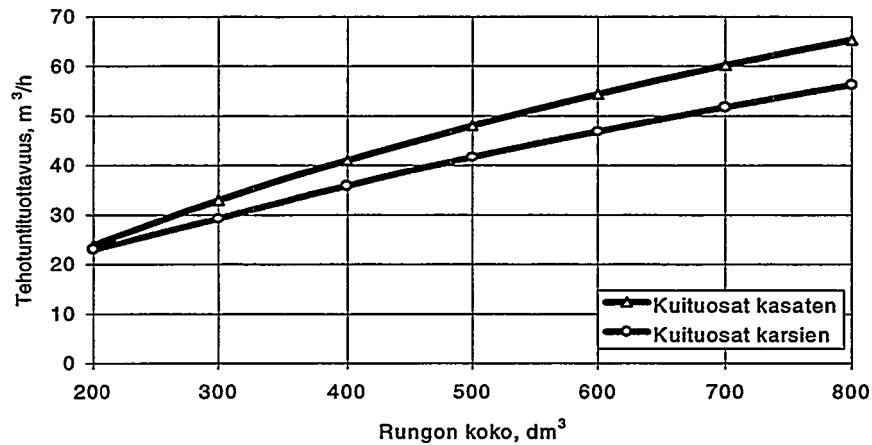
3.2.1 Tukkiosina hakkuu

Tukkiosina hakkuussa yksioteharvesterilla valmistettiin tukkirungoista katkomaton karsittu tukkiosa. Kuituosa voidaan hakkuun yhteydessä joko karsia ja katkoa pölkyiksi tai jättää karsimatta ja katkomatta.

Tukkiosina hakkuussa yli 20-metrinen tukkiosienkaan käsittely ei aiheuttanut ongelmia. Pitkien tukkiosien karsinnan ja katkonnan aikana ei tullut ylimääräisiä keskeytyksiä eikä esimerkiksi tukkiosien tyvi tökännyt karsinnan aikana maahan. Rungot säilyivät käsittelyssä myös katkeamattomina eikä katkaisuleikkauksen kohdalla tapahtunut lohkeilua.

Ongelmana hakkuutavassa oli pitkien tukkiosien ja karsimattomien kuituosien kasaus. Kun tukki- ja kuituosat kasattiin eri puolille hakkuu-uraa, karsimattomat kuituosat jäivät osin seuraavalta hakkuu-uralta valmistettujen tukkiosien alle. Kun kuituosat karsittiin ja katkottiin, ei vastaavaa kasausingelmaa syntynyt.

Kuvassa 8 on esitetty tukkiosan valmistuksen tehotuntituottavuus rungon koon mukaan kuusivaltaisessa päätehakkuussa kahdella erilaisella kuituosien käsittelymenetelmällä.

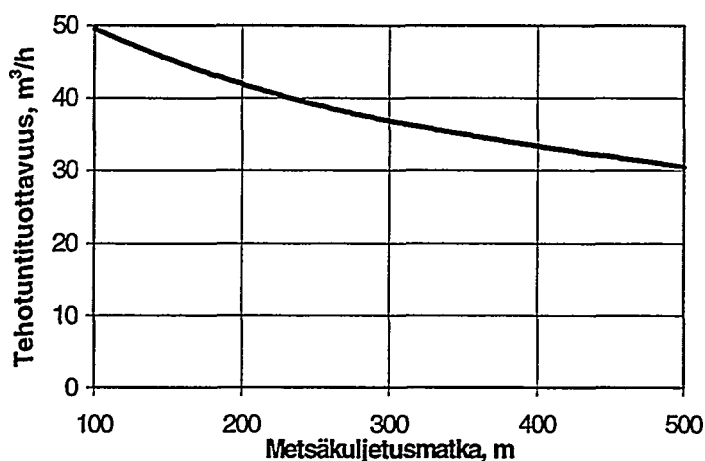


Rungon koko	dm³	200	300	400	500	600	700	800
Tehotuntituottavuus, kasaten	m³/h	23,	33,	41,	48,	54,	60,	65,
Tehotuntituottavuus, karsien	m³/h	8	0	0	0	4	2	3
		23,	29,	35,	41,	46,	51,	56,
		0	3	9	7	9	7	2

Kuva 8. Tukkiosan valmistuksen tehotuntituottavuuden riippuvuus rungon koosta ja kuituosien käsittelymenetelmästä.

3.2.2 Tukkiosien laahusjuonto ja kuitupuuosan metsäkuljetus

Tukkiosien laahusjuontokuormien keskimääräinen koko oli syksyn 1994 kokeissa 10,5 m³ ja kevään 1995 kokeissa 11,5 m³. Vastaavissa olosuhteissa 15 kN:n kuormatraktorilla saavutettavaksi keskimääräiseksi kuorman kooksi voidaan olettaa 14 m³. Kuvassa 9 on esitetty tukkiosina juonnon tehotuntituottavuus metsäkuljetusmatkan mukaan.



Metsäkuljetusmatka		m	100	200	300	400	500
Kuorman koko	14,0 m³	m³/h	49,6	41,9	36,9	33,3	30,5

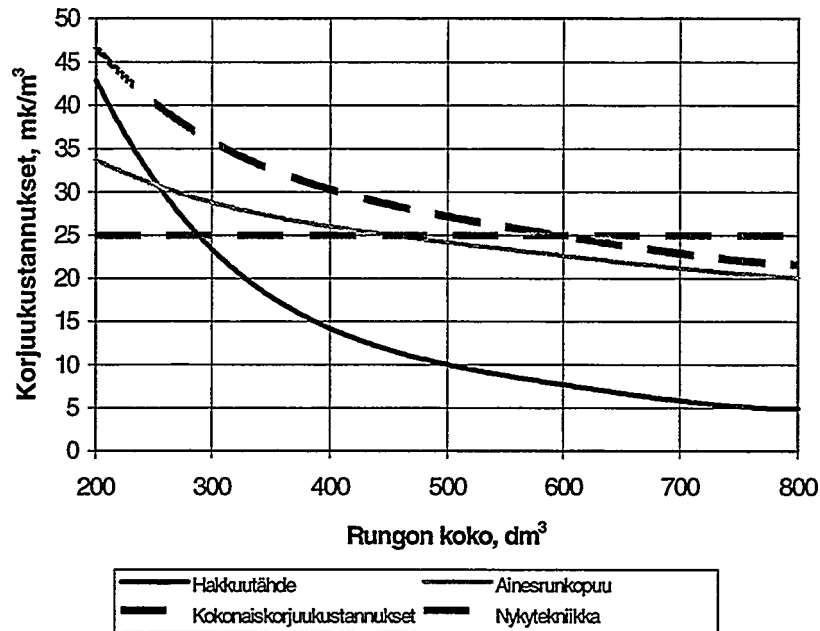
Kuva 9. Tukkiosien juonnon tehotuntituottavuus metsäkuljetusmatkan mukaan, keskimääräinen kuorman koko 14 m³.

Karsittujen ja katkottujen kuitupuupölkkyjen kuljetus puristuspankolla varustetulla kuormatraktorilla onnistui hyvin. Ensimmäisten pölkkyjen asettamisessa kuormatilaan piti kuljettajan olla kuitenkin normaalia huoleellisempi, koska puristuspankko kääntyy sivusuunnassa. Kuitupuukuorman purkaminen puristuspankolla varustetulta kuormatraktorilta oli myös hieman hitaampaa kuin normaalivarusteiselta. Kuitupuukuorman kooksi saatiin 10,4 m³, kun kuitupuukuorman koko samalla kuormatraktorilla normaalivarustuksella oli 12,2 m³. Puristuspankolla varustetulla kuormatraktorilla karsittujen kuitupuiden metsäkuljetuksen tuottavuudeksi muodostui suppean tutkimusaineiston perusteella 18,5 m³/tehotunti, kun metsäkuljetusmatka on 250 m.

4 AINES- JA ENERGIAPUUN KORJUUKUSTANNUKSET

Kuvassa 10 on esitetty kokopuiden laahusjuontoon perustuvassa korjuumenetelmässä hakkuutähteisiin kohdistuvat korjuukustannukset rungon koon mukaan, kun ainesrunkopuulle on kohdistettu vastaavan tavaralajeittaisen korjuun kustannukset. Hakkeeksi talteensaatavan hakkuutähteen määränä on käytetty 30 % korjattavan ainesrunkopuun määrästä. Korjuukustannuksia

määritettäessä on käyttötuntikustannuksena käytetty yksioteharvesterille 380 mk/h, kuormatraktorille 270 mk/h ja puristuspankolla varustetulle kuormatraktorille 280 mk/h.



Kuva 10. Hakuutähteisiin kohdistuvat korjuukustannukset kokopuiden laahusjuontoon perustuvassa korjuussa.

Kustannustarkastelun perusteella kokopuiden laahusjuontoon perustuvalla korjuumenetelmällä hakuutähteisiin kohdistuvat korjuukustannukset jäävät alle 10 mk/m³, kun korjattavan puuston rungon keskikoko on yli 0,500 m³. Nykytekniikkaan perustuen hakuutähteiden korjuukustannukset ovat vastaavasti tasolla 25 mk/m³.

Tukkiosina korjuussa ainespuun korjuukustannuksiksi muodostui 19,9 mk/m³, kun korjattavan puuston rungon keskikoko on 0,645 m³ ja metsäkuljetusmatka 250 m. Vastaavaksi tavaralajeittaisen korjuun kustannukseksi muodostuu tutkimusaineiston perusteella 21,9 mk/m³.

5 KOKOPUUVUONTOMENETELMÄN SOVELTUVUUS ENSIHARVENNUKSILLA

Tällä osatutkimuksella pyrittiin selvittämään, mitkä ovat kokopuujuontomenetelmän käyttömahdollisuudet ensiharvennuksilla. Tutkimuksessa selvitettiin juonnon tuottavuus eri puulajeilla sekä korjuusta aiheutuvat vauriot jäävälle puustolle. Tutkimuksessa käytettiin metsävarusteista Valmet 655 - maataloustraktoria, joka oli varustettu Patu-juontokouralla.

Keskimääräiset kuormien koot olivat 0,39 - 0,50 k-m³ kokopuuta. Juonnon käyttötuntituottavuus oli kohteesta ja puulajista riippuen 1,6 - 3,5 k-m³ kokopuuta, kun metsäkuljetusmatka oli 200 metriä. Kun käyttötuntikustannuksena käytetään 130 mk/h, muodostuu metsäkuljetuksen kustannukseksi tällöin 38-80 mk/m³. Kun tähän lisätään kaato-kasauskustannus, muodostuu kokopuiden korjuukustannukseksi tienvarteen 68 - 110 mk/k-m³, joka vastaa 38 - 61 mk/MWh.

Kokopuiden juontoon perustuvan korjuumenetelmän käytäntöön soveltamista ensiharvennuksilla rajoittavat kaikkein eniten jäävälle puustolle aiheutuvat korjuuvauriot. Perinteisellä ajourasuunnittelulla ajourissa on liikaa kulmia ja mutkia, joissa pitkät rungot eivät sovi kääntymään vaan hankaavat ajouran reunapuita. Tutkimuspalstoilla korjuuvaurioita oli yli kaksinkertainen määrä hyvän korjuujäljen vaatimukseen verrattuna. Jotta juontoa voitaisiin käyttää ensiharvennuksilla, olisi korjuuvaurioiden välttämiseksi ajourien oltava suoria ja päädyttävä suoraan varastoalueelle.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

Tutkimustulosten perusteella kokopuiden laahusjuontoon perustuva korjuumenetelmä tarjoaa tietyissä uudistushakkuolosuhteissa mahdollisuuden laskea sekä ainespuun että hakkuutähteiden korjuukustannuksia.

Kehitetty korjuumenetelmä on nykyisellään toteutettavissa korjuuteknisesti kaato-kasaustyön ja kokopuiden laahusjuonnon osalta. Menetelmän käyttöön liittyvät ongelmat keskittyvät kokopuiden tienvarsikäsittelyyn. Kokopuiden karsinnan ja katkonnan tilantarve tienvarsivarastolla muodostuu suurehkoksi. Myös eri puutavaralajien erilläänpito varastokasoissa sekä hakkuutähteiden kasaaminen jatkokäsittelyä varten tuottaa ongelmia.

Laahusjuontomenetelmän soveltamisella tukkiosina korjuuseen voidaan luoda uusia mahdollisuuksia sahojen puuraaka-aineen hankintaan. Tällöin sahojen puuraaka-aineen hankinnassa ja käytössä voidaan myös saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Koska kokopuiden laahusjuontoa ei voida toteuttaa jäävän puuston lävitse puuston vaurioitumisriskin vuoksi, menetelmän käyttö rajoittuu lähinnä tienvarsileimikoihin. Tällöin toisaalta tilantarve tienvarsityöskentelyssä ei muodostu menetelmän käyttöä rajoittavaksi tekijäksi. Menetelmän käyttömahdollisuuksien ja jatkokehitysvaihtoehtojen selvittämiseksi tulisi kuitenkin jatkossa määrittää menetelmälle soveltuvien leimikoiden osuus.

Kokopuujuontomenetelmän jatkotutkimus- ja kehitystarpeet keskittyvät tienvarsityöskentelyn kehittämiseen. Ongelmana ovat lähinnä eri puutavara-lajien erillään pitäminen varastokasoissa sekä kantavasta tiestä tavanomaisen kuormaimen ulottumattomiin jäävien hakkuutähteiden kuormaamiseen tai hakettamiseen liittyvät järjestelyt. Tienvarsityöskentelyyn liittyvän laitek-nisen kehitystyön mahdollisuudet määrittyvät myös suoraan menetelmän käyttömahdollisuuksien mukaan.

JULKAISUT JA RAPORTIT

Nousiainen, I. 1995. Puupolttoaineen tuottaminen kokopuujuontomenetelmillä - Y109. Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1994, osa 1. Puupolttoaineen tuotantotekniikka. Julkaisu 3.

Nousiainen, I. & Vesisenaho, T. 1995. Puupolttoaineen tuottaminen kokopuujuontomenetelmillä. Bioenergian tutkimusohjelma, projekti Y109. Finntech Ltd Oy. Väli raportti. 41 s. + liitt. 8 s.

Nousiainen, I. 1995. Kokopuujuonto teollisuuden ainespuun ja energiapuun hankinnassa. Metsäteollisuuden energiateknologiat -seminaari 10.-11.1995. Helsinki. 13 s.

Nousiainen, I. & Vesisenaho, T. 1995. Integrated harvesting of whole-trees from clear cuts with salvage of the crown mass for energy. IEA-Bioenergy agreement- Task XII - Harvesting activity meeting 11.10.1995. Glasgow. 9 s.

Nousiainen, I. & Vesisenaho, T. Puupolttoaineen tuottaminen kokopuujuontomenetelmillä. Bioenergian tutkimusohjelma, projekti Y109. Finntech Ltd Oy. Loppuraportti 25.3.1996. 43 s.

LAATU, TALOUDELLISUUS JA LOGISTIIKKA

HAKE-, PUU- JA PUUTAVARALAJIMENETEL- MIEN TALOUDELLISUUS MASSATEHTAAN KUTTU- JA ENERGIAPUUN HANKINNASSA - 110

Vesa Imponen
Metsäteho
PL 194
00131 Helsinki
Puh. (90) 132 521
Faksi (90) 659 202

Abstract: The economy of chip, whole-tree and short-wood methods in the pulpwood and fuelwood procurement of a pulp mill

Branch-mass models, applicable for different kinds of technical/economical inspections of timber procurement, based on large data collections of the Finnish Forest Research Institute, were developed in the project. These models are based on the assumption that the branch-mass distribution inside the top-end of different tree-species resembles each-other.

The production costs of pulp produced from first-thinning pine were lowest when the minimum diameter of the pulpwood varied between 6 - 9 cm, then the relative costs varied between 101 - 99. The production costs consisted of timber procurement costs, variable industrial timber processing and pulping costs, and secondary product reimbursements. In addition to the calculational inspections, the effects of the dimensions of pulpwood and the harvesting technology on profitability of harvesting of first thinning pine, on debarking, on the chip-size distribution and on fiber properties, were studied in the research. The profitability of harvesting is increased by about 10 % when the minimum diameter is decreased from 7 cm to 5 cm. This requires, however, that the size of the minimum-stem is not decreased.

The differences between the mass and fiber properties of the blocks of at least 9.0 cm thickness and the blocks of at least 5.0 cm thickness, produced and screened from same first-thinning lots, were exceptionally small. This indicates that the utilization of the size as classification criterium for pine pulpwood harvested from same wood lots is not very effective. When using small minimum diameter 5.0 cm the utilization of multi-tree processing increased the wood-losses and worsens the chip-size distribution. The stand of the harvesting target was, however, younger than those usually in the first thinning stage. This might have effected on the results.

1 TAUSTA

Metsäteollisuuden energian tuotannossa puupolttoainetta on valmistettu ainespuun hankinnan ja puunkäsittelyn sivutuotteena. Puupolttoaine koostuu kuoresta ja puuhävikin kautta kertyvästä puuaineesta. Poltettavaa puumäärä voidaan lisätä soveltamalla karsimatonta puutavaraa tuottavia koko- tai osapuumenetelmiä. Myös kuitupuun minimiläpimitan pienentäminen tavara-laji- tai osapuumenetelmiä käytettäessä kasvattaa polttojakeen osuutta. Samalla kuitenkin hakkeen massa- ja kuituominaisuudet heikkenevät ja tuotantokustannukset kasvavat. Ensiharvennuksissa käytettävien ns. integroitujen aines- ja energiapuun hankintaketjujen edullisuuteen vaikuttaa luonnollisesti myös vaihtoehtoisten raaka- ja polttoaineiden hinnat.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteen oli tutkia erilaisten yhdistettyjen aines- ja energiapuun tuotantomenetelmien taloudellisuutta massatehtaiden puunhankinnassa. Simulointi- ja optimointimallien avulla tarkastellaan metsäteollisuuden näkökulmasta seuraavien menetelmien edullisuutta:

- Tavaralajimenetelmä, rumpukuorinta tehtaalla
- Osapuumenetelmä, rumpukuorinta tehtaalla
- Hankinta kuorellisena hakkeena, hakkeen puhdistus tehtaalla
- Ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikköön perustuva hankinta

Erilaisten teknisten ratkaisujen taloudellisuutta tutkittiin järjestelmällätasolla ottaen huomioon puunhankinta-, puunkäsittely- ja massanvalmistusvaiheet ja energian tuotanto. Hankkeessa tehtiin Bioenergian tutkimusohjelman käyttöön ketjuittaisia vertailulaskelmia. Lisäksi tutkimuksessa tehtiin Kauppa- ja teollisuus ministeriölle selvitys lääneittäisestä energiapuun hankintapotentiaalista.

3 TOTEUTUS

Projektissa tehtiin mallitarkasteluja ja herkkyysanalyyskejä, joiden avulla tutkittiin ja vertailtiin sellutehtaan tuotannon kannalta uusia ensiharvennuspuiden hankintaketjuja. Malleissa otetaan huomioon puun hyödyntämien jätteleimipolttoaineena ja kiinteää puuainetta käyttävän polttolaitoksen energianlähteenä. Hankintaketjujen ja puuaineen mallinnuksessa käytettiin Bioenergia tutkimusohjelman muiden projektien tuottamia perustietoja. Lisäksi tietopohjaa parannettiin Enocell Oy:ssä ja Enson Karjalan hakinta-alueen en-

siharvennustyömailla tehdyillä kokeilla. Osaprojekteissa yhteistyökumppaneina ovat olleet Metsäntutkimuslaitos, KCL ja VTT Energia.

Hakkuiden rakenteen ja korjuuolosuhteiden selvittämistä varten hankittiin ja käsiteltiin kunnittaisia metsäsuunnitteluaineistoja. Korjuukohteiden puusto kuvattiin runkolukusarjoina. Biomassa- ja puutavaramäärien laskennassa sekä korjuu- ja kuljetusoperaatioiden tarkastelussa käytettiin tutkimuksessa kehitettyjä menetelmiä ja malleja. Lopulliset tulokset kootaan ja raportoidaan alue- ja tehdaskohtaisten case-tutkimusten pohjalta.

4 TEHTÄVÄT

Vuoden 1995 aikana on tehty erilaisten integroitujen aines- ja energiapuun hankintaketjujen vertailuja tutkimusohjelman tarpeisiin. Puutavaralajimallin kehittämistä varten saatiin valmiiksi latvusmassamallit. Kuitupuun minimiläpimittatutkimuksen tulokset ja viimeisteltiin ja raportoitiin. Hankeeseen laajennuksena lisätty puupolttoaineen hankintapotentialiselvitys KTM:lle vei odotettua runsaammin aikaa, ja tämän vuoksi myös alueelliset ja tehdaskohtaiset case-tutkimukset viivästyivät. Joulukuussa 1994 järjestettiin Enson, Metsätehon ja KCL:n yhteistyönä laaja ensiharvennusmännyn korjuu- ja käsittelykoe, jonka tuottamat tiedot merkittävästi paransivat ensiharvennusmännyn ominaisuuksia koskevaa tietopohjaa.

5 RAHOITUS

Rahoittaja	1993	1994	1995
	1000 mk		
Bioenergian tutkimusohjelma	400	400	200
Metsäteho	280	280	150
Yhteensä	680	680	350

KCL ja VTT Energia ovat osallistuneet projektiin Metsätehon alihankkijoina sellutehtaan massanvalmistuksen ja energian tuotannon selvittelyyn. Myös Enocell Oy ja Enson Karjalan hankinta-alue sijoittivat merkittävän panoksen ensiharvennusmännyn korjuu- ja käsittelykokeen järjestämiseen. KCL käytti pääosin omia varoja ensiharvennusmänny massa- ja kuituominaisuuksien analysointiin.

6 TULOKSET

6.1 LATVUSMASSAN JAKAUTUMINEN RUNGON PITUUS- SUUNNASSA

Integroitujen korjuumenetelmien kehittyessä on ilmennyt tarvetta latvusmassan pituussuuntaista jakaumaa kuvaavan mallin laatimiselle. Esimerkiksi erilaisten koko- ja osapuumenetelmien kustannus- ja tuottavuusvertailut edellyttävät mahdollisimman tarkkaa tietoa siitä, kuinka suuri osa latvusmassasta jää käyttöosaan sekä vastaavasti latvakappaleeseen. Pystysuuntaista jakaumaa kuvaavan mallin on oltava joustava ja jatkuva ts. sen on tuotettava estimaatti latvusmassan kertymälle millä tahansa rungon osakorkeudella.

Metsäteho sai mallin laadintaa varten käyttöönsä Metsäntutkimuslaitoksen kokoaman aineiston, joka sisältää puulajeittain maantieteellisesti kattavan 6500 kaatokoepuun mittaustiedot. Koepuista tunnetaan mm. kunkin 2 metrin osavälin sisältämä latvusmassan kuivapaino. Tässä tutkimuksessa mallinnettiin *elävien oksien* kuivamassan (puuaines + kuori + havupuun neulaset) pystysuuntaista yhteisjakaumaa. Kuolleiden oksien kuivamassaa ei huomioitu lainkaan.

Jo silmämääräisten havaintojen perusteella voidaan latvuksen massan pystysuuntaisessa jakautumisessa tai painottumisessa todeta selviä puulajille tyypillisiä piirteitä. Riittävästi valoa saaneen järeän kuusen oksat jakautuvat melko tasaisesti koko latvuksen pituudelle kun männyllä oksat keskittyvät tyypillisesti latvuksen keskiosiin. Jakauman mallinnuksella pyritään saamaan mm. nämä puulajille ominaiset muodot matemaattiseen tai numeeriseen muotoon. Koska esimerkiksi puun kehityshistoriasta ja tilajärjestyksestä johtuen yksilötason vaihtelu on suurta joudutaan massan jakautumisen muodot pelkistämään. Todennäköisyysfunktioista tutut huipukkuus ja vinous ovat ainakin ensivaiheessa riittäviä pystysuuntaisen jakauman tunnusteluja mikäli tavoitteena on metsikkötason tai sitä laajemman puujoukon latvusmassojen hallinta.

Jakauman ja sitä vastaavan kertymän kuvaaminen suoraan puutunnuksilla ilman dynaamista perusfunktioita johtaa helposti epäloogisiin arvoihin. Mallin taustalla tulee olla perusfunktio, jossa on tiettyä jakaumalle ja kertymälle tyypillistä dynamiikkaa. Nyt raportoitavassa tutkimuksessa etsittiin mahdollisuutta latvusmassan pystysuuntaisen jakauman kuvaamiseen weibull- ja beta-funktioilla. Näillä funktioilla on mahdollista kuvata jakauma ja sitä vastaava kertymä kahden tai kolmen parametrin avulla. Latvusmassan pystysuuntaisen jakauman mallintamisessa on kyse näiden parametrien mah-

dollisimman tarkasta estimoinnista eri tasoisten (puu/puusto) muuttujien avulla.

Weibull-jakauma kuvataan kolmella parametrilla. Sijaintiparimetrilla (a) esitetään muuttujan (x) minimiarvo. Muotoparametri (c) kuvaa jakauman vinoutta ja skaalausparametri (σ) jakauman hajontaa:

$$f(x) = \frac{c}{\sigma} ((x-a)/\sigma)^{c-1} e^{-((x-a)/\sigma)^c} \quad (\text{jakaumafunktio})$$

$$F(x) = 1 - e^{-((x-a)/\sigma)^c} \quad (\text{kertymäfunktio})$$

$c \leq 1,1$ (laskeva jakauma)
 $1,1 < c < 3,6$ (vasemmalle vino jakauma)
 $c = 3,6$ (lähes symmetrinen jakauma)
 $c > 3,6$ (oikealle vino jakauma)

Beta-jakauman muuttujalle (x) määritetään sekä minimi- että maksimiarvo (a,b). Muoto kuvataan kahden parametrin (α, β) avulla. Kun parametrit ovat yhtä suuret on kyseessä symmetrinen jakauma. Skaalauskerroin (c) avulla funktion summafrekvenssiksi saadaan haluttu luku - tässä tapauksessa 1.

$$f(x) = c(x-a)^{\alpha-1}(b-x)^{\beta-1}, \text{ missä } \quad (\text{jakaumafunktio})$$

$$c = \frac{1}{\int_a^b (x-a)^{\alpha-1}(b-x)^{\beta-1} dx}$$

Beta-jakaumalle ei voi esittää analyyttistä kertymäfunktioita. Kertymä on määritettävä jakaumasta numeerisen integroinnin kautta.

Kun edellä kuvatuilla funktioilla pyritään kuvaamaan latvusmassan pituus-suuntaista jakaumaa tai kertymää, olisi muuttujana (x) mahdollista käyttää joko absoluuttista tai suhteellista etäisyyttä esimerkiksi maasta tai latvan kärjestä. Mallin yleispätevyyden kannalta muuttujaksi valittiin tässä tutkimuksessa *suhteellinen etäisyys latvan kärjestä*.

Latvusmassa voidaan jakaa joko koko rungon pituudelle tai latvan kärjen ja latvuksen alarajan välille ts. funktion muuttuja voi saada maksimiarvonsa (1) joko maanpinnassa tai latvuksen alarajalla. Tässä raportissa käsitellään jälkimmäistä variaatiota, jossa siis mallin käyttäjä antaa syötteenä katkaisukohdan suhteellisen sijainnin (0 - 1) latvan kärjen ja latvuksen alarajan välillä ja saa tuloksena katkaisukohdan ja latvan kärjen väliin

(latvakappaleeseen) jääneen latvusmassan osuuden (0 - 1) kokonaislatvusmassasta.

Aineiston jokaiselle koepuulle määritettiin pienimmän neliösumman (PNS-) menetelmää käyttäen parametrit, joilla jakauman *kertymäfunktio* saatiin kulkemaan mahdollisimman tarkasti kahden metrin välein määritettyjen todellista kertymää kuvaavien havaintopisteiden kautta. Ts. jos todellinen kertymä merkitään y , ennustettu kertymä $\hat{y}$ ja kertymähavaintojen lukumäärä rungossa n , minimoitiin

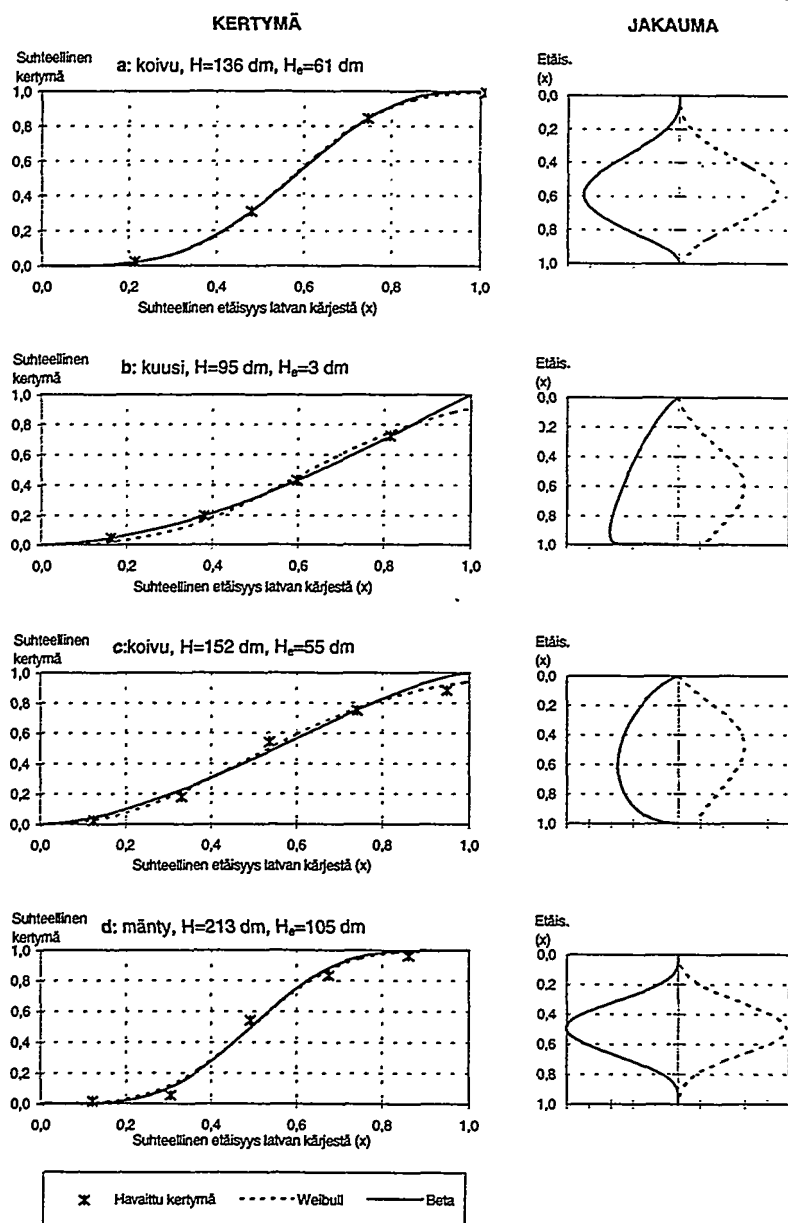
$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, i=1, \dots, n.$$

Rungoittaisia parametreja analysoitiin määrittämällä mm. hakkuutavoittaisia keskiarvoja parametreille sekä laatimalla regressiomalleja parametrien ennustamiseksi runkokohtaisesti puutason muuttujilla. Regressiomallit laadittiin askeltavaa regressioanalyysiä (SAS/STAT) käyttäen ja siinä painotettiin kutakin havaintoa eli runkoa PNS-tasoituksen onnistumista kuvaavalla luvulla

$w = \ln(n / j)$, missä n =kertymähavaintojen lukumäärä rungossa,

$$j = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \text{ (jäännösneliösumma).}$$

Kuvaan 1 on koottu esimerkinomaisesti massajakaumaltaan erilaisten koepuiden empiirisiä massakertymähavaintoja ja niihin sovitettuja funktioita. *Ne eivät edusta välttämättä puulajeille tyypillisiä latvuksia.* Esimerkeistä käy ilmi, että kumpaakaan funktioista ei voida yksiselitteisesti osoittaa toista paremmaksi ennen suuressa puujoukossa tehtävää tarkastelua. Weibull-funktiolla ei pystytä beta-funktion tavoin kuvaamaan tarkasti muuttujan maksimiarvon eli elävän latvuksen alarajan lähetyville painottuvaa jakaumaa (koepuu b). Beta-funktion käytössä tulee ongelmia lähinnä silloin kun massa ei sijaitsekaan kokonaisuudessaan elävän latvuksen sisässä (koepuu c). Luonnollisesti on olemassa yksittäisiä latvuksia, joita ei voida kuvata kummallakaan sovitetuista funktioista (koepuu d).



Kuva 1. Esimerkkejä funktioiden soveltuvuudesta erilaisten latvusten massajakauman kuvaamiseen. Muuttujana (x) on käytetty suhteellista sijaintia latvuksessa.

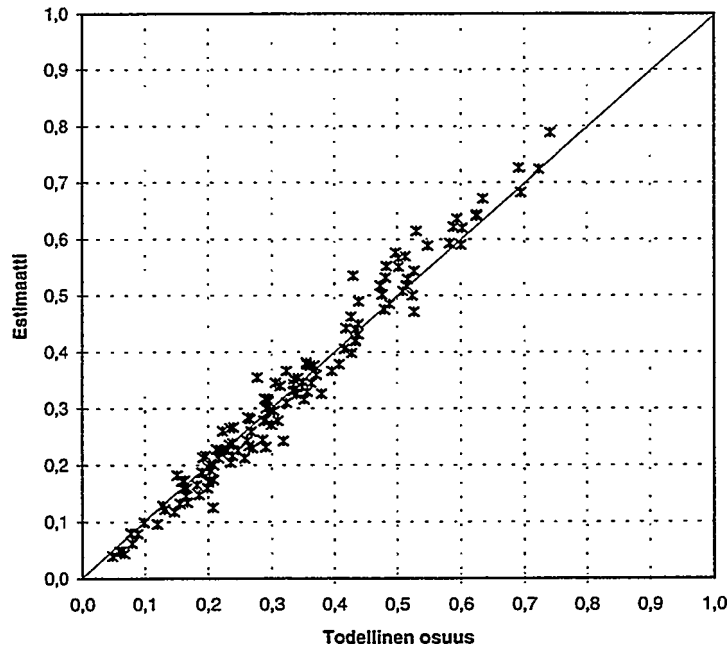
a= sekä beta- että weibull-funktiolla voidaan kuvata massan kertymä ja jakauma

b= vain beta-funktio tuottaa tarkan estimaatin kaikilla osakorkeuksilla

c= weibull-funktio noudattaa beta-jakaumaa tarkemmin latvuksen todellista kertymää

d= kumpikaan käytetyistä funktioista ei sovellu tämän latvuksen kuvaamiseen

Weibull-funktiolla laskettua latvakappaleeseen jäävän latvusmassan osuutta verrattiin todelliseen mitattuun osuuteen leimikoittain. Metsäteknologisten tutkimustarpeiden ja käytännön sovellusten kannalta latvusmassamallin tarkkuus näyttäisi olevan riittävä (Kuva 2). Malli soveltuu käytettäväksi yhdessä Hakkilan (1991) julkaisemien hakkuupoistuman latvusmassa mallien kanssa.



Kuva 2. Kolmen metrin latvakappaleeseen jäävän latvusmassan osuus leimikoittain. Estimaatti on laskettu Poikelan (1995) esittämällä menetelmällä weibull-funktiolla, jonka parametrit on määritetty runkokohtaisesti puutunnuksiin perustuvan regressiomallin avulla.

6.2 PUUTAVARALAJIMALLI

Projektissa kehitetty puutavaralajimallin prototyypisovellus koostuu rungon läpimittaa, latvusmassaa, puuaineen tiheyttä ja kuoren osuutta kuvaavat yhtälöistä. Kuorimäärien laskenta on vielä selvitetävänä. Tällä mallilla voidaan tarkastella tavaralaji- ja osapuumenetelmien hakkuukertymän rakennetta ja muutoksia, kun miniläpimittaa ja pölkyn pituutta muutetaan (taulukko 2).

Taulukko 2. Ensiharvennusmännikön hakkuukertymä osapuunakorjuussa. Rungon vähimmäisrinnankorkeusläpimittaluokka 9 cm. Poistettavia puita 682 r/ha.

Vähimmäis- läpimitta cm	Runkopuun hakkuukertymä m ³ /ha	Osapuun hakkuukertymä m ³ /ha	Osapuunakorjuun lisäkertymäkerroin
5	42.4	7.5	1.14
6	41.3	5.5	1.13
7	39.4	3.8	1.08

6.3 ENOCELLIN KORJUU- JA PUUNKÄSITTELYKOE JOULU- KUUSSA 1994

Enocell OY:n Uimaharjun sulfaattisellutehtaan vuonna 1992 rakennettu kuorimo edustaa puunkäsittelyn uusinta tekniikkaa. Kuorimolla ja Enson Karjalan hankinta-alueen työmailla toteutettiin koe, jonka tarkoituksena oli selvittää erityisesti ensiharvennusmännyn minimiläpitan vaikutuksia korjuuseen, kuorintaan ja sellun laatuun. Kokeet tehtiin yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen ja KCL:n kanssa. Kuorintakokeessa referenssieränä oli päätehakkuusta korjattu latvakuitupuu ja ensiharvennuspuukoe-erät olivat seuraavat:

Erä	Menetelmä	Vähimmäisläpimitta, cm
1	Yksinpuin käsittely	7
2	Yksinpuin käsittely	5
3	Joukkokäsittely	5
4	Tyvi- ja välipölkyt	9
5	Pienet latva- ja tyvipölkyt	5

Pölkyn minimiläpimitan muuttuessa minimirungon mitat pidettiin kuitenkin nykykäytännön mukaisena (rinnankorkeusläpimittaluokka 9 cm). Erät 4 ja 5 hankittiin lajiteltuina samoista korjuukohteista. Kaikkien ensiharvennuspuerien hakkuun ajanmenekki selvitettiin koeruuduittain työntutkimuksella. Hakkuuvaiheen tulokset yleistettiin tyypillisiä männikön enharvennusolosuhteita vastaaviksi. Minimiläpimitan pienentäminen näyttäisi parantavan hakkuun tuottavuutta silloin, kun runkojen vähimmäiskoko säilytetään ennallaan (taulukko 3).

Taulukko 3. Menetelmien väliset erot hakkuussa (R. Lilleberg, alustavat tulokset -95)

Menetelmä	Suhteellinen tuotos	Suhteellinen kertymä	Kustannuserot mk/m ³
Yksinpuin 7 cm	100	100	0
Yksinpuin 5 cm	109	108	-3.7
Yksinpuin lajiteltuna 9/5 cm	109	108	-3.6
Joukkokäsittely 5 cm	117	110	-6.1

Korjuukokeiden lisäksi tehtiin kuorinta- ja haketuskokeet sekä puuaine- ja kuituominaisuusanalyysjä. Metsäntutkimuslaitoksen mittausten mukaan kuorintahävikki oli suurin (4.2 %) joukkokäsitellyllä puulla. Samalla erällä oli alhaisin hyväksytyjen hakejakeiden osuus (79 %). Tulokset on esitelty tarkemmin Metlan tiedonantoja 582 -raportissa (Hakkila ym. 1995).

Joukkokäsittely erä 3 oli myös massa- ja kuituominaisuuksiltaan huonompi laatuinen kuin muut harvennuserät. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että korjattu puusto oli nuorempaa kuin muissa erissä. Ensiharvennus ajoittui kasvupaikan viljavuudesta johtuvan nopeamman kasvun vuoksi aikaisempaan ikävaiheeseen kuin muissa harvennuskohteista. Tutkimuksessa saatiin viitteitä siitä, että nuorella iällä harvennettaviksi tulevat viljavien maiden viljelymänniköt saattavat ensiharvennuksessa tuottaa niin tiheydeltään kuin kuituominaisuuksiltaankin huonompaa raaka-ainetta kuin myöhemmin harvennettavat karumpien maiden männiköt. Yllättävää tuloksissa myös oli se, että järeyden perusteella samoista korjuukohteista omiksi ositteiksi lajiteltujen erien 4 ja 5 kuitu- ja massaominaisuuksien erot eivät tulleet selkeästi esille. Jos latvapölkkyjen ja pieniläpimittaisten tyvipölkkyjen lajittelu omaksi ositteekseen olisi johtanut selvään laadun paranemiseen muun järeämmän ensiharvennuspuun osalta, voitaisiin harkita ohuemman puun erottamista joko poltto- tai jalostuskäyttöön meneväksi puuaineositteeksi. Aiemmissa tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että jällen ikä selittää männyn kuituominaisuuksia. Tämän vuoksi pölkkyjen järeyden ei ole välttämättä lajittelukriteerinä kovin hyvin toimiva silloin, kun kysymyksessä on suhteellisen homogeeninen ensiharvennuspuu. Tulokset esitetään tarkemmin keväällä -96 julkaistavassa Metsätehon katsauksessa.

6.4 MÄNTYKUITUPUUN MINIMILÄPIMITAN VAIKUTUS TUOTANTOKUSTANNUKSIIN

Vuoden 1995 aikana viimeisteltiin myös mäntykuitupuun minimiläpimittatutkimuksen tulokset. Ensiharvennuksen mäntykuitupuulla puunhankinnan ja sellun valmistuksen summakustannukset olivat edullisimmillaan, kun

minimilatuläpimitta vaihteli välillä 6 - 9 cm; suhteelliset kustannukset olivat silloin seuraavat:

Vähimmäisläpimitta, cm	Suhteellinen sellun tuotantokustannus
4	107
5	103
6	101
7	100
8	99
9	100
10	107

Tuotantokustannukset sisälsivät kantohinnan, puun hankintakustannukset, tehdaskäsittelyn ja sellunvalmistuksen muuttuvat kustannukset sekä energiahyvitykset. Runkopuun paksuuden vaikutusten analysointi on tarpeellista myös tutkittaessa koko- ja osapuunmenetelmiä. Esimerkiksi sovellettaessa kokopuunmenetelmää massahakelaitoksen käytön yhteydessä ohuen runkopuun hyödyntämisestä syntyy lisäkustannuksia selluntuotannossa, ja tämä pitää ottaa huomioon menetelmän edullisuutta tarkasteltaessa.

6.5 YKSITYISMETSIIEN LÄÄNEITTÄINEN PUUPOLTTO- AINEEN TUOTANTOPOTENTIAALI

Kauppa- ja teollisuusministeriön tarpeisiin selvitettiin yhteistyössä Metsäkeskus Tapion ja VTT Energian kanssa yksityismetsien puupolttoaineen hakkuumahdollisuudet. Tulokset on raportoitu KTM:lle VTT Energian kautta. Alueellisen suunnittelun yhdistelmä -tietojen käsittelyyn kehitettiin sovellus Metsätehossa. Tulosten omistusoikeus on Tapiolla.

7 JATKOTOIMENPITEET VUONNA 1996

Parhaillaan on valmistumassa kolme erillistä raporttia hankkeen tuloksista. Myös kokonaisvaltaiset alueelliset ja tehdaskohtaiset case-tarkastelut raportoidaan alkuvuonna. Yhdistettyjen aines- ja energiapuun hankintaketjujen tutkimista ja laskennallista vertailua jatketaan erillisessä Bioenergian tutkimusohjelman projektissa.

8 RAPORTIT JA JULKAISUT

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., Imponen V., & Poikela A. Ketjukarsinta-kuorintahaketusyksikön käyttöön perustuvan hankintaketjun optimointi simulointimallilla. Metsätehon moniste, käsikirjoitus.

Poikela A. 1995. Latvusmassan pituussuuntainen jakauma. Metsätehon moniste, käsikirjoitus.

Hakkila P., Imponen V., Lilleberg R., Pennanen O., & Varhimo A. 1994. Ensiharvennusmännyn korjuu- ja puunkäsittelykoe Enocell Oy:ssä 1994. Metsätehon katsaus, käsikirjoitus.

Tutkimusohjelman vuosittaiset väliraportit

VIITEKIRJALLISUUS

Hakkila P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773.

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

PUUPOLTTOAINEIDEN HANKINTALOGISTIIKAN KEHITTÄMINEN - 111

Heikki Laitinen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 598

Abstract: Development of wood fuel delivery logistics

The main aim of the project is to model the energy wood business and total logistics in a certain large region. First, wood utilisation locations inside this area are examined; the most important ones are the wood processing factories, and the heating- and power plants. After that, wood potentials in the forests of the area are evaluated in sub-areas suitable in size and sufficiently detailed for further evaluations. For that purpose, the most valuable source data are forest management plans, up to ten years forward, on which basis the wood fuel potentials can be evaluated following sustainable development. In Finland there are extensive and detailed data bases storing forest information and it is possible to collect necessary data for a data base applicable to our calculations. In logistical sense it is important to know, by which delivery chains the economically best and desired results are achieved. The software prototype based on data base is modelled and developed at VTT Energy, for facilitating these planning activities.

The starting point of the planning system in delivery logistics is the implementation of an easy tool for versatile planning so that with this tool we can flexibly model different delivery chains, create usage scenarios, make alternative examinations, and calculate impacts of different factors on energy wood amounts yielded and delivery costs. With planning system in delivery logistics we calculate production costs and amounts delivered to different utilisation locations. The system offers tools for definitions of utilisation locations, calculation parameters, and delivery chains. Delivery chains consisting of sequential tasks can be defined by the program, as well. The results of the program are displayed on work stations and they can be transferred into Excel- and MapInfo-programs.

1 TAUSTA

Korjuu-, kuljetus-, varastointi- ja käsittelykustannukset metsän ja puupolttoaineen lopullisen käyttäjän välillä muodostavat valtaosan puupolttoaineen

kokonaiskustannuksista. Hankinnan suunnittelu on monimutkainen tehtävä, joka muuttuu sitä vaativammaksi, mitä suuremmista polttoainemääristä ja useammista käyttökohteista on kysymys. Hankintaketjut ovat useimmiten kokonaisuuksia, joissa yhdenkin työvaiheen toimintahäiriö vaikuttaa koko ketjun toimintaan. Hankintaketjun logistisiin kokonaiskustannuksiin vaikuttavat muun muassa leimikon ominaisuudet, korjuu- ja metsäkuljetusmenetelmät, jatkokäsittelyn (kuten haketuksen) ja terminaalien sijaintipaikat, mahdollisten liikkuvien jatkokäsittelykoneiden käyttö, kuljetusten pituudet sekä missä muodossa puu kuljetetaan. On selvittävää, mitä ja missä varastoidaan sekä kuinka suuria varastoja tarvitaan vai selvittääanko ilman varastoja. Lisäksi integroidut menetelmät, joissa samalla kertaan korjataan metsästä sekä puunjalostukseen että polttoaineeksi käytettävät puun osat, voivat vaikuttaa kustannuksia alentavasti. Siksi puupolttoainehankinnan suunnittelu on avainasemassa puupolttoainetoimitusten kannattavuuden ja luotettavuuden kannalta. Kokonaisvaltaisella, eri vaihtoehdot huomioonottavalla hankinnan suunnittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi toiminnan kannattavuuteen ja saavutettavissa olevaan energian hintatasoon.

2 TAVOITE

Tutkimusprojektin (1993-1995) tavoitteena oli kehittää puupolttoaineen hankintalogistiikan suunnitteluun soveltuvia malleja ja simulointimenetelmiä, toteuttaa sopivimpien menetelmien pohjalta suunnittelua tukevia tietoteknisiä työkaluja sekä testata toteutettuja ratkaisuja yhdessä yritysten kanssa.

Projektin tavoitteeksi vuodelle 1995 määriteltiin hankintalogistiikan suunnittelua tukevan mallin ja ohjelmiston laatiminen. Puupolttoaineen hankinnan kannalta kriittiset kysymykset ovat saatavilla oleva puupolttoainemäärä sekä hankintahinta käyttöpaikalle toimitettuna, joihin vaikuttavat useat eri tekijät. Niitä ovat esimerkiksi leimikoiden ominaisuudet, käytettävät hankintatekniikat, leimikoiden sijainti ja metsänomistajien myyntihalukkuus.

Hankintalogistiikan suunnitteluohjelmiston lähtökohdaksi on otettu käyttäjäystävällisen ja monipuolisen suunnittelun apuvälineen toteuttaminen siten, että sillä voi joustavasti mallintaa erilaisia hankintaketjuja, laatia oletus-skenaarioita, suorittaa vaihtoehtoistarkasteluja sekä laskea kaikkien eri tekijöiden vaikutukset talteensaatavaan energiapuumäärään sekä hankinnan kustannuksiin.

3 TOTEUTUS

Ohjelmiston toteutuksesta vastasi VTT Energia. Ohjelmiston toteuttaneessa työryhmässä toimivat dipl.ins. Olli Pitkänen, dipl.ins. Tapio Ranta sekä tal.toht. Heikki Laitinen. Lisäksi ohjelmiston kehitystä ovat avustaneet metsänhoitajat Pekka-Juhani Kuitto ja Tero Vesisenaho sekä dipl.ins. Mika Laihanen VTT Energiasta. Ohjelmiston pilotoinnissa tehtiin yhteistyötä Keski-Suomen Metsäenergia -projektin ja Metsäkeskus Tapion kanssa, josta lähtötietojen määrittelyyn on osallistunut metsänhoitaja Veijo Vesterlin.

4 TEHTÄVÄT

Pääpaino oli puupolttoaineiden hankinnan suunnitteluohjelmiston prototyypin laatimisessa. Sen toteutus jakaantui kolmeen päävaiheeseen, jotka olivat

1. ohjelmistoperusteiden analysointi ja tavoitteiden määrittely,
2. ohjelmiston toteutus sekä
3. pilotoinnin käynnistäminen.

Ideointi ja määrittely -vaiheessa hahmoteltiin ohjelmiston toiminta sekä periaatteelliset ratkaisut, joita ohjelmiston toteutuksessa noudatettiin. Samassa yhteydessä rajattiin tässä projektissa toteutettavat osat sekä luotiin periaatteet, joiden avulla tulevaisuudessa voidaan tehdä uusia osia ohjelmiin.

5 RAHOITUS

Seuraavassa taulukossa on esitetty koko kolmen vuoden (1993 - 1995) rahoitus.

Rahoittaja	1993 mk	1994 mk	1995 mk
Bioenergian tutkimusohjelma	200 000	200 000	200 000
Teollisuus			50 000
VTT	50 000	150 000	150 000
Yhteensä	250 000	350 000	400 000

Keski-Suomen Metsäenergia -projekti sopii hyvin esimerkiksi tämän projektin kohdejärjestelmästä, ja sen kanssa on tehty aktiivista yhteistyötä.

6 TULOKSET

Hankintalogistiikan suunnitteluun tarvitaan malli ja sitä tukemaan käyttäjäystävällinen ohjelmisto, joka soveltuu laajojen tietomassojen käsittelyyn. Tässä luvussa käsitellään laaditun suunnitteluohjelmiston lähtökohtia, ohjelmiston toteutusympäristöä, laskennan periaatteita, ohjelmiston kokonaisrakennetta ja tietokantaa. Ohjelmisto on yksityiskohtaisemmin ikkunanäyttöjen tarkkuudella kuvattuna erillisessä raportissa: *Olli Pitkänen, Puupolttoaineiden hankinnan suunnitteluohjelmisto, väliraportti, 1995, 25 s.*

7 LÄHTÖKOHDAT

Ohjelmiston tarkoituksena on toimia apuvälineenä puupolttoaineiden hankinnan suunnittelussa. Ohjelmistolle on määriteltä seuraavat lähtökohdat:

- ohjelmistolla on voitava laskea saatavilla olevat puupolttoainemäärät sekä hankintakustannukset eri käyttöpaikoille toimitettuna,
- ohjelmistolla on voitava suorittaa alueellista suunnittelua siten, että puupolttoaineet toimitetaan hankintakustannusten kannalta edullisimpaan käyttökohteeseen,
- eri työvaiheet sekä niistä koostuvat hankintaketjut on voitava määritellä ohjelmiston avulla,
- laskentaan vaikuttavat tekijät, kuten esimerkiksi myyntihalukkuus ja hankintaetäisyys on voitava määritellä laskelmakohtaisesti,
- leimikkotietojen siirto ulkopuolisista tietolähteistä on oltava mahdollista,
- laskennan tulokset on voitava esittää graafisesti taulukkolaskentaohjelman avulla ja tulokset on voitava siirtää karttaohjelmistoon havainnollistamista varten sekä
- ohjelmisto on toteutettava loppukäyttäjää ajatellen helppokäyttöiseksi ja toteutuksessa on hyödynnettävä nykyaikaisia tietoteknisiä ratkaisuja.

Kaiken kaikkiaan pyrittiin laatimaan käyttäjäystävällinen ja helppokäyttöinen ohjelma, jolla kuitenkin voidaan saada suunnittelun kannalta keskeiset asiat riittävän yksityiskohtaiseen ja havainnolliseen muotoon.

7.1 OHJELMISTON TOTEUTUSYMPÄRISTÖ

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 keskitetyssä verkon palvelimessa, jolloin tietokanta on yh-

teiskäyttöinen usealle eri sovellukselle. Verkon tietokantapalvelin voi olla joko OS/2-pohjainen palvelin tai UNIX-käyttöjärjestelmällä toimiva minikone.

Ohjelmiston tiedonhallinta on toteutettu SQLBase tiedonhallintaohjelmalla. Toteutuksessa on käytetty SQLBase versiota 4.1, joka on Windows-työasemassa toimiva yhden käyttäjän tiedonhallintajärjestelmä. Kehittämisvaiheessa käytetty versio 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 suhteellisen pienellä työllä.

Laskentaohjelmisto on toteutettu PC-työasemassa toimivaksi Windows-sovellukseksi. Toteutuksessa on käytetty pääasiassa SQLWindows sovelluskehittäjä. Tämän lisäksi osia ohjelmistosta on toteutettu Excel-tilukkolaskentaohjelmalla ja MapInfo-karttaohjelmistolla. SQLWindows on lähiverkon työasemasovellusten kehittämiseen tarkoitettu graafinen sovelluskehittäjä, jonka avulla voidaan maalata ohjelman näytöt, toteuttaa ohjelman laskentarutiinit sekä hoitaa tiedon siirto ja vastaanotto tietokannasta. Puupolttoaineiden hankinnan suunnitteluohjelmisto on toteutettu lähes kokonaisuudessaan SQLWindows sovelluskehittäjällä. Excel-tilukkolaskentaohjelmalla on toteutettu tulosten jatkokäsittely sekä graafisten esitysten piirtäminen tulosten pohjalta. MapInfo-karttasovelluksella on toteutettu kaukokuljetus- ja etäisyyksien laskenta sekä tulosten esittäminen karttapohjalla.

7.2 LASKENNAN PERIAATTEET

Ohjelmisto laskee tuotantokohteista saatavat energiapuumäärät sekä hankintakustannukset käyttökohteisiin toimitettuna valitun hankintaketjun avulla. Laskenta tapahtuu kokonaisuudessaan tietokantaan tallennettujen määrittelyjen ja lähtötietojen pohjalta. Myös laskennan välitulokset ja lopulliset tulokset tallennetaan tietokantaan. Ennen laskennan aloittamista on kaikkien laskennassa tarvittavien määrittelyjen oltava tietokannassa. Laskenta aloitetaan tuotantokohteiden (leimikoiden) 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 järjestyksessä. Jokaisessa työvaiheessa syntyneet kustannukset kumuloidaan tietokantaan. Kohteen puumäärää pienennetään jokaisessa

työvaiheessa vaiheen hävikin verran. Laskennan jälkeen jokaisesta tuotantokohteesta tiedetään talteensaatava määrä ja tuotantoketjun kokonaiskustannus.

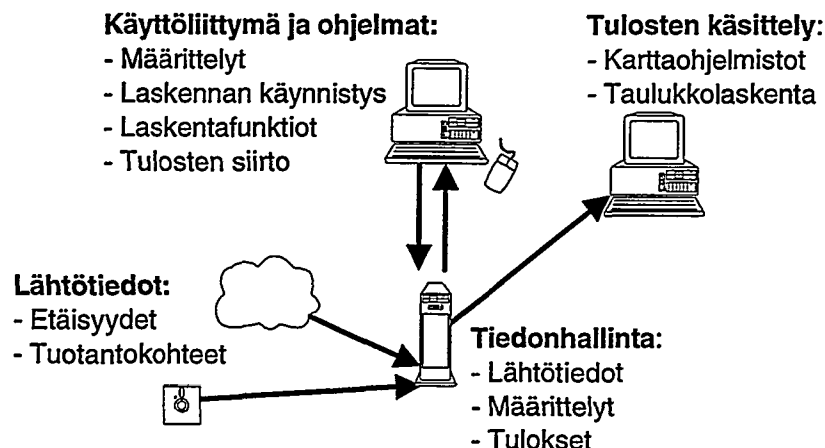
Määrien laskenta perustuu jokaisesta tuotantokohteesta erikseen laskettavalle energiapuumäärälle sekä hankintaketjun työvaiheiden saantoprosenteille. Kustannusten laskenta perustuu hankintaketjun työvaiheiden tuntihintoihin ja tuottavuuksiin, jotka käyttäjä voi vapaasti määritellä. Lisäksi kustannuksia laskettaessa voidaan ottaa huomioon olosuhdetekijöitä siinä laajuudessa kun laskentafunktioita on toteutettu ja lähtötietoja on saatavilla. Tämän hetkisessä versiossa otetaan huomioon kaukokuljetusetaisyys ja metsäkuljetusmatka.

Laskennan jälkeen suoritetaan alueellisen mallin rakentaminen. Mikäli laskentaan on otettu mukaan useampi kuin yksi käyttökohde, valitsee ohjelmisto yksikkökustannusten perusteella edullisimman toimituspaikan jokaiselle tuotantoerälle. Lopulliset laskentatulokset voidaan siirtää tiedostoihin, joista ne on luettavissa Excel-taulukkolaskentaan ja MapInfo-karttaohjelmaan jatkokäsittelyä ja visualisointia varten.

7.3 OHJELMISTON KOKONAISRAKENNE

Ohjelmisto perustuu kokonaisrakenteeltaan hajautettuun työasema/palvelin -arkkitehtuuriin, jossa tiedot on keskitetty yhteen tietokantaan, kun taas laskenta ja tulostenkäsittely on hajautettavissa useaan eri sovellukseen (kuva 1). Kokonaisrakenne on nykyaikainen ja noudattaa tällä hetkellä ohjelmistokehityksessä vallitsevia käytäntöjä.

Ohjelmiston tiedonhallinta on toteutettu SQLBase tietokannan avulla. Tietokannan varaan on toteutettu SQLWindows sovelluskehittimellä käyttöliittymä ja laskentarutiinit, joilla tarvittavat määrittelyt ja laskenta suoritetaan. Lähtötietojen siirto ohjelmistoon suoritetaan SQLTalk ohjelmiston avulla, jossa on valmiit tiedonsiirtorutiinit erilaisille tiedostoformaateille. Tulostenkäsittelyä varten ohjelmisto kirjoittaa siirtotiedostot, jotka voidaan sellaisinaan avata Excel-taulukkolaskentaohjelmassa sekä MapInfo-karttasovelluksessa.



Kuva 1. Suunnitteluohjelmiston kokonaisrakenne.

7.4 TIETOKANTA

Laskentaohjelmisto on toteutettu SQL-kielellä relaatiotietokannan päälle. Ohjelmiston toteutus on erittäin tietokantaintensiivinen, sillä kaikki lähtötiedot, määrittelyt, laskennan välitulokset ja lopulliset tulokset säilytetään tietokannassa. Tietokantaan on määriteltä seuraavat taulut:

Taulun nimi	Sisältö ja käyttö
Hakkuutapa	Sisältää hakkuutapojen nimet ja koodit. Käytetään rajauksissa ja poimittaessa tuotantokohteita laskentaan.
Hankintaketju	Sisältää hankintaketjujen nimet ja koodit sekä hankintaketjuun kuuluvien työvaiheiden koodit. Taulusta haetaan laskennan yhteydessä suoritettavien työvaiheiden koodit.
Käyttökohde	Sisältää käyttökohteen nimen, koodin, sijainnin, polttoainemäärän, rajahinnan ja laadun. Käytetään laskennan määrittelyssä, etäisyyksien laskennassa ja alueellisen mallin luonnissa.
Laskelma	Sisältää laskelman nimen ja koodin. Lisäksi tauluun tallennetaan laskennassa käytetyt määrittelyt tulostenkäsittelyä varten. Laskelmakäsittelyn avulla erotellaan vaihtoehtoiset laskelmat toisistaan.
LaskelmaKK	Sisältää käyttökohteittain ja laskelmittain kustannukset ja polttoainemäärät. Taulun avulla voidaan erotella vaihtoehtoiset määrät ja kustannukset käyttökohteittain.
Omistusryhmä	Sisältää omistusryhmän nimen ja koodin. Käytetään rajauksissa ja poimittaessa tuotantokohteita laskentaan.

Paapuulaji	Sisältää puulajin nimen ja koodin. Käytetään rajauksissa ja poimittaessa tuotantokohteita laskentaan.
Rajaukset	Sisältää rajausten nimen ja koodin sekä joukon laskelmaa rajaavia parametreja sekä laskennassa käytettäviä kertoimia. Käytetään valittaessa tuotantokohteita laskentaan sekä laskennassa.
Tuotantokohde	Sisältää tuotantokohteen koodin, omistusryhmän, hakkuutavan, pääpuulajin, sijainnin, polttoainemäärän ja laadun. Käytetään laskennan määrittelyssä, etäisyyksien laskennassa ja alueellisen mallin luonnissa.
Työvaihe	Sisältää työvaiheen koodin, nimen ja tyyppin sekä joukon työvaiheen tuottavuuteen ja kustannuksiin liittyviä tietoja. Käytetään työvaihekohtaisten kustannusten ja saantojen laskennassa.
Valimatkat	Sisältää eri kohteiden väliset kaukokuljetusetäisyydet. Käytetään kohteiden valinnassa ja kaukokuljetuskustannusten laskennassa.
Valitulos	Sisältää tuotanto- ja käyttökohteittain eri työvaiheiden kustannukset sekä talteensaadun energiapuumäärän. Käytetään laskennan lähtötietojen, välitulosten ja lopullisten tulosten tallentamiseen istunnon aikana.

7.5 KÄYTÖSSÄ HUOMATTAVAA

Hankintalogistiikan suunnitteluohjelmiston avulla lasketaan puupolttoaineiden tuotantokustannuksia ja -määriä eri käyttöpaikoille toimitettuna. Ohjelmisto tarjoaa työkalut käyttökohteiden, laskentaparametrien ja hankintaketjujen määrittelyyn. Hankintaketjut koostuvat peräkkäisistä työvaiheista, jotka myös voidaan määritellä ohjelman avulla. Tuotantokohteita ja etäisyyksiä kuvaavat tiedot siirretään ohjelmistoon erillisten siirtotiedostojen avulla. Laskennan tulokset näytetään ohjelman näytöllä ja ne on siirrettävissä jatkokäsittelyyn Excel-taulukkolaskentaan ja MapInfo karttaohjelmaan.

Ohjelma on toteutettu graafiseen PC/Windows käyttöympäristöön. Ohjelmaa käytetään normaalin Windows-ohjelman tapaan näppäimistön ja hiiren avulla. Tiedon tallennus tietokantaan tapahtuu suoraan ohjelman näytöiltä painikkeiden avulla. Käyttäjän ei siten normaalitilanteissa tarvitse operoida suoraan tietokannan kanssa. Ohjelma on laadittu käyttäjää opastavaksi. Siirryttäessä näytöllä paikasta toiseen ilmestyy näytön alareunassa olevaan kenttään ohje, joka selittää mitä kuhunkin kohtaan tulee syöttää tai mitä painikkeesta tapahtuu. Ohjelman tarvitsemat tuotantokohde- ja etäisyystiedot on oltava tietokannassa ennen laskennan aloittamista.

Nyt rakennettu ohjelmisto on kokeiluversio, joka sinänsä on toimiva malli asetettuine rajoituksineen ja sovelluksen perusrunko. Se ei kuitenkaan sisällä esimerkiksi tuottavuus- ja kustannustietoja, joita vasta rakennetaan, hankitaan ja työstetään erillisessä projektissa. Samoin lähtötietojen hankinta on nykyisin täysin käyttäjän omalla vastuulla.

8 JATKOSUUNNITELMAT

Toteutettu ohjelmisto on luonteeltaan runkosovellus, joka jo nyt toteutettujen ominaisuuksien lisäksi tarjoaa monipuoliset jatkokehitysmahdollisuudet. Ohjelmiston toteutustapa mahdollistaa joustavasti uusien tietojen, laskentamallien ja analyysimallien liittämisen ohjelmistoon. Seuraavassa on listattu jatkokehitysideita, joita voidaan toteuttaa jatkossa:

- Työvaiheiden kestojen ja kapasiteetin kuormitusasteiden laskenta. Ominaisuus helpottaisi tuotantokapasiteetin tarpeen analysointia sekä eri työkohteiden ajoituksen suunnittelua. Lisäksi ominaisuus mahdollistaisi tuotantokyvyn laskennan esimerkiksi MWh/päivä.
- Laatu- ja ominaisuustietojen liittäminen ohjelmistoon. Tuotantokohteissa voitaisiin erikseen seurata erilaatuisten jakeiden määriä ja niille kohdistuvia kustannuksia.
- Leimikoiden ominaisuuksien hyödyntäminen korjuun kustannusten laskennassa. Tällä hetkellä korjuukustannukset lasketaan käyttäjän antaman tuottavuuden perusteella. Jatkossa olisi mahdollisuus huomioida leimikoiden ominaisuudet tuottavuuden laskennassa, mitä kautta päästäisiin todellisempiin kustannuksiin.

Jatkotutkimuksen ja -kehittämistyön tarve on ilmeinen ja sitä on kanavoitu uusiin hankkeisiin. Erityisesti suunnittelujärjestelmän proton edelleen kehittäminen on tarpeen, jos sitä halutaan käyttää hyödyksi todellisissa laajoissa suunnittelutehtävissä. Ongelmana on myös olemassa olevien metsien lähtötietojen synkronointi ja liittäminen sujuvasti suunnittelujärjestelmän syötoksi.

9 RAPORTIT JA JULKAISUT

Heikki Laitinen, Logistiikan merkitys puupolttoaineiden tuotantoketjussa, Puupolttoaineiden tuotanto -seminaariesitelmä, 2. - 3.6.1993, VTT Poltto- ja lämpötekniikan laboratorio, 7s.

Heikki Laitinen, Puunhankintaketjun simulointi, työraportti, 1993, VTT Poltto- ja lämpötekniikan laboratorio, 13 s.

Heikki Laitinen, Puunhankintaketjujen mallintaminen, väliraportti, 1994, VTT Energia, 15 s.

Heikki Laitinen, Puupolttoaineen hankintalogistiikan kehittäminen, Bio-energian tutkimusohjelman vuosikirja 1993, VTT Energia, 9 s.

Heikki Laitinen, Puupolttoaineen hankintalogistiikan kehittäminen, Bio-energian tutkimusohjelman vuosikirja 1994, VTT Energia, 10 s.

Heikki Laitinen, Puupolttoaineiden liiketoiminnan suunnittelu, väliraportti, 1995, VTT Energia, 14 s.

Heikki Laitinen & Tapio Ranta, Puupolttoaineisiin kytkeytyvän liiketoiminnan kuvaaminen, VTT Tiedotteita nro 1686, 1995, 66 s.

Olli Pitkänen, Puupolttoaineiden hankinnan suunnitteluohjelmisto, väliraportti, 1995, VTT Energia, 25 s.

Heikki Laitinen, Puupolttoaineiden hankintalogistiikan kehittäminen, loppuraportti, 1995, VTT Energia, 31 s.

ENERGIAPUUN KORJUUN JA KULJETUKSEN KUSTANNUSLASKENTAOHJELMISTO - 117

Pekka-Juhani Kuitto
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Abstract: A calculation program for harvesting and transportation costs of energy wood

VTT Energy is compiling a large and versatile calculation program for harvesting and transportation costs of energy wood. The work has been designed and will be carried out in cooperation with Metsäteho and Finntech Ltd. The program has been realised in Windows surroundings using SQLWindows graphical database application development system, using the SQLBase relational database management system. The objective of the research is to intensify and create new possibilities for comparison of the utilization costs and the profitability of integrated energy wood production chains with each other inside the chains.

1 TAUSTA

Energiapuun käytön lisäämisedellytysten kannalta keskeinen tekijä on sen hintakilpailukyky. Polttoraaka-aineen kustannuksista valtaosan muodostavat korjuun ja kuljetusten osuudet - hankitaan puu käyttöpaikoille missä muodossa ja keinolla tahansa. Uudet tuotantoketjut mahdollistavat jo hyvinkin monipuolisia vaihtoehtoja hankinnan toteuttamiselle. Samalla raaka-aineen laatutekijöiden merkitys on kasvanut ja lisännyt paineita osittaa ja kuljettaa oikean laatuiset puut ja puunosat taloudellisesti soveliaimmille käyttöpaikoille. Puuta voidaan nykyään myös kuljettaa aiempaa huomattavasti useampaan käyttökohteeseen työmaittain. Puuta energiaksi ja jalostukseen käyttävän teollisuuden rinnalle on rakennettu runsaasti puuta käyttäviä alueellisia lämpö- ja voimalaitoksia.

Tämä kehitys on toisaalta lisännyt ja vaikeuttanut tuotantoketjujen kustannushallintaa. Ainespuun hankintaa varten on kehitetty siksi erilaisia laskentamalleja ja -järjestelmiä. Tietotekniikan nopea kehittyminen ja järjestelmien yleistymisen käytännön metsätaloudessa ovat mahdollistaneet osaltaan

erilaisten laskentamallien intensiivisen kehittämisen ja jalkauttamisen ”arkipäivän” työkaluiksi.

Nykyisin käytössä olevat laskentamallit eivät kuitenkaan sellaisenaan sovi energiapuun kustannusten laskemiseen. Perustietoa on puuttunut ja energiapuun tuotantomenetelmät ovat kehittyneet ratkaisevasti vasta tällä vuosikymmenellä. Puupolttoaineen kilpailukyvyn luotettavan arvioimisen ja päätösten tueksi kustannustietoutta tarvitsevat lisäksi sekä energiapuun ostajat, välittäjät, myyjät että toimintaa harjoittavat kone- ja kuljetusyrittäjät.

VTT Energia toteutti vuosina 1993 - 1995 laajan puupolttoaineen hankintalogistiikkaa selvittäneen hankkeen. Työ oli osa Bioenergian tutkimusohjelmaa. VTT Energian asiantuntemus puupolttoaineen laatutekijöiden, käytön ja logistiikan alueilla toi runsaasti uutta sovellettavaa tietoa. Metsäteho on vuorostaan tehnyt laaja-alaista ainespuun korjuun ja kuljetuksen kehittämistyötä vuosikymmeniä. Vuosikymmenen vaihteessa saatiin valmiiksi suurehko tutkimusprojekti, jonka osatuloksena valmistettiin ja ajanmukaistettiin ainespuun hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannuslaskentamallit.

2 PROJEKTIN TAVOITTEET

Projektin tavoitteena on toteuttaa energiapuun tuotannon kustannuslaskentaohjelmisto, jonka avulla voidaan laskea työvaiheittaisia tai hankintaketjuittaisia kustannuksia leimikoista erilaisille käyttöpaikoille. Kustannustarkastelujen lisäksi ohjelmiston avulla voidaan vertailla ja arvioida tarvittavia resursseja, koneketjuja, työmääriä ja työaikoja.

Ohjelmistoa voidaan käyttää sekä energiapuun erillisen tuotannon että integroidun energia- ja ainespuun tuotannon laskelmissa. Integroidussa tuotannossa on voitava erotella syntyvistä kokonaiskustannuksista energiapuulle ositettavat kustannukset.

Ohjelmistolle on määritelty seuraavat osatavoitteet:

- * ohjelmistolla on voitava laskea saatavilla olevat puupolttoainemäärät sekä hankintakustannukset eri käyttöpaikoille toimitettuna
- * ohjelmistolla on voitava suorittaa tuotantoketjuittaisia kustannusvertailuja osavaiheittain ja ketjuittain
- * ohjelmistolla on voitava suorittaa alueellista suunnittelua siten, että puupolttoaineet toimitetaan hankintakustannusten kannalta edullisimpaan käyttökohteeseen
- * eri työvaiheet sekä niistä koostuvat hankintaketjut on voitava määritellä ohjelmiston avulla

- * laskennan tulokset on voitava esittää graafisesti taulukkolaskentaohjelman avulla ja tulokset on voitava siirtää karttaohjelmistoon havainnollistamista varten
- * ohjelma on toteutettava riittävän helppokäyttöiseksi.

3 TOTEUTUS

Kustannuslaskentaohjelmisto toteutetaan VTT Energian toimesta yhteistyössä Metsätehon ja Finntech Ltd. Oy:n asiantuntijoiden kanssa. Projektin vastuullisena johtajana toimi vuonna 1995 dipl.insinööri Olli Pitkänen ja vuonna 1996 metsänhoitaja P-J. Kuitto, molemmat VTT Energiasta.

Projekti suunniteltiin alunperin aloitettavaksi alkuvuonna 1995. Rahoituspäätökset varmistuivat kuitenkin vasta syksyllä 1995, jolloin päästiin varsinaiseen projektityöhön. Projektia rahoittavat Maa- ja metsätalousministeriö, Keski-Suomen Liitto ja VTT Energia.

Projektissa hyödynnetään VTT Energian ja Metsätehon aiemmissa projekteissaan laatimia kustannusten ositusmalleja, joita on ajanmukaistettu uusimpien tutkimustietojen perusteella. Projektissa rakennetaan lisäksi uusia tuottavuus- ja kustannusfunktioita korjuu- ja kuljetusketjuittain.

Varsinainen päätyö on kohdistunut loppuvuonna 1995 tiedonhallintajärjestelmän kehittämiseen ja sen käyttösoveltamiseen. Ensimmäinen runkoversio ideoitiin ja rakennettiin VTT Energian hankintalogistiikka-projektin yhteydessä. Ohjelmistoa on kehitetty uusia tarpeita vastaavaksi ja on saatu valmiiksi protoversio jatkokehittämistä varten. Lisäksi yhdessä Metsätehon kanssa on paneuduttu tuotannon eri osavaiheiden ja niissä käytettävien olosuhdemuuttujien määrittelyihin ja toteutuksiin. Määrittelyissä on otettu huomioon sekä energiapuun että ainespuun tuotanto. Korjuun ja kuljetusten osavaiheitten uudet funktiot on tarkoitus saada analysoitua ja valmiiksi alkukesällä 1996. Koko ohjelmiston ensimmäinen täyden mittakaavan versio valmistuu vuoden 1996 aikana.

Kokonaisuudessaan laskentaohjelmisto perustuu hajautettuun client/server arkkitehtuuriin, jossa tiedot on keskitetty useaan eri sovellukseen. Ohjelmisto soveltuu käytettäväksi myös yksittäisessä mikrotietokoneessa. Kokonaisrakenne on nykyaikainen ja noudattaa tällä hetkellä ohjelmistokehityksessä vallitsevia käytäntöjä.

Ohjelmisto on toteutettu SQL-kielellä relaatiotietokannan päälle. Ohjelmiston toteutus on erittäin tietokantaintensiivinen, sillä kaikki lähtötiedot,

määrittelyt, laskennan välitulokset ja lopulliset tulokset säilytetään tietokannassa.

Ohjelmisto toteutetaan lisäksi graafiseen MS-Windows käyttöympäristöön. Tämän toteutustavan avulla ohjelmistoa voidaan käyttää normaaleissa ajamukaisissa mikrotietokoneissa. Ohjelmiston laskentaosuudet ja tiedonhallinta toteutetaan modernilla sovelluskehittimellä, tietokantaohjelmistolla ja taulukkolaskentaohjelmalla (Excel). Karttasovelluksella toteutetaan mm. kaukokuljetusjärjestelmien laskenta sekä tulosten esittäminen karttapohjalla.

Ulkopuolisten tietorekisterien hyödyntämistä varten ohjelmistoon rakennetaan tiedonsiirtokinkit, joiden avulla tietoja voidaan suoraan siirtää kustannuslaskentafunktioiden lähtötiedoiksi. Yhteenvetotietojen siirto ulkopuolisista tietokannoista tulee myös olemaan mahdollista avoimen toteutusarkkitehtuurin ansiosta.

4 OHJELMISTON HYÖDYNTÄMINEN

Kustannuslaskentaohjelmisto on valmistuessaan työkalu, jota voidaan hyödyntää suunniteltaessa energiapuun hankintaa ja käyttöä nykyisissä ja tulevaisissa käyttökohteissa, arvioitaessa erilaisten koneketjujen käytön taloudellisuutta sekä suunnattaessa tutkimus- ja kehitystoimintaa puupolttoaineen hankintaketjun eri vaiheisiin.

Puupolttoaineen käyttäjät, kuten lämpö- ja voimalaitokset sekä kunnat voivat arvioida eri käyttökohteiden raaka-ainekustannuksia luotettavasti. Tämä helpottaa myös polttoaineen hankinnan suunnittelua. Metsäteollisuus voi suunnitella energiapuun hyödyntämismahdollisuuksia ainespuun hankinnan yhteydessä ja siten vaikuttaa myös puuraaka-aineen hankintatalouden kehittämiseen.

Metsänomistajat voivat hakkuiden suunnittelun yhteydessä arvioida polttoaineen korjuun kannattavuuden tapauskohtaisesti. Kone- ja kuljetusyrittäjät hyötyvät suoraan ohjelmiston käytöstä suunnitellessaan kone- ja työmääräresurssien sekä kuljetustalouden optimointia. Puupolttoaineita välittävät organisaatiot voivat arvioida tapauskohtaisesti leimikoiden markkinakelpoisuutta ja toimitusten operatiivista taloutta.

PALSTAHAKETUKSEN LOGISTINEN KETJU - 116

Jaakko Nuuja
Joensuun yliopisto
Metsätieteellinen tiedekunta
PL 111
80101 Joensuu
Puh. (973) 151 3490
Faksi (973) 151 3590

Antti Asikainen
Metsäosaamiskeskus
Joensuun Tiedepuisto
PL 111
80101 Joensuu
Puh. (973) 1637 132
Faksi (973) 1637 111

Abstract: Logistics of in-wood chipping and trucking of chips

In this study a in wood chipper and truck transport of chips were modelled and studied by discrete-event simulation. The input data, which included stand characteristics and information about transport distances was compiled by GRASS-program. This data based on the inventory done by Forestry Centre TAPIO. With the model various transport alternatives were compared and the effect of work condition factors were studied. It was find out, that a long distance transport with interchangeabe container truck gives better produtivities than a truck with a trailer. This results from shorter loading time for the interchangeable container truck.

1 TAUSTA

Pienpuuhakkeen ja hakkuutähdehakkeen hankinnassa on käytetty sekä murskaukseen että haketukseen perustuvia menetelmiä. Murskaus tai haketus voidaan tehdä joko palstalla, välivarastolla, haketerminaalissa tai käyttöpaikalla. Välivarastohaketusta käytettäessä hakkuutähteet on kuljetettava välivarastolle, josta syntyy kustannuksia sekä varattava tila tienvarsivarastolle. Haketerminaali- ja käyttöpaikkahaketus vaativat lisäksi haketettavan materiaalin kaukokuljetusta.

Palstahaketuksella tarkoitetaan haketusmenetelmiä joissa hakkeen valmistaminen tapahtuu palstalla tai ajouralla. Avohakkuuoloissa palstahakkuri voi liikkua vapaasti leimikon alueella mutta harvennushakkuissa sen on pysyteltävä ajourilla. Haketus tapahtuu hakkuriyksikön perävaunuun tai säiliöön, josta hake puretaan tien varressa kasoihin tai yleisimmin vaihtolavoihin. Palstahaketuksen etuja ja haittoja ovat mm:

- + Erillistä metsäkuljetusta ei tarvita haketettavalle materiaalille.
- + Hakkuutähteiden välivarastointia ei tarvita.

- + Tienvarsivaraston tilan tarve on pieni.
- + Haketus ja autokuljetus eivät (välttämättä) muodosta kuumaa ketjua.
- Haketuskustannukset ovat suuremmat kuin välivarastohaketuksessa, koska hakkuri suorittaa myös metsäkuljetuksen.
- Maapohjan on oltava melko tasainen ja kantava sekä kuljetusmatkan tienvarteen melko lyhyt.
- Hakkuutähteillä soveltuu pääasiassa sulan maan korjuumenetelmäksi.

Aiemmin eräs este palstahaketuksen yleistymiselle on ollut sopivien palstahakkurien puute. Logset Oy:n valmistaman hakeharvesterin Chipset 536 C käytöstä polttihakkeen tuotannossa on saatu lupaavia tuloksia (projekti D106). Chipset-hakeharvesteriin perustuvan polttihakkeen tuotanto- ja kuljetusketjun teknistä ja taloudellista toimivuutta keskisuomalaisissa puunkorjuuoloissa on tutkittu projektissa Y107. Palstahaketuksen hankintaketjun osina olivat hakeharvesteri ja vaihtolavahakeauto. Kaukokuljetuksen järjestämisessä on olemassa myös muita vaihtoehtoja kuten monituoteauto tai täysperävaunullinen hakerekka.

2 TAVOITE

Edellä mainittujen projektien pohjalta käynnistyi tutkimushanke palstahaketuksen logistisen ketjun ominaisuuksien selvittämiseksi. Tutkimuksen tavoitteena on mallintaa palstahaketukseen ja hakkeen kaukokuljetukseen liittyvä logistinen ketju. Erilaisten ketjujen kokonaiskannattavuus pyritään selvittämään ja vertaamaan palstahaketusta muihin energiahakkeen tuotantomenetelmiin. Tutkimuksen yhteydessä selvitetään myös leimikoiden välisen siirtojen osuus kustannuksista ja työajasta.

3 TOTEUTUS

Tutkimus toteutetaan Joensuun yliopiston metsätieteellisessä tiedekunnassa. Projektin johtajana toimii MMT Antti Asikainen ja projektitutkijana MH Jaakko Nuuja, joka valmistelee aiheesta lisensiaatintutkimusta.

4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät vuoden 1995 aikana olivat:

1. Simulointimalliin tarvittavien lähtötietojen hankinta aiemmista tutkimuksista.
2. Empiirisen metsikkökuvio-aineiston käsittely.
3. Simulointimallin rakentaminen ja sen oikeellisuuden varmistaminen.

4. Vertailulaskelmien teko ns. kylmien ketjujen osalta.
5. Alustavat simulointiajot korjuuketjuille.

5 RAHOITUS

Projektin rahoituksesta vastaa TEKES ja projektin kokonaisrahoitus on 160 000 mk. Tutkimuksessa tarvittavat tilat ja laitteet tarjoaa Joensuun yliopisto.

6 TULOKSET

6.1 LÄHTÖTIEDOT

Ketjun koneiden ominaisuudet koottiin aikaisempien tutkimusten tuloksista. Bioenergian tutkimusohjelman aiempien tutkimusten perusteella saatiin simulointimalliin hakeharvesterin käyttötuntituotos eri leimikko-olosuhteissa, keskeytysten osuus työajasta ja tuntikustannukset.

Kaukokuljetuskustannusten selvittämiseksi kartoitettiin ajokaluston tekniset ominaisuudet ja kustannukset yhteistyössä valmistajien kanssa (Sisu auto Oy, Antti Ranta Oy, Foresteri). Ajanmenekin osalta käytettiin aikaisempia tutkimuksia puutavara-autojen ajankäytöstä.

6.2 METSIKKÖKUVIO-AINEISTON KÄSITTELY

Potentiaalisten leimikoiden osalta lähtötietoina käytettiin Metsäkeskus Tapon keräämää TASO-suunnitelmien aineistoa Juvan alueelta. Aineisto käsitti noin 11 600 metsikkökuviota viideltä suunnitelma-alueelta. Metsäkuljetusmatkan laskennassa käytettiin maanmittaushallituksen tietietokannan aineistoa alueen tiestöstä (Autotiet 1a - autotiet 3b).

Metsäsuunnitelmien kuviokartat siirrettiin GRASS-ohjelmistolla rakennettuun paikkatietokantaan. Kuviokartan ja tieverkoston perusteella laskettiin kullekin metsikkökuvialle keskimääräinen etäisyys lähimpään tiehen.

TASO-suunnitelmien kuviotiedot siirrettiin INGRES- sovelluskehittimellä rakennettuun tietokantaan. Tietokannan tauluihin talletettiin osa kuviotiedoista, laskettu metsäkuljetusmatka ja arvio energiapuun kertymästä kuviolle. Energiapuun kertymän laskemiseksi ei ole olemassa luotettavia menetelmiä, jotka antaisivat kertymäärävion TASO:n kuviotietojen perusteella. Tämän vuoksi alustavana arviona käytetään ensiharvennuksen hakkuukertymän ja arvioidun polttopuumäärän sekä lasketun latvusmassan summaa.

Kuusen päätehakkuuleimikoiden osalta laskettiin arvio haketettavan hakkuutähteen kertymästä. Tietokannasta laskettiin tilasto-ohjelmistojen avulla leimikkotyypeittaiset haketettavan materiaalin jakaumat sekä jakauma metsäkuljetusmatkalle. Saatuja jakaumia käytettiin simulointimallin syötteenä.

6.3 SIMULOINTIMALLIN RAKENTAMINEN

Koneiden välisten vuorovaikutusten ja leimikkojen ominaisuuksien vaikutusten selvittämiseksi rakennettiin WITNESS-ohjelmistolla simulointimalli. Mallin keskeisiä osia ovat hakeharvesteri, välivarasto, hakeauto/hakeautot ja tiet leimikoiden, sekä hakkeen käyttöpaikan välillä. Rakennetun simulointimallin oikeellisuutta testattiin vertaamalla mallin antamaa haketus- ja kuljetuskustannusta aiempiin kustannuslaskelmiin hakkeen kuljetuksesta. Mallin loogisuus varmistettiin seuraamalla olioiden toimintaa mallissa sekä graafisen animaation että numeeristen tulosteiden avulla.

6.4 VERTAILULASKELMAT NS. KYLMIEN-KETJUJEN OSALTA

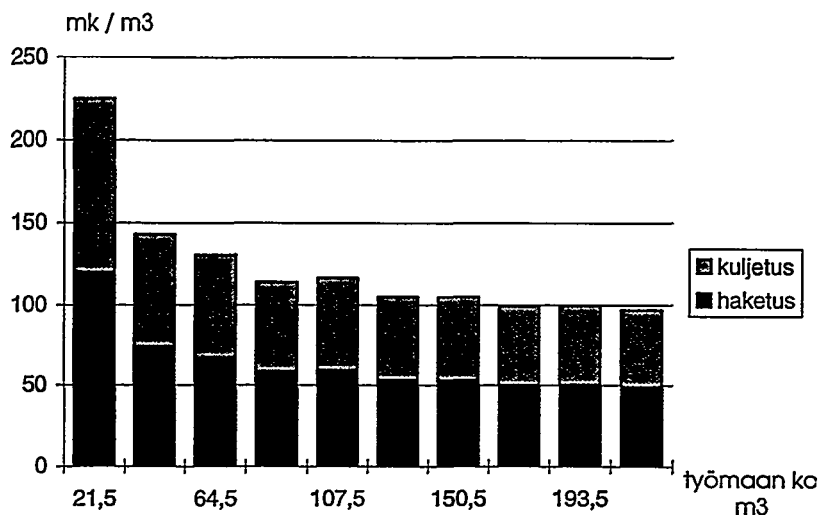
Vertailulaskelmissa käytettiin Metsätehon laatimaa puutavara-autojen kustannuslaskentamallia. Metsätehon laskentamallilla laskettiin hakkeen kuljetuskustannus omatoimisessa kuormauksessa, jolloin haketus ja kuljetus tapahtuvat toisistaan riippumatta. Laskentamallin avulla tutkittiin kaukokuljetusmatkan, kuormausajan ja kuormaimen hinnan muutoksen vaikutusta kuljetuskustannuksiin. Lähtöolettamuksena oli, että vuosittainen kuljetusmäärä on hakeharvesterin vuosituotoksen suuruinen. Kuljetuskustannuksiksi muodostui omatoimisella kuormauksella (90 min/kuorma) ja 60 kilometrin keskikuljetusmatkalla 45 markkaa/tonni ja 100 kilometrin keskikuljetusmatkalla 57,9 markkaa/tonni. Kuormausajan kasvu 60 minuutista 135 minuuttiin nosti kustannuksia 42,6 markasta/tonni 47,4 markkaan/tonni. Kuormaimen hinnan nousu 20 prosentilla nosti kuljetuskustannuksia yhden prosentin ja 100 prosentin hinnan nousu nosti kuljetuskustannuksia viisi prosenttia.

6.5 ALUSTAVAT SIMULOINTIAJOT

6.5.1 Kiinteä työmaan koko

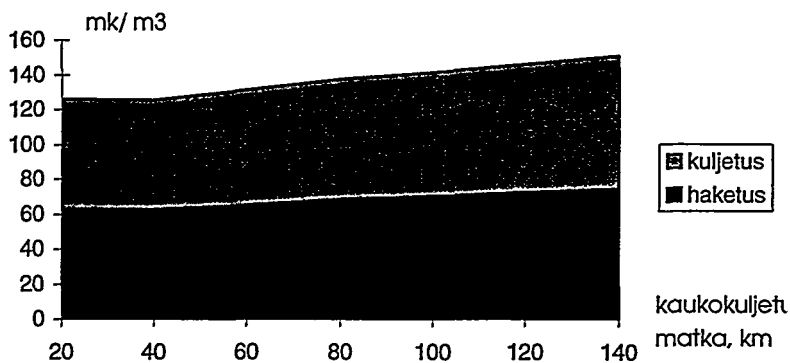
Ensimmäiseksi rakennetulla simulointimallilla suoritettiin vertailuajo, jossa tarkasteltiin mallin käyttäytymisen loogisuutta sekä kustannusten muutosta hakettaessa eri kokoisilla työmailla. Palstahakkurin prosessointiaikana pidettiin keskimääräistä 0,38 tuntia/kuorma. Tuntikustannuksina käytettiin hakkurilla 372 mk/tunti + siirrot (60 mk + 10 mk/km) ja kuorma-autolla 315 mk/tunti. Luvuissa ei ole mukana arvonnisäveroa. Keskimääräisenä kuljetusmatkana oli 60 km ja leimikoiden välinen siirtomatka 28 km, molemmis-

sa keskihajonta oli 10%. Metsäkuljetusmatka oli 250 m $\pm$ 20 %. Työmaiden koko oli kiinteä ja ajot suoritettiin 21,5 m³ - 215 m³ kokoisille työmailla. Hakekiintokuution kokonaiskustannus käyttöpaikalla laski työmaan koon suuretsa 225 mk:sta/m³ 97 markkaan/m³ (kuva 1). Erityisen voimakasta lasku oli pienikokoisten työmaiden välillä.



Kuva 1. Työmaan koon vaikutus kokonaiskustannuksiin.

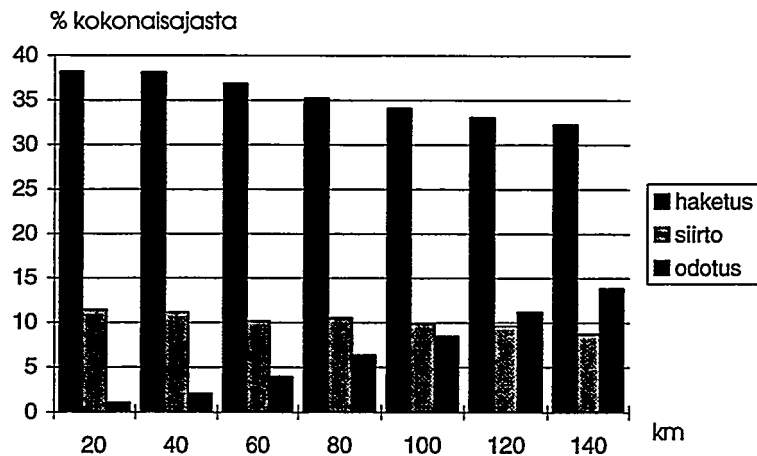
6.5.2 Vaihtolava-autoon perustuva kuljetusketju



Kuva 2. Kaukokuljetusmatkan vaihtelun vaikutus kokonaiskustannuksiin, hakeharvesteri - vaihtolava-auto - korjuuketju.

Varsinaisissa simulointiajoissa käytettiin TASO- suunnitelmista laskettujen kertymien avulla muodostettuja työmaita. Työmaat jaettiin päätehakkuusikoihin, joilta hakettiin hakkuutähteet (55,3 % kohteista) ja männyn ensiharvennuskohteisiin (44,7 % kohteista). Kohteiden pinta-alajakaumasta poimitulla arvolla kerrottiin kohteiden kertymäjakaumasta saatu arvo ja näin saatiin kunkin työmaan koko hakekuutiometreinä. Kohteiden välinen siirtomatka oli 28 km (+ 10 %). Hakkurin prosessointituottavuutena pidettiin hakkuutähteellä 13,7 m³/tehotunti ja ensiharvennuksessa 16,4 m³/tehotunti. Metsäkuljetusmatka saatiin kohteiden metsäkuljetusmatkoista muodostettujen jakaumien perusteella. Keskimääräistä kaukokuljetusmatkaa vaihdeltiin simulointiajoissa 20 - 140 kilometriin hajonnan ollessa aina 10 % keskimääräisestä kuljetusmatkasta. Tuntikustannukset olivat hakkurilla 373 mk ja autolla 335 mk. Edellä esitellyillä lähtöarvoilla haketuksen ja kaukokuljetuksen yhteen laskettu kustannus hake kiintokuutiometrille käyttöpaikalla vaihteli 126,1 - 151,1 mk/m³ (kuva 2). Kustannusten nousu on kuljetuksen osalla hieman haketuskustannuksia voimakkaampaa. Haketta kuljettavalle vaihtolava-autolle (6 konttia) ei ole oletettu muuta ajoa.

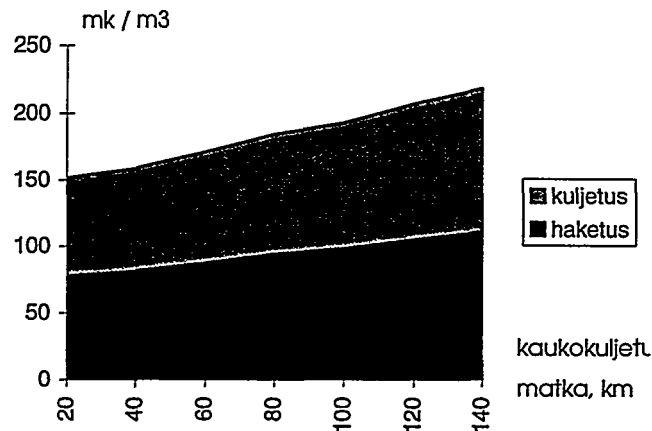
Koneiden ajankäytön osalta (kuva 3) kaukokuljetusmatkan kasvu vaikuttaa eniten palstahakkurin odotusaikoihin, koska hakuri voi tyhjentää kuorman varastolle vain jos varastolla olevissa konteissa on tilaa. Odotusajan kasvaessa hakkurin varsinaiseen haketukseen käyttämä aika pienenee, mikä johtaa haketuskustannusten nousemiseen.



Kuva 3. Kaukokuljetusmatkan muutoksen vaikutus palstahakkurin haketus-, siirto-, ja odotusaikoihin.

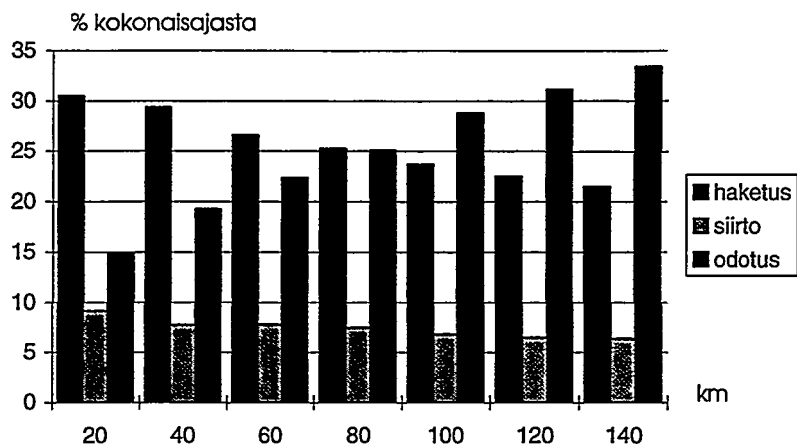
6.5.3 Hakerekkaan perustuva kuljetusketju

Toisena simuloitavana yhdistelmänä oli palstahakkuri - hakerekka - ketju. Tällöin hakkuri tyhjensi kuorman suoraan odottavaan hakerekkaan. Erona edelliseen ajoon oli kuormauksen ajanmenekki ja auton tuntikustannukset. Epäsuora kuormaus aika oli 12 min/kuorma ja varsinainen kuormaus aika riippui hakkurin tuotoksesta kyseisellä kohteella. Auton ja perävaunun yhteenlaskettu tuntikustannus oli laskelmassa 311 markkaa. Kokonaiskustannukseksi muodostui noin 151 mk/m^3 - 218 mk/m^3 , kaukokuljetusmatkasta riippuen (kuva 4).



Kuva 4. Kaukokuljetusmatkan vaihtelun vaikutus kokonaiskustannuksiin, hakeharvesteri - täysperävaunullinen rekka -korjuuketju.

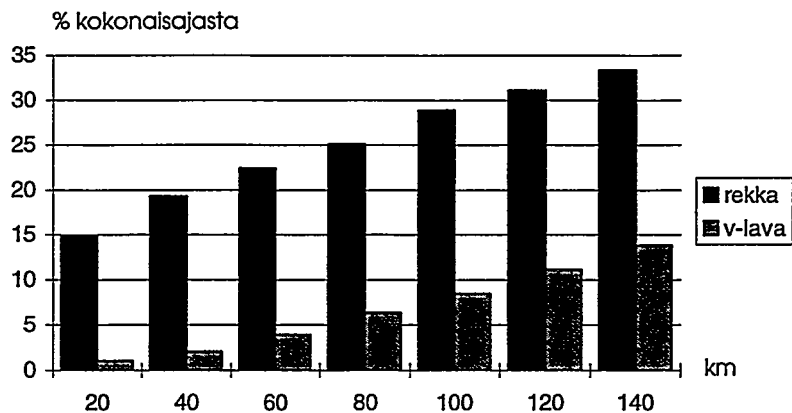
Koneiden ajankäytössä merkittävää oli palstahakkurin odotusaikojen suuri osuus verrattuna koneen haketukseen ja siirtoihin käyttämään aikaan (kuva 5). Odotusaika on siirtoihin kuluva aikaa suurempi kaikilla simuloituilla kaukokuljetusmatkoilla.



Kuva 5. Kaukokuljetusmatkan vaikutus palstahakkurin haketus-, siirto-, ja odotusaikaan, rekkaan lastaus.

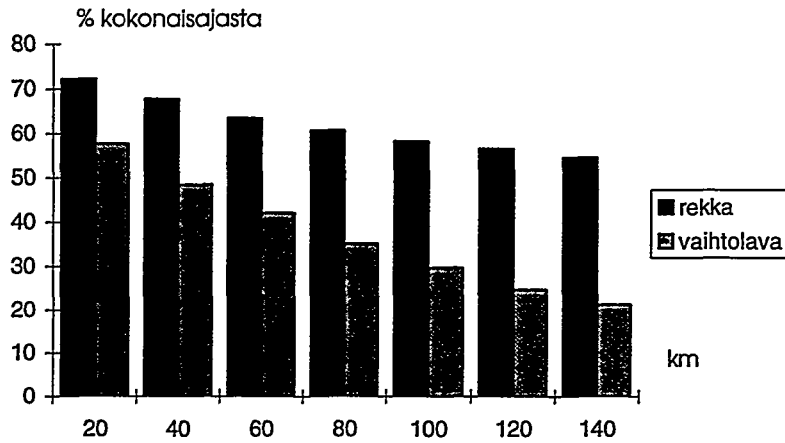
6.5.4 Ketjujen ajankäytön vertailu

Hakeharvesteri - vaihtolavarekka -ketjun ja hakeharvesteri - täysperävaunu hakerekka -ketjun välinen ajankäyttöjen ero on merkittävä hakeharvesterin odotusajan ja auton kuormaukseen käyttämän ajan osalta. Hakeharvesterin odotusajan suuruus on täysperävaunullisen hakerekan tapauksessa kaikilla kuljetusmatkoilla paljon suurempi eron vähetessä kuljetusmatkan kasvaessa (kuva 6).



Kuva 6. Palstahakkurin odotusajat eri kuljetusketjuilla, 20 - 140 kilometrin kaukokuljetusmatkoilla.

Haketta kuljettavan auton kuormaukseen käyttämä aika on kaikilla kuljetusmatkoilla suurempi kuormattaessa hake varastolla olevaan hakerekkaan (kuva 7). Tämä siitä huolimatta, että vaihtolavoja käyttävässä ketjussa on tyhjät kontit aina siirrettävä edelliseltä leimikolta uudelle kohteelle, mikä vaatii kaikilla leimikoilla ainakin kaksi kuormauskertaa.



Kuva 7. Kuormauksen osuus hakerekan tuotantoajasta eri kuljetusmatkoilla.

7 VUODEN 1996 TEHTÄVÄT

Simulointimalleilla on tarkoitus tutkia leimikoiden välisen siirtomatkan ja kertymän muutoksen vaikutusta ketjujen kustannuksiin ja koneiden ajankäyttöön. Tulosten herkkyyssanalyysissa tarkastellaan mm. metsäkuljetusmatkan muutoksen ja palstahaketuksen tuottavuuden lisäyksen vaikutusta koko ketjun kustannuksiin ja koneiden ajankäyttöön.

Projektin loppuraportti ja aiheesta tehtävä opinnäytetyö valmistuvat kevään aikana.

PUUHAKKEEN HANKINTA- JA TUTKIMUS- PROJEKTI MIKKELIN SEUDULLA - D101

Timo Saksa
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40
77600 Suonenjoki
Puh. (979) 153 8300,
Faksi (979) 513 068

Pekka Auvinen
Mikkelin kaupunki
Maa- ja metsätaloustoimisto
PL 278
50101 Mikkel
Puh. (955) 194 630
Faksi (955) 194 506

Abstract: Wood chips procurement and research project at the Mikkel region

In 1993-94, a large-scale energywood production chain started as a co-operation project by the Mikkel city forest office and local forestry societies. In 1995 over 115 000 m³ (about 85 000 MWh of energy) of wood chips were delivered to Pursiala heat and power plant in Mikkel. About 75 % of these chips was forest processed chips. About 70 % of the forest processed chips was whole tree chips from improvement cuttings of young forest stands and the rest was logging waste chips from regeneration cutting areas. The average total delivery costs of forest processed chips after reduction of energywood and other subsidies were approximately 45 FIM/m³ (60 FIM/MWh) for the whole tree chips and 38 FIM/m³ (50 FIM/MWh) for logging waste chips. The delivery costs of forest processed chips could meet the target of Bioenergy Research Programme (45 FIM/MWh) only in the most favourable cases.

In an average the delivery costs were about 9 FIM/MWh more than the price obtained when sold to the heat and power plant. However the wood chip production created 27 new jobs and the increase of income to the local economy was about 2.2 milj. FIM /year. The local communities got new tax revenue about 3 FIM/MWh. The gain for the forestry was approximated to be 5 - 6 FIM/MWh.

The resources of forest processed chips were studied on the basis of stand measurements. According to the study the most remarkable energywood resources were in young thinning stands on Oxalis-Myrtillus and Myrtillus forest site types. On Oxalis-Myrtillus type almost every and on Myrtillus type every second stand included energywood more than 40 m³/ha.

1 TAUSTAA

Puun käyttö Mikkelin läänin energialaitoksissa oli 1990-luvun alussa noin 50 000 i-m³/a. Mahdollisuudet puuenergian laajempaan käyttöön ovat hyvät Mikkelin seudulla, sillä Mäntyharjun ja Juvan lämpölaitokset käyttävät turpeen ohessa purua ja haketta. Mikkelissä sijaitseva Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan lämmitysvoimalaitos on jo parin vuosikymmenen ajan käyttänyt puuta pääpolttoaineen, turpeen, ohessa. Etelä-Savon Energia Oy:n tavoitteena on saada puusta varteen otettava kilpailija turpeen rinnalle. Puupohjaisten polttoaineiden osuutta on arvioitu voitavan nostaa tulevaisuudessa 30 %:iin polttoainejakaumasta.

Kuluvalla vuosikymmenellä Suur-Savon Sähkö Oy on aloittanut teollisuuden jätetuun lisäksi metsähakkeen käytön Savonlinnan voimalaitoksessa. Muutoinkin puun energiakäyttö läänissämme on lisääntynyt tuntuvasti viime vuosina. Vuonna 1995 Mikkelin läänissä käytettiin metsähaketta kaukolämmön ja sähkön tuotantoon yhteensä jo yli 210 000 i-m³.

Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla - Puuha 93-95 -hankkeen tavoitteena on käynnistää merkittävä puuhakkeen polttokäyttö Mikkelin seudun lämpö/lämmitysvoimalaitoksissa. Tavoite saavutetaan eri osapuolien (energiailaitos, kunnat, metsänhoitoyhdistykset, yrittäjät) saumatomalla yhteistyöllä ja suurimittakaavaisen puuhakkeen hankintaketjun optimaalisella toiminnalla. Yhteiskunnallisen panostuksen avulla organisoidaan ja kehitetään käytännön mittakaavainen hakkeen hankintaketju taloudellisesti kannattavaksi. Hankkeen tavoitteena on saada puuhakkeen hankintahinnaksi polttolaitoksella keskimäärin 39 mk / i-m³.

Hankkeessa ovat mukana Mikkelin seudun kunnat ja vastaavat metsänhoitoyhdistykset (Anttola, Hirvensalmi, Haukivuori, Juva, Kangasniemi, Mikkeli, Mikkelin mlk, Mäntyharju ja Ristiina), Etelä-Savon Metsänhoitoyhdistysten Liitto, Biowatti Oy, Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsavotta Oy, Suur-Savon Sähkö Oy, VTT Energia ja Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Hankkeen vastaavana johtajana toimii mti Pekka Auvinen Mikkelin kaupungista. Projektin tutkimus- ja selvityshankkeiden rahoituksesta vastaavat Bioenergian tutkimusohjelma (KTM), Ympäristöministeriö, Mikkelin seudun kunnat ja Biowatti Oy.

2 HANKKEEN TULOKSET VUONNA 1995

2.1 PUUHAKKEEN HANKINNAN PILOT-PROJEKTI

Projektin kolmantena toimintavuonna yllettiin yli 115 000 i-m³ haketoimitukseen (taulukko 1). Tästä määrästä Mikkelin kaupungin metsätoimisto toimitti 56 %, metsänhoitoyhdistykset 26 % ja lopusta vastasi Biowatti Oy. Kokopuuhakkeen osuus oli 53 %, hakkuutähdehakkeen osuus 22 %, sahapintahakkeen, sahanpurun ja kutterinlastun osuus 25 %. Toimitussopimuksessa tavoitellun 75 000 Mwh energiamäärä sijasta vuoden 1995 aikana puuhaketta toimitettiin 85 000 MWh edestä. Tämä vastasi lähes 13 % Porsialan lämmitysvoimalaitoksen energiantuotannosta. Yhdessä teollisuuden jätteen kanssa puupohjaisten polttoaineiden osuus nousi 1995 jo 36 %:iin Porsialan lämmitysvoimalaitoksessa.

Vuoden 1995 aikana haketettiin kaikkiaan yli 360 hakepuuvarastoa. Keskimääräisestä haketuskohteesta saatiin haketta hieman yli 200 i-m³. Suurimmillaan haketoimitukset, yli 13 000 i-m³/kk, olivat keuhattalvella tammi-maaliskuussa ja syksyllä elo-lokakuussa. Puuhakkeen vastaanottoa rajoitettiin alkuperäisestä toimitussuunnitelmasta poiketen polttolaitoksen toimesta touko- ja joulukuun osalta. Muina kuukausina päästiin vuodelle 1995 sovitun toimitussopimuksen mukaisiin määriin.

Keväällä 1995 hakkeen keskikosteus oli peräti 51 %. Suuri kosteus johtui ennen kaikkea sääolosuhteista, lähinnä lumi- ja vesisateista sekä energiapuun tuoreudesta. Usein myös energiapuukasojen pieni koko ja epäedullinen muoto lisäsivät lumen ja jään määrää hakkeen joukossa. Toimitetun hakkeen keskikosteus oli vuonna 1995 puoli %-yksikköä suurempi kuin vuonna 1994.

Taulukko 1. Puuha 93-95 projektissa vuonna 1995 toimitetut puuhakemäärät.

Aika	Raaka- aine laji (1)	Massa	Tilavuus	Keski- paino	Keski- kosteus	Kuiva- aineen lämpöa.	Energia- sisältö
kk/v		1000kg	i-m ³	kg/i-m ³	%	MJ/kg	MWh/ i-m ³
1/95	80/20	4 426	13 561	326	50,01	18,81	0,74
2/95	70/30	4 167	12 475	334	54,26	19,03	0,68
3/95	60/40	3 989	12 634	316	52,44	18,86	0,67
4/95	50/50	1 941	6 050	321	54,77	18,89	0,64
4/95*	0/100	109	299	365	54,55	18,89	0,74
5/95	40/60	1 039	3 067	339	54,49	18,67	0,67
6/95	40/60	1 054	3 749	281	45,71	18,28	0,69
6/95*	0/100	1 049	4 251	247	36,46	19,04	0,77
8/95	30/70	2 282	9 120	250	34,99	18,70	0,79
8/95*	0/100	1 053	4 364	241	27,69	18,93	0,87
9/95	45/55	2 915	11 684	250	34,91	18,54	0,78
9/95*	0/100	326	1 607	203	29,50	18,93	0,71
10/95	55/45	2 272	9 078	250	37,98	18,67	0,74
10/95*	0/100	1 014	4 065	249	42,86	19,20	0,69
11/95	45/55	1 838	6 819	269	41,14	18,61	0,74
11/95*	0/100	1 156	4 275	270	46,81	18,83	0,67
12/95	60/40	963	3 501	275	43,80	18,77	0,72
12/95*	0/100	360	1 150	313	54,11	19,07	0,65
Yht./kesk. -95		31 952	111 749	286	44,45	18,79	0,72

1) Kokopuurankaa, %/ hakkuutähdettä, %
* Biowatti Oy:n toimitus

2.2 METSÄHAKKEENHANKINNAN KUSTANNUSANALYYSI

Projektissa tarkastelluissa energiapuun ja metsätähteen korjuukohteiden valinta kohdistettiin monenlaisiin työmaihin. Luonnollisesti kustannuksiltaan todella kalliit kohteet karsiutuivat pois jo ensi vaiheessa. Mutta muutoin kustannusanalyysiin pyrittiin saamaan koko se kirjo, mikä käytännön laajamittaisessa toiminnassa on realismia. Kustannusanalyysin tavoitteena oli etsiä niitä energiapuu- ja hakkuutähdekohteita, joista nyt käytössä olevilla metodeilla pystytään hankkimaan metsähaketta taloudellisesti.

Kun kustannustarkastelussa (Saksa & Teittinen 19961) olleista kalleimmista kohteista karsitaan pois 25 % päästään lähelle optimaalista ja samalla realistista käytännötilannetta (taulukko 2). Tällöin energiapuukohteista karsiu-

Saksa, T. & Teittinen A. 1996. Metsähakkeen hankintakustannukset ja aluetaloudelliset vaikutukset. Helsingin yliopisto. Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Mikkeli. Julkaisuja 47.

tui kokonaiskustannuksiltaan yli 56 mk/i-m³ ja hakkuutähdekohteista yli 41 mk/i-m³ maksaneet kohteet pois.

Taulukko 2. Metsähakkeen kustannuskertymä kun kokonaiskustannuksiltaan 25 % kalleimmista korjuukohteista on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Hakekuution energiasisältönä on käytetty projektissa saatua keskiarvoa 0,75 MWh/i-m³.

	Minimi	Keskim.	Maksimi
<i>Energiapuukohteet</i>			
Energiapuunteko, mk/i-m ³	12,00	23,90	38,61
Lähikuljetus, mk/i-m ³	4,64	7,44	15,37
Haketuskustannus, mk/i-m ³	12,75	12,75	13,00
Kaukokuljetus, mk/i-m ³	8,53	9,72	14,99
Tuet, mk/i-m ³	6,37	13,72	25,28
Yleiskulut, mk/i-m ³	5,00	5,00	5,00
Kokonaiskustannus, mk/i-m³	39,05	45,09	55,72
mk/MWh	51,93	60,12	74,29
<i>Hakkuutähdekohteet</i>			
Lähikuljetus, mk/i-m ³	6,03	9,65	12,52
Haketuskustannus, mk/i-m ³	14,70	14,95	17,00
Kaukokuljetus, mk/i-m ³	8,72	10,09	12,74
Yleiskulut, mk/i-m ³	3,00	3,00	3,00
Kokonaiskustannus, mk/i-m³	32,65	37,70	40,73
mk/MWh	3,53	50,27	54,31

Energiapuuhakkeen kustannusta tehty rajausta alensi noin 5mk/i-m³; energiapuuhakkeen keskimääräiseksi hankintakustannukseksi jäi 45 mk/i-m³ eli 60 mk/MWh. Hakkuutähdehakkeen vastaavaksi kustannukseksi muodostui noin 50 mk/MWh. Energiapuuhakkeen keskimääräinen kustannus jäi vielä 15 mk/MWh ja hakkuutähdehakkeen 5 mk/MWh Bioenergian tutkimusohjelman tavoitetta korkeammiksi. Bioenergian tutkimusohjelman tavoite (45 mk/MWh) saavutettiin vain hyvin pienessä osassa (alle 5 %) hakkuutähdehakkeesta.

Edullisimmin energiapuun korjuu onnistui kohteista, joiden hakekertymä nousi yli 150 i-m³/ha. Kannattamattomina voidaan pitää kohteita, joissa hakekertymä jäi alle 100 i-m³/ha. Hakkuutähteidenkin keruun käytännön minimirajana näyttäisi 100 i-m³ kertymä hehtaarilta. Parhaisiin tuloksiin päästiin molemmissa, jos hakekertymä oli noin 150 i-m³/ha. Keskimäärin haketta kertyi energiapuukohteista 141 i-m³/ha ja hakkuutähdekohteista 131 i-m³/ha.

2.3 METSÄHAKKEEN HANKINNAN ALUETALOUDELLISET VAIKUTUKSET

Puuha 93-95 -projektissa vuonna 1995 puuhakkeen hankinnan (115 000 i-m³) liikevaihto nousi lähes 6 milj.mk:aan (taulukko 3). Liiketaloudellinen tulos jäi kuitenkin kehittyneistä korjuumenetelmistä ja toiminnan laajuudesta huolimatta tappiolliseksi. Keskimääräiseksi tappioksi kirjattiin 9 mk/MWh. Yhteensä aluetalouteen metsähakkeen hankinnan ansiosta tullut lisäys oli yli 2,2 milj.mk eli 26 mk/MWh. Metsähakkeen hankinnasta kertyi työtuloja 3,2 milj.mk, josta kunnallisveroina alueen kunnille palautui lähes 270 000 mk eli 3 mk/MWh.

Laskelman antamat luvut ovat suuntaa antavia, mutta niistä voidaan päätellä tulovaikutusten olevan merkittävät. Jäähän yli 1/3 rahasta Mikkelin alueelle ja tällä tulonlisällä on edelleen oma kerroinvaikutuksensa. Todellisuudessa valtionveroista ja palkansivukuluistakin palautuu ennenpitkää oma osansa tällekin alueelle.

Taulukko 3. Metsähakkeen hankinnan aiheuttamat tulovaikutukset.

	Kustannusjakauma		Mikkelin alueelle jää em. rahasta	
Työtulot, netto	32 %	1 899 837 mk	75 %	1 424 878 mk
Kunnallisverot	6 %	356 219 mk	75 %	267 164 mk
Valtionverot ja sivukustannukset	16 %	949 918 mk	0 %	0 mk
Pääomakulut	21 %	1 246 768 mk	20 %	249 354 mk
Korjaukset	13 %	771 809 mk	20 %	154 362 mk
Polttonesteet	12 %	712 439 mk	20 %	142 488 mk
Yhteensä	100 %	5 936 990 mk	38 %	2 238 246 mk

Metsähakkeen hankinnan arvioitiin tuovan työtä 27 henkilötyövuoden edestä eli yksi työpaikka 3 200 MWh kohti. Käytännössä metsähakkeen hankintatoiminta on osin kausiluonteista toimintaa (energiapuun teko ja lähikuljetus), minkä vuoksi osavuotisia työtilaisuuksia tarjoutui noin 40 henkilölle. Välilliset vaikutukset huomioon otettaessa päästään 60 uuteen työpaikkaan.

Metsätaloudelle koituneeksi hyödyksi arvioitiin energiapuukohteista (330 ha) tulevan tulevaisuudessa puuston nopeampana järeytymisenä sekä suurempana arvokasvuna noin 200 000 mk tulon lisäys. Hakkuutähteen korjuun metsänuudistamiskustannuksia alentavan ja uudistamistulosta parantavan

vaikutuksen arvioitiin antavan metsätaloudelle noin 300 000 mk tulolisäyksen (530 ha). Yhteensä metsätaloudelliseksi hyödyksi tulee tällöin 5,8 mk/MWh.

2.4 METSÄHAKKEEN RAAKA-AINEPOHJAN KARTOITUS

Metsätaloussuunnitelmista saatavan energiapuuarvion tarkentamiseksi ja metsikkökohtaisen energiapuukertymän tarkempaa selvitystä varten mitattiin kesän 1994 aikana ensiharvennuskuviota ja varttunutta taimikkoa. Inventointitutkimuksen tavoitteena on selvittää kasvupaikkaluokittain ensiharvennuksessa saatavan ainespuun ja energiapuun määrä sekä arvioida mikä merkitys nuoren metsän kunnostushakkuulla on metsiköiden metsänhoidolliseen tilaan. Mmyo. Jouni Rantala valmistelee aiheesta pro gradu -työtä Joensuun yliopistoon.

Mitatut metsikkökuviot valittiin systemaattisella otannalla havupuuvaltaisista ensiharventamattomista metsiköistä Etelä-Savon metsälautakunnan TA-SO-rekisteristä vuosina 1992 ja 1993 tehdyistä metsätaloussuunnitelmista. Kohteet valittiin seitsemän kunnan alueella, joista kustakin valittiin 4 - 6 metsätaloussuunnitelma-alueita, joille otos keskitettiin. Mitatut metsiköt valittiin kasvupaikkaluokittain (OMT, MT, VT) niiden edustuksen mukaan. Valtaosa (80 %) mitatuista metsiköistä oli kangasmailla ja loput korvissa ja rämeillä. Kultakin metsikkökuvioita mitattiin 5 - 11 puustokoealaa, jotka olivat tasavälein kuvion pisimmän sivun suuntaisella lävistäjällä. Kultakin koealalta luettiin puut ja otettiin koepuut edustaen koko läpimittajakaumaa ja kutakin puulajia. Kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja määritettiin puulaji sekä on se ensiharvennuksessa jäävä vai poistettava puu. Edellisten lisäksi koepuista mitattiin toinen läpimitta ($d_{0,2}$), pituus sekä elävän latvuksen alaraja, puittain suoritettavaa tilavuuden ja latvusmassan laskentaa varten. Poistettavien puiden valinnassa otettiin huomioon puulajisuhteet, kasvupaikka, tavoitetiheys, puiden tilajärjestys sekä puuston tasaisuus.

Kaikkiaan mitattiin 102 metsikköä, joista 50 oli ensiharvennuksen juuri saavuttavia metsiköitä (kehitysluokka 02, keskipituus vähintään 7 m ja keskiläpimitta alle 16 cm) ja 52 varttunutta taimikkoa (kehitysluokka T2 ja vähintään 4 metrin keskipituus), joiden ensiharvennukseseen on vielä 5-10 vuotta (taulukko 5). Sekä ensiharvennuseksiköiden ja varttuneiden taimikoiden tuli olla mänty tai kuusivaltaisia. Koivikot rajoitettiin jo aineiston valintavaiheessa tarkastelun ulkopuolelle, joten saadut tulokset koskevat vain havupuuvaltaisia metsiköitä. Puustomittauskoealan koko oli kehitysluokkaan 02 kuuluvissa metsiköissä 100 m² ja T2 -kuviolla 50 m².

Ensiharvennusta lähestyvien metsiköiden puuston tilavuus vaihteli alle 50 m³/ha aina yli 200 m³/ha. Kuitupuuta harvennuksessa saatiin 30 - 40 m³/ha. Energiapuurungoiksi luettiin kuitupuun minimiläpimittavaatimusta pienem-

mät rungot. Koivulla ja männyllä minimiläpimittavaatimus oli 7 cm, kuusella 8 cm ja kuitupuupölkyn minimipituutena käytettiin 2,7 m. Tämän lisäksi energiapuuksi laskettiin muut lehtipuut ilman minimimittarajoitusta (pääasiassa pieniläpimittaista harmaaleppää) energiapuuksi sekä kuitupuusta jäävä latvapuu. Runkopuuna olevaa energiapuuta oli eniten OMT-kuusikoissa, keskimäärin yli 25 m³/ha. VT:llä energiapuun määrä jäi melko pieneksi, keskimäärin alle 10 m³/ha. Latvusmassa, joka koostui poistettavien puiden elävistä oksista muodosti OMT:llä ja MT:llä sekä korvissa selvästi suurimman energiapuulähteen.

Taulukko 4. Mitattujen metsiköiden puustotiedot.

Kasvu- paikka- luokka	Metsi köitä	Puuston tilavuus nyt	HARVENNUSPOISTUMA		Latvus- massa	Jäävä puusto
	kpl	m ³ /ha	Runkopuusta kuitupuuta m ³ /ha	energiapuuta m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
Kehitysluokka 02						
OMT	14	143,5	30,6	26,4	42,6	86,5
MT	16	122,8	38,5	15,7	23,5	69,1
VT	8	86,1	30,2	9,6	13,3	46,2
MT, k*	4	109,6	41,1	16,1	33,2	52,4
VT, r*	8	98,4	26,0	16,5	12,9	55,8
Kehitysluokka T2						
OMT	7	51,4	5,4	10,0	14,1	36,0
MT	17	46,8	8,8	9,2	10,4	28,9
VT	17	51,0	9,5	6,6	5,5	34,9
MT, k*	4	36,2	7,2	7,9	9,2	20,2
VT, r*	7	56,3	10,0	9,2	5,1	37,2

* k = korpi, r = räme

Varttuneiden taimiköiden tilavuus oli likimain kolmannes ensiharvennusvaiheen metsiköiden tilavuudesta. Näistä ei tällä hetkellä vielä kertynyt juurikaan simuloidussa harvennuksessa ainespuuta ja energiapuunkin määrä jäi useimmiten alle 10 m³/ha. Latvusmassa oli kuusivaltaisissa varttuneissa taimikoissa suurin energiaraaka-aineen lähde.

Kokonaisenergiapuukertymä (runkopuu ja latvusmassa yhteensä) vaihteli jokaisessa kasvupaikkaluokassa hyvin suuresti. Jos 100 i-m³ hakekertymää hehtaarilta (40 m³/ha) pidetään kannattavan energiapuunkorjuun 'alarajana', olisi yli 90 % OMT:n kohteista kelvannut tähän kategoriaan. MT:llä ja korvissa vastaava osuus oli 50 % ja rämeillä noin 25 %. VT:ltä ei löytynyt yhtään realistista energiapuukohdetta. Varttuneissa taimikoissa ei tässä vaiheessa juurikaan ylletty yli 40 m³/ha energiapuukertymään. Toisaalta näyttäisi siltä, että OMT:llä, MT:llä ja korvissa varttuvissa taimikoissa on 5 - 10

vuoden kuluttua tulossa vähintään samanlainen energiapuukertymä kuin nykyisissä ensiharvennusvaiheen metsissä.

2.5 HAKETUSKOKEILUT JA HAKKURI-INVESTOINTI

Puuha 93-95 -projektissa energiapuun ja hakkuutähteen haketuksesta vastasi pääsasiassa Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahti. Projektin myötä alkaneen suurimittainen hakkeentuotanto edellytti kapasiteetiltaan tehokasta ja toimintavarmaa hakkuria. Projektin aikana valmistuneen uuden hakkurin (rumpuhaketin R 910 E) teknisissä ratkaisuihin ja eri komponenttien yhdistelyssä on hyödynnetty kymmenien vuosien aikana haketustyön kautta saatu kokemus. Hakkuri kehitettiin erityisesti hakkuutähteen haketukseen. Hakkurin valmistamiseen Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahti sai KTM:ltä investointiavustusta.

Hakkuri on joko sivusta tai perästä syötettävä kääntyvän syöttöpöydän ja ulottuvaisen nosturin ansiosta. Syöttöaukon leveys on 100 cm ja korkeus 55 cm. Hakkurissa on käytössä ns. roskaruuvi, jonka ansiosta haketusalue jää entistä puhtaammaksi haketusjätteistä. Hakkurissa on myös seulontajärjestelmä, jonka avulla voidaan säätää hakkeen maksimi palakoko halutuksi. Hakkeen tasakokoisuus lisää etenkin pienten lämpölaitosten toimintavarmuutta. Hakkurissa on lisäksi valmius lumisen hakkeen esikuivaukseen hakkurissa syntyvän hukkalämmön avulla.

Kesä- ja heinäkuussa 1995 tehtiin pieni aikatutkimus, jossa selvitettiin lähinnä uuden hakkurin haketustehokkuutta. Tarkastelun kohteena yhdeksän työmaata, joilla haketettiin yhteensä 609 i-m³. Työmaista neljä oli hakkuutähdekohteita, kaksi kokopuukohdetta, kaksi rankapuukohdetta ja yksi sahapintojen haketuskohde. Hakkurin käyttökuntoon laitto ja purkuun kului molempiin aikaa noin 10 minuuttia.

Hakkurista johtuvien keskeytysten kokonaisajaksi tarkkailujakson aikana tuli 38 min. Katkot johtuivat hydrauliletkun katkeamisesta sekä rumpua pyörittävän vetohihnan pudotessa hakepalasta johtuen hihnapyörältä. Nämä katkokset veivät noin 10 % tehollisesta tuotantoajasta ja koko hake-erälle tasoitettuna ne merkitsivät noin 4 s/i-m³ lisäaikaa.

Keskimääräiset käyttötuntituotokset muodostuivat siten seuraaviksi:

Hakkuutähdehake	76,6 i-m ³ /h
Kokopuuhake	72,0 i-m ³ /h
Rankahake	81,8 i-m ³ /h
Sahapintahake	81,8 i-m ³ /h

Haketusyrittäjä arvioi uudella hakkurilla päästävän noin 20 % suurempaan haketustulokseen ja ennen kaikkea laitteen toimintavarmuus sanelee hakkurin lopullisen tuntituotoksen.

3 JULKAISUT JA RAPORTIT

Auvinen, P. 1995. Energiapuun hankinta osana puutavaran korjuuta. Julkaisussa: Nurmi, J. & Heino, E. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570:34-37.

Juvonen, J. & Hietanen, L. 1995. Mikkelin rakennus- ja yhdyskuntajätepuu -projekti. Loppuraportti. 20 s.

Saksa, T. & Auvinen, P. 1995. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla -D101. Abstract: Wood chip delivery and research project at Mikkeli region. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Vuosikirja 1994. Osa I. Puupolttoaineiden tuotanto. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 6:257-264.

Saksa, T. 1995. Metsähakkeen energiakäytön aluetaloudelliset vaikutukset. Esitelmä. Puusta energiaa -seminaari 24.3.1995. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Moniste 3 s.

Saksa, T. 1995. Puun energiakäytön vaikutukset työllisyyteen, kunnan verotuloihin ja metsänhoidolliseen tilaan - PUUHA-projektin kokemuksia. Esitelmä. Puuenergian uudet mahdollisuudet seminaari 4.10.1995. Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus, Päijät-Hämeen maaseutukeskus, Itä-Hämeen metsälautakunta. Moniste 5 s.

Saksa, T. 1995. Energiapuun palamaan Etelä-Savossa. Lehtiartikkeli. Metsälehti 19/1995.

Saksa, T. 1996. Energiapuun hankinta suuressa mittakaavassa. Bioenergian tutkimusohjelma. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla - D101 KTM 119/854/93. Loppuraportti. Helsingin yliopisto. Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Mikkeli. Julkaisuja 48. 53 s.

Saksa, T. & Auvinen, P. 1995. D101. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Bioenergian tutkimusohjelman vuosiseminaari 14.-15.3.1995. Tampere. Poster.

Saksa, T. & Teittinen, A. 1996. Metsähakkeen hankintakustannukset ja aluetaloudelliset vaikutukset. Helsingin yliopisto. Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Mikkeli. Julkaisuja 47. 29 s.

KESKI-SUOMEN METSÄENERGIA -PROJEKTI - D106

Martti Ahokas
Keski-Suomen Liitto
Sepänkatu 4
40100 Jyväskylä
Puh. (941) 652 220
Faksi (941) 652 277

Pekka-Juhani Kuitto
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Abstract: Forest energy project in Central Finland

The Forest Energy Project of Central Finland is 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. It is a large development and technology transfer venture concentrated primarily on practical needs. Total delivery chains are formed of the best machine and method alternatives, and they are also demonstrated. The project offers hence a wide test field for regional and national techno / economical wood fuel development.

The target of this provincial project is 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. An essential target of the project is to direct the know-how, concentrated in the project, to development of the energy field. The project is directed to international information delivery, to concrete widening of cooperation, on transfer of testing and training activities and utilization experiences in the field of wood energy.

The Forest Energy Project of Central Finland is a demonstration project supervised by the Regional Council of Central Finland. The project is a part of the national Bioenergy Research Programme. VTT Energia and the Forestry Board of Central Finland are responsible for the practical development work. A large number of provincial partners interested in wood fuels, e.g. energy wood suppliers, energy producers, communes, forest industry, forestry boards, forestry associations, wood delivery contractors, and equipment producers, take part in the project.

The project will be carried out during the years 1994 - 1996. The total costs are 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 m³) to the end of the decade.

1 TAUSTAA

Keski-Suomeen on keskittynyt laaja puuvarojen ja energian tuotannon ja käytön tietotaito. Suuret metsäteollisuuskeskittymät sijaitsevat Äänesseudulla, Jyvässeudulla ja Jämsänjokilaaksossa. Maakunnassa on noin 20 käyttöpaikkakuntaa ja kohdetta, joissa on aluelämpö- tai voimalaitoskokoluokassa tekniset edellytykset energiapuun polttoon. Näistä puolenkymmentä on suuria käyttökohteita. Lisäksi kiinteistöt tarjoavat pienemmän kokoluokan kohteita. Alueen etuina ovat myös siellä sijaitsevat alan tutkimus- ja opetusyksiköt (mm. VTT Energia ja yliopisto), konepajateollisuus, vahva puunhankinnan yrittäjäkunta sekä laajat metsä- ja turvevarat.

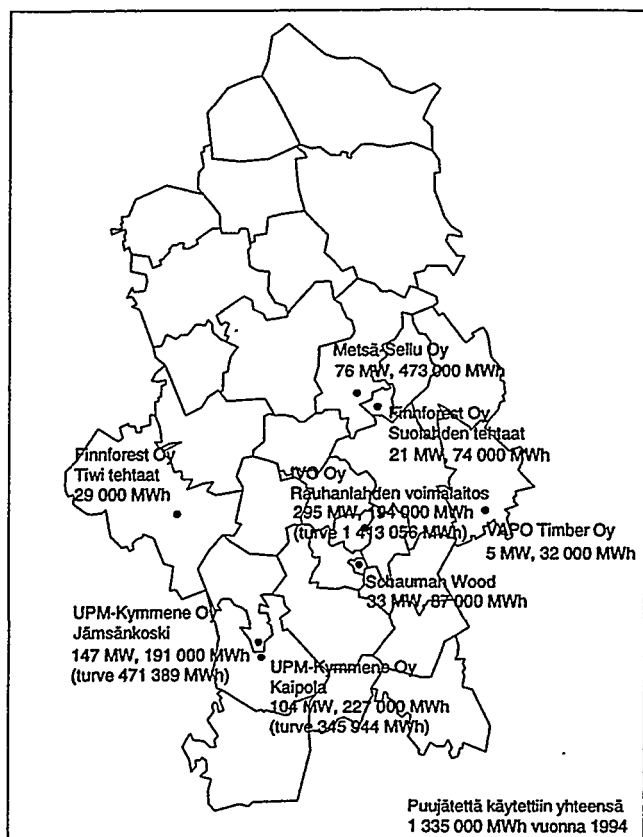
Vuonna 1994 maakunnassa käytettiin puujätettä ja metsähaketta voima- ja aluelämpölaitoksissa yhteensä noin 1 483 000 MWh (kuvat 1 ja 2). Valtaosa siitä oli kuitenkin puunjalostusprosessien kuorta ja jäteliemiä sekä sahoilta saatua polttopurua. Metsähaketta käytettiin vain vähän.

Keski-Suomen Metsäenergia -projekti käynnistyi rahoittajista koostuvan tukiryhmän päätöksellä 17.2.1994. Projekti toteutetaan vuosina 1994 - 1996. Sen kokonaiskustannukset ovat 4.4 milj. mk. Tavoitteena on mahdollistaa metsähakkeen taloudellisesti kannattava käytön lisääminen Keski-Suomessa vähintään 100 GWh:n tasolle vuonna 1996 sekä 500 GWh:n (noin 250 000 m³) tasolle 1990-luvun loppuun mennessä.

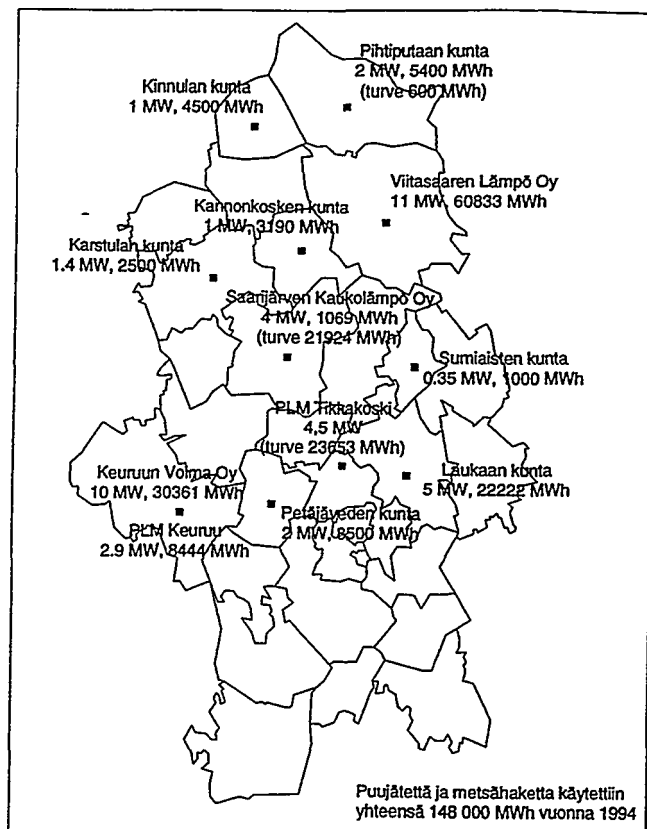
Projekti on Keski-Suomen Liiton johtama demonstraatioprojekti ja se on mukana valtakunnallisessa Bioenergian tutkimusohjelmassa. Se on ensisijaisesti laaja maakunnallinen kehittämis- ja teknologiansiirtoprojekti suoraan käytännön tarpeisiin. Sen demonstraatio- ja kehittämistyöstä vastaavat VTT Energian ja Keski-Suomen metsäkeskuksen asiantuntijat.

Projekti soveltaa etenkin Bioenergian tutkimusohjelmassa syntyviä tutkimustuloksia sekä täydentää niitä omilla selvityksillä keski-suomalaisiin oloihin. Keskeisenä keinona on kokeilla ja soveltaa käytännön mittakaavassa uusimpia puupolttoaineen hankinta- ja käyttöketjuja ja osoittaa niiden teknistaloudellinen toimivuus. Tavoitteena on siten saada soveliaimmat ja taloudellisestikin parhaat tuotanto- ja ohjaustekniikat kestävästi käyttöön.

Projektin tukiryhmän puheenjohtajana on koulutuspäällikkö Petri Kilpinen Keski-Suomen metsäkeskuksesta. Johtoryhmän puheenjohtajana toimii kehittämisjohtaja Martti Ahokas Keski-Suomen Liitosta. Projektipäällikkönä on metsänhoitaja Pekka-Juhani Kuitto VTT Energiasta ja projektin metsäpäällikkönä metsätalousinsinööri Markku Paananen Keski-Suomen metsäkeskuksesta.



Kuva 1. Keski-Suomen puupolttoaineita ja turvetta käyttävät voimalaitokset.



Kuva 2. Keski-Suomen puupolttoaineita ja turvetta käyttävät aluelämpölaitokset.

2 DEMONSTRAATIO- JA KEHITTÄMISTOIMINNASTA 1995

Projektin toteutus vuonna 1995 perustui "Keski-Suomen Metsäenergia -projekti 1994 - 1996" -tutkimussuunnitelmaan 14.3.1994, hyväksyttyyn toimintasuunnitelmaan 1995 sekä tuki- ja johtoryhmän kokousten päätöksiin. Tiedottamisessa noudatettiin projektille laadittua tiedotussuunnitelmaa 1995 - 96.

Projektin toisen vuoden 1995 pääpaino oli hakkuutähteiden tuotantoketjujen demonstroinneissa sekä puupolttoaineiden laadunhallinnan ja niitä tukevien selvitysten toteuttamisissa. Lisäksi toteutettiin useita hakkeen vastaanotto- ja polttokokeita maakunnan energialaitoksissa. Samoin selvitettiin maakunnan energiapuuvaroja ja niiden käyttömahdollisuuksia ja -rajoituksia sekä sahojen sivutuotevirtoja. Selvitysten tavoitteena oli tiedon koostaminen taloudellisesti kestävien demonstraatoratojen luomiseksi ja tukemiseksi. Puupolttoaineen käytön lisäämismahdollisuuksia pyrittiin edistämään systemaattisin neuvotte-

luin energialaitosten ja metsäteollisuuden kanssa. Bioenergian tutkimusohjelmassa kehitteillä olevat, lupaavimmat energiapuun korjuukoneet ja -ketjut demonstroitiin Keski-Suomen oloihin. Puupolttoaineen käyttörajoitusten vuoksi demojen kesto oli kuitenkin toistaiseksi maksimissaan vain muutamia kuukausia kerrallaan. Projektin tuloksista on raportoitu julkaisuun, kenttäoppain ja esitelmin. Maakunnassa järjestettiin useita alan koulutus- ja tiedotustilaisuuksia.

Vuoden alussa projekti käynnisti lisäksi yhdessä VTT Energian kanssa EU:n Altener-projektin suunnittelun: "The Training and Information Systems Project for Forestry Biomass Energy Operators". Hakemus toimitettiin KTM:n kautta EU:hun ja myönteinen päätös projektin osarahoituksesta ja käynnistämiseksi saatiin 17.11.1995.

Vuonna 1995 käytettiin Keski-Suomessa kokopuu- ja hakkuutähdehaketta polttoon noin 70 000 i-m³ voima- ja aluelämpölaitoksissa. Kokopuuhakkeen osuus oli 2/3, mutta hakkuutähdehakkeen osuus ja määrä on voimakkaassa nousussa. Vuoden 1996 tavoite 100 GWh:n taso metsähakkeen tuotannossa saavutettiin.

Projektin keskeiset osapuolet ja tulospalvelujen saajat (= tuki- ja johtoryhmä) olivat vuonna 1995 Keski-Suomen Liitto, VTT Energia, Keski-Suomen metsäkeskus, Keski-Suomen Metsänhoitoyhdistysten Liitto, Keski-Suomen Maaseutuelinkeinopiiri, IVO Tuotantopalvelut Oy, Jyväskylän Energia, Keski-Suomen Valo Oy, Pappilanvuoren Lämpöhuolto Oy, Saarijärven Kaukolämpö Oy, Biowatti Oy, Vapo Oy, Jyväskylän kaupunki, Jyväskylän maalaiskunta, Jämsänkoski, Konnevesi, Laukaa, Pihlajavesi ja Toivakka sekä kauppa- ja teollisuusministeriö.

Käytännön yhteistyöhön osallistuivat lisäksi mm. Osuuskunta Metsäliitto, Kumpuniemen Voima Oy, Metsä-Serla Oy:n Äänekosken tehtaat, 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 yhteistyötä tehtiin useiden maakunnan koneyritysten ja laitevalmistajien kanssa. VTT Energian lisäksi selvityksiin osallistuivat mm. Keski-Suomen metsäkeskus, Metsäkeskus Tapio, Metsäntutkimuslaitos ja Työtehoseura.

2.1 TUOTANNON JA KÄYTÖN DEMONSTROINTI

2.1.1 Koetuotantoalueiden muodostaminen ja ylläpito

Koe- ja demonstraatiotoiminnot toteutettiin edelleen pääsääntöisesti tapauskohtaisesti hankituilla työmailla. Tällöin neuvoteltiin hakkuuluvat hankekohtaisesti maanomistajien kanssa. Projekti on tarjonnut myös laajan koekentän Bioenergian tutkimusohjelmassa tehdyille teknistaloudelliselle kehitystyöhön, joihin on

osallistuttu kenttädemojen asiantuntijoina, erillismittauksiin ja/tai työmaiden, kaukokuljetusten ja puupolttolaitteen vastaanottojärjestelyihin. Projektin asiantuntijat ovat lisäksi osallistuneet keski-suomalaisen BENET-hankkeen jalostamiseen.

2.1.2 Korjuu- ja kuljetustekniikan kokeileminen harvennuskohdeilla

Analysoitiin tulokset ja kirjoitettiin tutkimusraportti ja artikkeleita edellisenä syksynä suoritetusta neljän viikon mittaisesta koko Chipset-hakeharvesteriketjun kenttädemonstroinnista. Jämsänkoskella, Toivakassa ja Jyväskylässä. Nämä olivat ensimmäiset käytännön mittaiset kokeet tällä uudella korjuumenetelmällä Suomessa. Projektin T&K-tulokset johtivat osaltaan konevalmistajan Oy Logset Ab:n ja Biowatti Oy:n toteutuneeseen Chipset-kauppaan. Loppuvuonna 1995 avustettiin Chipset-tuotantoversioon toiminnan käynnistämistä Keski-Suomessa.

Toteutettiin alkuvuonna yhdessä Työtehoseuran kanssa kenttäkokeet Haka S-2-kaato-karsinta-katkontalaitteen käytössä ensiharvennuksissa. Peruskoneena oli keskikokoinen maataloustraktori. Tulokset on raportoitu Työtehoseuran tutkimussarjoissa ja TEHO-lehdessä 4/95. Naarva-kaatokasauslaitteesta on kokeiden perusteella valmisteilla tuottavuudeltaan paranneltu laite.

Selvitettiin mp-kohteiden markkinoille saatavuutta ja ensiharvennuspuupotentiaaleja Keski-Suomen alueella. Lisäksi selvitettiin edellytyksiä isännänlinjan ja hakeosuuskuntien perustamiselle. Aiheista on pidetty useita kuntaseminaareita ja opastettu kohteittain kiinnostuneita tahoja.

Syksyllä projekti toteutti joukkokäsittelyharvesteri-demonstraation käytännön olosuhteissa. Siinä selvitettiin harvesterin tekninen toimivuus ja talous yhdistetyssä aines- ja energiapuun valmistuksessa. Demonstraatio toteutettiin yhdessä Outokummun Metalli Oy:n, Vihavainen Ky:n, koneyrittäjä Veikko Kinnunen, Jyväskylän kaupungin ja Jyväskylän maalaiskunnan sekä Metsäliitto Osuuskunnan kanssa. Tulokset olivat erittäin lupaavia. Raportti valmistui tammikuussa 1996.

2.1.3 Korjuu- ja kuljetustekniikan kokeileminen hakkuutähdekorjuun kohteilla

Hakkuutähdeiden tuotannossa toteutettiin sekä demoketjujen sovelluksia että tehtiin useita niitä tukevia kehittämisselvityksiä.

Käytetyn vanhemman kuormatraktorin peruskunnostuksesta ja sen hakkuutähdeiden ajoon varustamisen kustannusvaikutuksista tehtiin kyselytutkimus. Koh-

deryhmänä olivat laite- ja konevalmistajat, konepajoja ja metsäkoneyrittäjiä. Tutkimusraportti valmistui tammikuussa 1996.

Hakkuutähdekouran kehittämishanke aloitettiin keväällä. Tavoitteena on kehittää nykyistä tuottavampi ja taloudellisempi hakkuutähteiden metsäkuljetuskalusto ja ideoida siihen liittyviä teknisiä kehittämismahdollisuuksia. Tuotekehitysyhteistyötä tehdään Kannonkone Oy:n kanssa. Hakkuutähdekouran käytöstä myös ainespuun käsittelyyn tehtiin vertailuselvitys. Raportti valmistui tammikuussa 1996.

Hakkuutähteiden tuotannon alueella koostettiin myös koti- ja ulkomaista tutkimustietoa tuotantoketjujen eri vaiheista. Lisäksi tehtiin suppeita kenttäkokeita hakekuormien tiivistämisistä sekä hakkuutähteiden metsäkuljetuksesta maatalous- ja metsätraktorilla. Yhteistyökumppaneina olivat Metsä-Multia Oy ja Tero Talaskivi. Selvitystyö sisälsi myös kustannuslaskentaosuuden. Raportti valmistui tammikuussa 1996.

Osallistuttiin Bioenergian tutkimusohjelmassa Finntech Ltd. Oy:n toteuttaman päätehakkuiden kokopuujuonnon ja hakkuutähteiden hyödyntämisprojektin kenttätöihin Keuruulla maaliskuussa. Projektissa selvitettiin menetelmän tekninen toimivuus ja taloudellisuus sekä uudella menetelmällä tuotetun hakkuutähdehakkeen polttoaineominaisuuksia. Tämän projektin tuloksista on valmistunut sen oma tutkimusraportti.

Edellisten lisäksi kenttäopastettiin 6 eri monitoimikone- ja 6 metsäkuljetusketjua hakkuutähteiden korjuun toteutuksessa ainespuun hankinnan yhteydessä. Yrittäjäneuvontaa saivat mm. Jari Aittolampi (Ähtäri), Pekka Halt (Karstula), Jyrki Valkeinen (Karstula), Antti Leppänen (Laukaa), Tommi ja Ari Mäkinen (Sumiainen). Lisäksi opastettiin asiantuntijapanoksia keskusomalaisia hakkuutähdetuotannon laiteinnovaatioita, jotka pyritään tuotteistamaan tai käynnistämään tuotteistus projektin aikana.

Saatujen tulosten mukaan, edullisimmat hakkuutähteiden hankintakohteet ovat kuusivaltaiset (kuusen osuus yli 70 %) päätehakkuut, joilla metsäkuljetusmatka on alle 200 m. Hakkuutähteen kasaaminen ainespuun hakkuun yhteydessä ei lisää sanottavasti hakkuukoneen ajanmenekkiä (- 2:sta + 5:een prosenttia) ja kasaus lisää metsäkuljetuksen tuottavuuden 1,5-kertaiseksi verrattuna hakkuutähteiden keräämiseen levältään. Lisäksi vältetään hakkuutähteiden polkeutuminen koneiden alle, sen likaantuminen ja kivien ja maa-ainesten mukaantulo vähenee oleellisesti. Hakkuutähdekouran käyttö traktorissa nopeuttaa edelleen metsäkuljetusta. Normaalikuormatilaisen keskikokoisen kuormatraktorin tuottavuus 200 metrin kuljetusmatkalla on hakkuutähdekertymästä riippuen 10 - 15 km^3 käyttötunnissa. Kuormatilan laajennus 1,5 kertaiseksi lisää käyttötuntituottavuutta 1 - 3 km^3 .

Hakkuutähteen haketuksen tuottavuus on yleensä 40 - 100 hake-m³ tunnissa. Tehollisen haketusajan osuus työajasta on yleensä vain 50 - 70 % välivarastoilla toimittaessa. Hakeautojen odotusaikoja esiintyy edelleenkin suhteellisen paljon sekä välivarastoilla että energialaitosten alueella.

2.1.4 Integroitu polttohakkeen ja turpeen tuotanto

Yhdessä Vapo Oy:n, VTT Energian, Saarijärven Kaukolämpö Oy:n, yrittäjä Tero Talaskiven, Metsä-Multia Oy:n, Kotimaiset Polttoaineet Pekka Lahti Ky:n ja haketusyrittäjä Pertti Kirkisen kanssa toteutettiin integroitu polttohakkeen ja turpeen tuotanto- ja varastointikokeilu Pylkönmäellä. Turvetuotantokaluston käyttömahdollisuuksista puupolttoaineen tuotantoon tehtiin selvitys. Samalla demonstroitiin turvetuotantotraktorin käyttöä hakkuutähteen metsäkuljetuksessa. Loppukesällä tehdyt seospolttoaineaumat ovat laatusurannassa kevääseen 1996. Seospolttoaineen valvotut polttokokeet toteutettiin lokakuussa Saarijärven Kaukolämpö Oy:ssä. Tulokset on raportoitu kirjallisesti Vapo Oy:lle ja energialaitokselle.

2.1.5 Puupolttoaineen käyttö

Energiantuotantolaitoksittain jatkettiin erilaisten puupolttoaineiden vastaanotto- ja polttokokeita. Helmikuussa toteutettiin Suolahdessa Kumpuniemen Voima Oy:n leijukerroskattilassa polttokokeet, joissa hakkuutähdehaketta poltettiin talviolosuhteissa seospolttona hakemaisen sahausjätteen kanssa. Keväällä selvitetiin asiantuntijatyönä Savelan voimalaitoksen puupolttoaineen käyttöteknisiä ratkaisuja, jotka raportoitiin laitokselle. Savelassa toteutettiin onnistunut puupolttoaineen käyttökoe kokopuuhakkeella kesäkuussa. Hake poltettiin seospolttona palaturpeen kanssa. Loppuvuonna tehtiin turve-hake-seospolttoainekokeet Saarijärven Kaukolämpö Oy:ssä. Polttokokeiden tulokset projekti on raportoinut kirjallisesti laitoksille.

Hakkuutähdehaketta poltettiin kontrolloidusti myös muissa alueen laitoksissa (mm. Keuruun Voima Oy:ssä ja Kaipolassa). Laitosten käsittely- ja polttolaitetekniikat eivät yleensä muodosta ongelmaa hakkuutähdehakkeen käytön lisäämiselle.

Vuoden aikana on laitoksittain otettu näytteitä toimitetuista puupolttoaineista, joista määritettiin partikkelikokojakaumien ja tiheyksien ohella polttoaineominaisuuksia, kuten kosteus, lämpöarvo, haihtuvat aineet ja tuhkapitoisuus.

2.1.6 Tuotanto- ja toimitusjärjestelmien seuranta

Projekti on koostanut alusta lähtien sekä omista demonstraatio- ja koetoimintakohteistaan että ulkopuolelta tietoa erilaisten tuotantojärjestelmien toimivuudes-

ta mallinnuksia varten. Lisätietoa on hankittu erityisesti puupolttoaineiden käyttö- ja laitosseurannoista. Toimitusjärjestelmien seurannassa huomio on kiinnitetty erityisesti puupolttoaineen laadun ohjaukseen ja hallintaan koko tuotantoketjussa käyttöpaikoille asti. Puupolttoaineen käytöstä on teon alla alueen laitoskohtainen puupolttoaineen käyttömahdollisuus- ja rajoitusselvitys. Samoin jatkuvat käytännön selvitykset hakkeen varastoinnin vaikutuksista polttoaineen laatuun sekä erilaisista kuivatustekniikoista.

Isäntälinjan puupolttoaineen korjuun tuotteistamisessa Keski-Suomeen on käyty tutustumassa eräissä Suomeen perustetuissa energiaosuuskunnissa ja isäntärinki-järjestelmissä. Ko. tietoa on saatu erityisesti Työtehoseuralta. Maataloustraktori-perusteisia puupolttoaineen tuotantomalleja on laskennallisesti arvioitu saatujen kenttäkoetietojen perusteella. Kustannuslaskentaan on sisällytetty tarvittavat traktorin metsävarusteet ja käyttökustannukset. Selvitystyö jatkuu lähinnä puupolttoaineen jakelukanavien ja osuuskuntien perustamistietojen kartoituksena ja ohjauksena.

Valtaosin on kuitenkin keskitytty puupolttoaineen urakointilinjan ja siinä lähinnä metsäteollisuuden ainespuun hankintaan liittyvän tuotannon kehittämiseen ja taloudellisuuden seurantaan. Perustietoa on koottu lukuisista projektin hankkeista. Tuloskooste valmistuu vuonna 1996.

Erillisseurannat on käynnistetty Kotimaiset Energiat Pekka Lahti Ky:n Evolui-on-välivarastohakkuri ja hakeauto-ketjusta sekä Biowatti Oy:n Chipset-hakeharvesteri-ketjusta.

2.2 JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

2.2.1 Puupolttoaineen tuottamisen ja hankinnan alueellisen mallin luonti

Projektin kokonaistavoitteena on kestävän puupolttoaineen tuotannon ja käytön mahdollistaminen Keski-Suomeen. Siksi projekti koostaa tietoa ja selvittää energiapuun korjuuta, kuljetusta, logistiikkaa ja erilaisten puuerien polttoaineominaisuuksia ja käytön taloudellisuutta. Alueellinen malli on projektin tulosten yhteenvetoraportti atk-mallinnuksineen ja dokumentteineen. Sen tavoitteena on tukea käynnistyviä demoketjuja vuoden 1996 jälkeenkin. Yhdessä energian tuottajien kanssa vuonna 1995 selvitettiin puupolttoaineen jakelun, vastaanoton ja polttokäyttötymisen kysymyksiä. Projekti teki yhteistyötä VTT Energian hankkeen "Puupolttoaineen hankintalogistiikan kehittäminen" kanssa, jonka tuottamaan malliin on sovellettu kokeilutoiminnassa saatuja tietoja.

Metsäntutkimuslaitoksen hanke "Energiapuutarat ja niiden hyödyntäminen" jätettiin rahoittajien arvioitavaksi. Projekti oli asiantuntijapanoksella mukana

hankkeessa. Valmisteluyhteistyössä olivat lisäksi Metsäkeskus Tapio, Keski-Suomen metsäkeskus ja VTT Energia.

Syksyllä VTT Energia käynnisti energiapuuntuotannon kustannuslaskentamallin rakentamisen, jossa tehdään yhteistyötä Metsätehon kanssa. Malli mahdollistaa ja tarkentaa alueellisen energia-ainespuun hankinnan operatiivista ohjausta. Malli valmistuu vuonna 1996 ja se pyritään saamaan erillissopimuksin maakunnalliseen yrityskäyttöön.

2.2.2 Laajamittaisen polttohakkeen käytön vaikutukset metsien käsittelyyn

Kesäkuussa käynnistettiin selvitystyönä (kirjallisuuskootteet ja asiantuntijoiden haastattelut) tiedon hankinta energiapuun korjuun vaikutuksista metsienhoitoon. Tavoitteena on koostaa käytännön ohjeet metsien monimuotoisuuden ja ravinekompensaatiotarpeiden vaatimuksista sekä hakkuutähteiden korjuun edullisuusvaikutuksista maanmuokkaukseen. Tietoa on hankittu Metlasta, VTT Energiasta ja Ruotsista. Samalla on perustettu Keski-Suomeen 3 vertailuparia maanmuokkauksen koealoja, jotka on muokattu ja mitattu. Selvityksen tekee Keski-Suomen metsäkeskus ja se valmistuu 1996. Vuonna 1995 valmistettiin ensimmäiset kenttäohjeet aihealueelta.

2.3. SELVITYKSET

2.3.1 Rauhalahden merkitys piensahojen sivutuotteiden käyttäjänä

Tehtiin esiselvitys Keski-Suomen ja lähialueella toimivien sahojen nykyisistä ja kehityssuunnitelmissa olevista raaka-aine-, jaloste- ja polttopuupotentiaaleista. Samalla selvitettiin sahoilla syntyvien sahausjätteiden toimitusorganisointia. Esiselvityksen perusteella käynnistettiin otsikon mukainen selvitystyö Altener-projektissa loppuvuonna 1995. Selvitys valmistuu keväällä 1996.

2.3.2 Proomukuljetuksen hyödyntäminen biopolttoaineiden kuljetuksessa Keiteleen-Päijänteen vesistöalueella

Projekti ohjasi Jyväskylän teknillisen oppilaitoksen opinnäytetyönä selvityksen: Proomukuljetusten hyödyntäminen energiapuun kuljetuksissa. Työ ja raportti valmistui keväällä. Lisäksi järjestettiin lehdistölle ja alan asiantuntijoille teemasta info-päivä Laukaassa 4.5.1995.

2.3.3 Muita selvityksiä

Kesällä aloitettiin yhteistyössä Metsäkeskus Tapion ja Keski-Suomen metsäkeskuksen kanssa kunnittainen selvitys maakunnassa korjattavissa olevista ener-

giapuumääristä. Selvitykseen liittyy metsäsuunnittelutietojen ja atk-järjestelmien kehittäminen vastaamaan ainespuun ohella energiapuun inventointitarpeita. Hanke jatkuu.

Selvitettiin päätehakkuukuusikoiden esiintymistiheydet ja saatavat hakkuutähdemäärät Keski-Suomessa. Selvitys tukee hakkuutähteiden tuotannon käytännön toteutusta ja liittyy myös mahdollisen kokopuujuonto-menetelmän jatkodemonstraatiotarpeisiin ja taloudellisuusarviointeihin.

Koostettiin opinnäytetyönä nykyisten autokuljetustekniikoiden mahdollisuuksia puupolttoaineen kuljetuksissa. Samoin selvitettiin osa- ja kokopuiden sekä hakkuutähteiden tiivistämisratkaisuja laitevalmistajien haastattelujen ja aiempien tutkimusten perusteella.

3 TIEDOTUS JA RAPORTOINTI

Laajan teknologiansiirtoprojektin toteuttaminen on edellyttänyt lukuisia yhteydenottoja, neuvotteluja ja koulutus-informointi-tapahtumia. Projekti on pyrkinyt tiedottamaan toiminnastaan ja yleisjulkaisuistaan aktiivisesti, minkä johdosta se tunnetaan jo varsin hyvin niin maakunnassa kuin eri puolilla Suomea.

Projekti raportoi toiminnastaan säännöllisesti tuki- ja johtoryhmän kokouksissa. Lisäksi projektista valmistettiin markkinointia varten ajanmukaistettu yleisesite ja esityskalvopaketti sekä eräiden hankkeiden yhteydessä tehtiin kirjalliset hankke-esittelyt, joihin liittyi myös työmailla tapahtuneet asiantuntijapäivät. Alkuvuonna 1995 laadittiin *projektin tiedotussuunnitelma vuosiksi 1995 ja 1996*.

Lisäksi projektista ja sen osahankkeista valmistettiin vuonna 1995 *kirjallisia tutkimusraportteja, selvityksiä, tiedotteita ja lehtiartikkeleita*. Projektin toisen vuoden aikana avustettiin *asiantuntijalausunnoin* toistakymmentä laitekehittäjää innovaatioiden jatkokehittämisessä sekä opastettiin *rahoituksen hankinnassa*.

Projektiä esiteltiin *esitelmin, tiedottein tai työmaavierailuin* vuonna 1995 seuraavasti:

Keski-Suomen läänissä:

- * Kokopuujuonto-retkeily, Keuruu 22. - 23.3.1995.
- * Proomukuljetusten hyödyntäminen energiapuun kuljetuksissa -infopäivä. Laukaa 4.5.1995.
- * Koneyrittäjien energiapuupäivät, Jämsänkoski 23.5.1995.
- * Puu ja Metsä 95 -messut, Jyväskylä 7. - 9.9.1995:

- EU:n Metsämarkkinat-seminaari 6.9.
- Metsäseminaari 7.9.
- Metsätyönäytökset teemalla "Metsästä energiaa" ja info-osasto metsänäy-
tösalueella.
- * Joukkokäsittelyharvesterin esittelyretkeily, Jyväskylä 28.9.1995.
- * EU:n Altener -energiaseminaarit Keski-Suomessa:
 - Konnevesi 18.9.1995
 - Keuruu 19.10.1995
 - Viitasaari 25.10.1995
 - Saarijärvi 26.10.1995.

Muualla raportoitu (esitelmät, posterit):

- * Bioenergian tutkimusohjelman vuosiseminaari, Tampere 14. - 15.3.1995.
- * Metsäviikko. Helsinki 28. - 29.3.1995.
- * Projektiryhmän retkeily (Veitsiluoto Oy, Wisa-Forest Oy, Bodenin alueläm-
pölaitys, MoDo Ab) 5. - 8.6.1995..
- * Bioenergian tutkimusohjelman Puupolttoaineiden tuotanto-ryhmän kokous,
Kankaanpää 2.10.1995.
- * USA - Kanada (Feric, Morbark Ltd, Peterson Pacific Corp., Lakehead Uni-
versity) 23.9. - 9.10.1995.

Lehtiartikkeleita:

- * Keski-Suomen Valon
- * Osuuspankin
- * Osuuskunta Metsäliiton
- * Maaseutukeskuksen asiakaslehtiin
- * Alukarikka-lehti
- * Keski-suomalainen-lehti
- * Koneyrittäjä-lehti
- * Metsälehti.

4 JULKAISUT JA RAPORTIT

Ahokas, M. & Kuitto, P.-J. 1995. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti -D106. Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1994. Osa I. Julkaisuja 6. Jyväskylä. Väli­raportti. 11 s.

Alakangas, E. & Vesisenaho, T. 1995. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti tutki Chipset 536 C -hakeharvesteria. Vaasa. Alukarikka-lehti 2/95. 2 s.

Impola, R. 1995. Yhteenveto vuonna 1994 tehdyistä metsähakkeen käyttökokeista Keski-Suomessa. 16.1.1995. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 65 s.

Impola, R. 1995. Hakkuutähdehakkeen käyttökokeilu Kumpuniemen Voima Oy:ssä Suolahdessa. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 16 s.

Impola, R. 1995. Hakkeen käyttökokeilu Savelan voimalaitoksella Jyväskylässä. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 9 s.

Impola, R. & Flyktman, R. 1996. Hake-turve -seospolttoaineen käyttökokeilu Saarijärven Kaukolämpö Oy:ssä. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 20 s.

Koskenranta, R. 1996. Hakkuutähteet ja metsänuudistaminen - tietoa korjuun vaikutuksista. Jämsä. Tiedote. 3 s.

Kuitto, P-J. 1995. Puupolttoaineen tuotantotekniikat. EU-Altener -seminaarit 18. - 26.10.1995 Keski-Suomessa. Esitelmämoniste. 8 s.

Lehtonen, S. 1995. Proomukuljetusten hyödyntäminen energiapuun kuljetuksissa. Jyväskylä. Insinööritö. 39 s.

Leinonen, A. & Pöyhönen, P. 1995. Puuhake/turve - seospolttoaineen varastointikokeet. Jyväskylä. Raportti. 9 s.

Noponen, P. & Vesisenaho, T. 1996. Joukkokäsittelyhakkuulaitteen käyttö aines- ja energiapuun korjuussa. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 29 s.

Nousiainen, I. & Vesisenaho, T. 1995. Puupolttoaineen tuottaminen kokopuujuontomenetelmillä. Jyväskylä. Bioenergian tutkimusohjelman projekti Y109. Väli-
raportti. 41 s.

Oivanen, J. 1995. Puupolttoaineen autokuljetustekniikka. Selvitys hakkeen, osa- ja kokopuun sekä hakkuutähteen kuljetukseen soveltuvasta autokalustosta. Jyväskylä. Opinnäytetyö. 46 s.

Oivanen, J. 1995. Osa- ja kokopuun sekä hakkuutähteen tiivistämisratkaisut autokuljetuksessa. Jyväskylä. Raportti. 21 s.

Paananen, M. 1995. Puupolttoainelähteet ja tuotantomahdollisuudet. EU-Altener -seminaarit 18. - 26.10.1995 Keski-Suomessa. Esitelmämoniste.

Paananen, M. 1995. Hake-turve-seospolttoaineiden tuotanto. Jyväskylä. Väli-
raportti. 11 s.

Paananen, M. 1995. Hakkuutähteistä paljon energiaa. Keski-Suomen aluesivut. Helsinki. Osuuspankin asiakaslehti Metsäraha 2/1995. 1 s.

Paananen, M. 1995. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti v. 1994 - 1996. Jyväskylä. Esite.

Sauranen, T. & Vesisenaho, T. Hakkuutähteen korjuu, ohjeet yrittäjälle. Jyväskylä 1995. Opas. 7 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.

Vesisenaho, T. 1995. Latvarunkopuun karsinta ja käyttö energiapuuksi. Jyväskylä. Tutkimusraportti. 20 s.

Vesisenaho, T. 1995. Joukkokäsittelytekniikalla ja yksinpuin käsiteltyjen kuitupuupölkkyjen erot karsiutumisen ja latvaläpimitan suhteen. Jyväskylä. Raportti. 11 s.

Vesisenaho, T. 1995. Hakkuutähteiden korjuulla lisäansioita. Voita leivän päälle. Osa artikkelista. Forssa. Koneyrittäjä-lehti 5/95. 0.5 s.

Vesisenaho, T. 1995. Hakkuutähteen korjuun edellytykset. Jyväskylä. Tiedote. 2 s.

POLTTOPUUN TUOTANTO JA JAKELU

POLTTOPUUN KORJUUN KEHITTÄMINEN METSÄNOMISTAJIEN TEKEMISSÄ ENSIHAR- VENNUKSISSA - 108

Jouko Mäkelä
Työtehoseura
PL 28
00211 Helsinki
Puh. (90) 2904 1420
Faksi (90) 692 2084

Seppo Ryynänen
Työtehoseura
PL 13
05201 Rajamäki
(90) 2904 1281
(90) 2904 1285

Abstract: Development of firewood harvesting in first thinnings made by forest owners

The aim of the project was to increase the forest owners' own usage and deliveries of firewood. The competitiveness of the firewood was improved by developing new machines, devices and working methods for first thinnings in cooperation with machine and device manufacturers and inventors. Field tests were made during three and a half years with 16 new firewood harvesting machines and devices. Several solutions for mechanized felling of small wood and chunkwood were developed to serial production level. The work studies offered basic material for compiling of a cost calculation model for small-scale production of wood chips and chunkwood. The first version of the model was prepared. Basic material was collected for development of the activities and for heating contractor guide using the follow-up studies of the heating contractor targets. Firewood procurement was analysed at two district heating plants. The results of the project were reported in the form of reports, journal articles and presentations, and in exhibitions.

1 TAUSTA

Yksityismetsien ensiharvennuksia tehdään metsänhoidollista tarvetta vähemmän. Metsänomistajien tekemät puunkorjuu- ja metsänhoitotyöt, joiden kehittämiseen Työtehoseuran metsäosasto on erikoistunut, ovat osaratkaisu jatkuvasti lisääntyvään ensiharvennustarpeeseen. Puuston pieni koko ja alhainen hakkuukertymä lisäävät myös metsänomistajan työssä korjuukustannuksia ja vaikeuttavat hakkuun kannattavaa koneellistamista. Lisäksi tavaramallikorjuu jättää metsään latvukset, oksat ja kuitupuuta pienemmät puut, jotka kelpaavat energiakäyttöön ja joiden talteenotto saattaa parantaa ensiharvennuksen taloudellisuutta.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli lisätä metsänomistajien polttopuun omatarve- ja myyntituotantoa. Kehittämällä korjuuteknologiaa pyrittiin parantamaan ensiharvennushakkuun kannattavuutta, alentamaan polttopuun tuotantokustannuksia ja lisäämään polttopuun kilpailukykyä. Tarkasteltavina olivat metsänomistajien työhön erilaisiin korjuuoloihin soveltuvat teknologiset vaihtoehdot sekä korjuumenetelmien toimivuus, tuottavuus ja kustannukset.

Tulokset suunnattiin metsänomistajille ja pienyrittäjille lähinnä koulutus- ja neuvontaorganisaatioiden kautta, mutta myös suorina kontakteina henkilökohtaisen neuvonnan, esitelmien ja demonstraatiotilaisuuksien muodossa. Tuloksin aktivoitiin metsänomistajia ensiharvennushakkuisiin, polttopuun oman käytön lisäämiseen ja markkinointiin tilan ulkopuolisiin käyttökohteisiin.

3 TULOKSET JA TOIMINTA VUONNA 1995

3.1 POLTTOPUUN TUOTANTOKONEET JA -LAITTEET (tutkijana Arto Mutikainen)

Valmistajilta ja myyjiltä kerättiin markkinoilla olevien polttopuun tuotannossa käytettävien koneiden ja laitteiden tekniset tiedot vuosittain päivitettäväksi tietorekisteriksi, josta on mahdollista julkaista tuoteryhmittäisiä markkinakatsauksia työmenetelmä-, tuottavuus- ja kustannustiedoin täydennettyinä neuvojen, kouluttajien ja metsänomistajien käyttöön.

Vuonna 1995 jatkettiin kalustorekisterin laadintaa ja täydentämistä sekä julkaistiin markkinakatsaus maataloustraktorin kuormaus- ja juontolaitteista sekä peräajoneuvoista. Markkinoilla oli 10 puutavaranostureiden valmistajaa, joilla oli tuotannossa 46 nosturimallia hinnaltaan 24 600 - 99 000 mk (sis. alv:n). Teliakselisia metsäperävaunuja oli kaupan 12 valmistajalta 37 eri mallia, joiden hintahaarukka oli 11 000 - 43 000 mk. Vetävien kärryjen hinta oli 63 000 - 152 000 mk. Hydraulisia juontokouria valmisti viisi ja -vinttureita vain kolme yritystä. Juontokourien hinta oli 4 400 - 9 000 mk ja vinttureiden 5 600 - 11 900 mk.

3.2 PIENPUUKORJUU (Markku Ihonen, Harri Nätt)

Kenttätutkimuksia tehtiin kuudesta uudesta maataloustraktorin hydraulikuormaimen asennettavasta pienpuun hakkuulaitteesta, joiden käyttöalue rajoittuu korkeintaan ensiharvennuskokoiseen puuhun. Useimmat olivat tutkimusvaiheessa vielä lähes prototyyppejä. Pääasiassa ensiharvennus-

oloissa tehdyillä kenttäkokeilla arvioitiin laitteiden toimivuutta ja kehittämistarpeita. Laitteista neljä oli tarkoitettu pääasiassa karsimattomien puiden hakkuuseen ja kaksi karsitun puutavaran valmistamiseen. Kahdessa kaato-katkontalaitteessa oli joukkokäsittelyn mahdollistava lisäpihti. Hakkuulaitteita käytettäessä puutavara myös kasataan.

Peruskoneeksi 13 000 - 44 000 mk:n kaato-katkontalaitteille riittää keskikokoinen maataloustraktori, sillä niiden tehon tarve on 10 - 35 kW ja hydraulikan tuottovaatimus 30 - 50 l/min. Myöskään kuormaimen ei välttämättä tarvitse olla järeä, koska laitteet painavat vain 60 - 160 kg. Noin 200 kg painavien ja 45 000 - 65 000 hintaisten kaato-karsinta-katkontalaitteiden käytössä suositeltavaa on tehokkaamman lisähydrauliikkajärjestelmän hankkiminen. Kuormaimen tulisi olla ulottuvuudeltaan yli 8 m. Tällöin harvennus-hakkuussa on 20 m:n ajouravälillä mahdollista työskennellä ajourilta. Jos kuormaimen ulottuvuus on lyhyempi, ajourien välialueen voi harventaa tekemällä ajouralta pistouria. Tämä työskentelytapa sopii silloin, kun harvennettavassa metsässä löytyy luontaista aukkoisuutta. Ajourien välinen palstan keskialue voidaan harventaa myös erilliseltä hakkuu-uralta.

Kaato-katkontalaitteiden (Haka 100 ja Naarva) tuottavuus oli 2,2 - 2,3 m³ tehotunnissa (puiden koko 33 - 100 dm³). Mainitut laitteet on tarkoitettu karsimattoman puutavaran hakkuuseen. Haka 100 -kaato-katkontalaitteessa oli karsintaterät, joilla pystyssä olevaa puuta voitiin karsia puristamalla hakkuulaite rungon ympäri ja liikuttamalla sitä ylöspäin. Karsiminen oli kuitenkin hidasta ja tulee kyseeseen vain, jos karsittavia puita on vähän. Myös Naarva -hakkuulaitteeseen on myöhemmin lisätty karsintaominaisuus.

Keräävien kaato-katkontalaitteiden (AM 230 ja Haka 110) tuottavuus oli 2,4 - 3,5 m³ tehotunnissa (puiden koko 24 - 96 dm³). Joukkokäsittelyn avulla pyritään parantamaan hakkuun tuottavuutta. Haka 110 -hakkuulaitteen tuottavuus oli 35 % suurempi kuin lisäpihdittömän hakkuulaitteen vastavissa korjuuoloissa.

Kaato-karsinta-katkontalaitteiden tuottavuus oli 1,8 - 2,7 m³ karsittua puutavaraa tehotunnissa (runkojen koko 47 - 58 dm³). Rullasyöttö (AM 200) oli sykesyöttöä (Haka S-2) selvästi nopeampi, mutta sykesyötöllä saadaan aikaan suurempi karsintavoima. Piikkirullien avulla rullasyötön pitoa voidaan parantaa, sillä puutavaran pinnan vioittumisella ei ole kuitu- tai polttopuun hakkuussa yleensä merkitystä.

Hakkuulaitteet olivat teknisesti toimivia. Keskeytykset aiheutuivat useimmiten kuormaimen tai hakkuulaitteen hydrauliletkujen tai teräketjun rikkoutumisesta. Pienpuun hakkuulaitteissa leikkaava tai puristava terä on perinteistä ketjusahaa varmatoimisempi ja vähemmän huoltoa vaativa. Ketjusaahan etuna on suuri leikkuunopeus ja paremmuus puunippujen katkonnassa.

Tuottavuus 4 - 5 m:ksi katkottujen osapuiden metsäkuljetuksessa maatalous-traktorilla oli 250 m:n ajomatalla 5,6 - 8,0 m³/tehotunti. Kuormakoko oli 2,4 - 2,9 m³. Noin 3 m:n kuitupuun kuljetuksessa kuormakoko vastaavalla yhdistelmällä oli Työtehoseuran aikaisemman tutkimuksen mukaan noin 4,5 m³ ja tuottavuus samalla ajomatalla 6,5 m³/tehotunti.

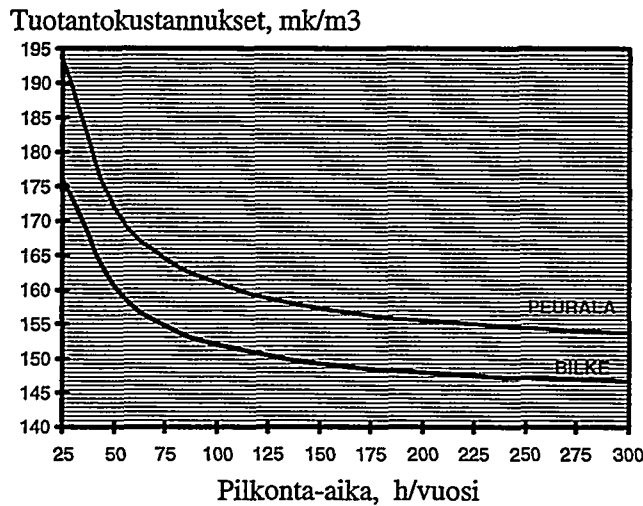
Karsimattoman puutavaran hakkuukustannukset olivat yksinpuin käsitellen 64 - 75 mk/m³ ja keräävillä laitteilla 45-75 mk/m³. Metsurityönä tehty siirte-lykaato olisi maksanut samoissa oloissa 20-80 mk/m³. Metsäkuljetuskustannukset olivat 22 - 45 mk/m³. Karsimattoman puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus maataloustraktoriyhdistelmin maksoi yhteensä 75 - 120 mk/m³ (38 - 60 mk/MWh). Karsitun puutavaran hakkuukustannukset olivat tutkituilla kaato-karsinta-katkontalaitteilla 65 - 102 mk/m³ (33 - 51 mk/MWh). Kuitupuun hakkuu olisi maksanut samoissa oloissa metsurityönä 84 - 96 mk/m³.

3.3 PILKETUOTANNON KEHITTÄMINEN

(Marko Jääskeläinen, Seppo Ryynänen)

Bilke- ja Peurala -pilkekoneet olivat ensimmäiset syöttölaitteella varustetut pilkekoneet Suomessa. Ne soveltuvat rankojen ja sahapintojen pilkkomiseen polttopuupilkkeiksi. Tulosten mukaan rankojen (keskilpm 9 cm/-pituus 2,9 m) pilkkonnassa varastolla 30 cm:n pilkkeiksi tuottavuus oli 5,8 - 7,7 m³ tehollista työtuntia kohden. Ilman syöttölaitetta olevalla pilkekoneella tuottavuus oli varastolla 2,4 - 4,4 m³/tunti (Mattila 1994). Syöttölaitteellisten koneiden kierrosnopeus oli 50 - 67 r/min ja syöttölaitteettoman 20 - 25 r/min. Pilkottaessa rankoja (6,2 cm/3,5 m) ensiharvennusleimikolla ajouran varressa olevista kasoista tuottavuus oli Bilke -koneella keskimäärin 2,8 m³/tunti, kun se oli syöttölaitteettomalla koneella 0,8 - 1,5 m³/tunti (Mattila 1994). Traktorin, Bilke -koneen ja perävaunun siirtämiseen työpisteestä toiseen liittyvään syöttökuljettimen käsittelyyn käytettiin yli 40 % työajasta. Tuotavuutta voidaanakin huomattavasti lisätä kehittämällä kuljettimen nosto- ja laskumekanismeja.

Varastolla pilkkonnan kustannukset olivat Bilke -koneella 27 mk/m³ (13,5 mk/MWh) ja Peurala -koneella 36 mk/m³ (18 mk/MWh), kun pilkkekonetta käytetään vuodessa 100 h ja pilkkeiden lämpöarvo on 2 MWh/m³. Tuotantokustannukset olivat Bilke -koneeseen perustuvassa tuotantoketjussa keskimäärin 152 mk/m³ (76 mk/MWh) ja Peurala -koneella 161 mk/m³ (81 mk/MWh). Kuvassa 1 on esitetty tuotantokustannukset vuotuisten pilkkontatyötuntien funktiona. Kustannukset alenevat jyrkästi noin 75 h/vuosi saakka. Vuotuisena tuotantomääränä tämä on 400 - 500 m³. Ensiharvennuksella olivat pilkkeiden tuotantokustannukset 172 mk/m³ (86 mk/MWh).



Kuva 1. Pilkkeiden tuotantokustannukset (mk/h) Bilke- ja Peurala -pilkekoneilla vuotuisen pilkonta-ajan (h/vuosi) funktiona.

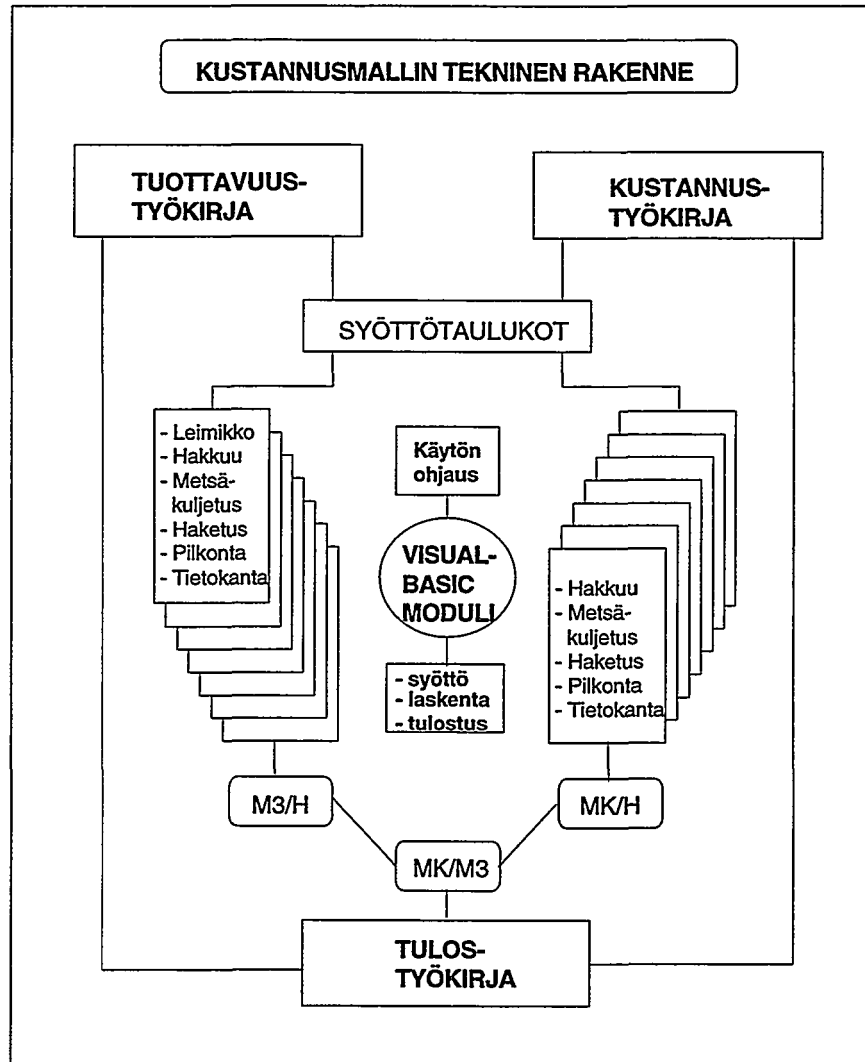
Työntekijän keskimääräinen sydämen sykintätaajuus ei saisi työssä ylittää 130 krt/min. Varastolla Bilke -koneella pilkottaessa sykintätaajuuksien keskiarvot olivat 132 - 170 krt/min eli suositusta suurempia. Rankojen siirtäminen kasasta koneelle tulisikin tehdä kuormainta käyttäen tai työtahtia selvästi hiljentäen. Peuralan koneella varastopilkonnassa sykkeen keskiarvot olivat 110 - 138 krt/min eli lähes suositusten rajoissa. Syöttölaitteiden ansiosta työskentely molemmilla koneilla arvioitiin turvallisemmaksi kuin käsi-syöttöisillä koneilla.

3.4 KUSTANNUSLASKENTAMALLIN KEHITTÄMINEN (Seppo Ryytänen - Harri Nätti - Jari Vätkönen)

ATK-pohjaisen kustannuslaskentamallin 0-versio valmistui hakkeen ja pilkkeiden pientuotantoon. Malli helpottaa ja nopeuttaa yksikkökustannusten ja resurssitarpeiden laskentaa hake- ja pilkekorjuumenetelmissä. Sen avulla voidaan selvittää, miten erilaisten korjuuketjujen tuottavuus- ja kustannusperusteiden muutos vaikuttaa koko ketjun yksikkökustannuksiin. Tehtävä jakautui tuottavuusperusteiden selvittämiseen ja muokkaukseen mallissa käytettäväksi matemaattisiksi malleiksi, kustannusperusteiden selvittämiseen, laskentamallin rakenteen ja toimintojen suunnitteluun, mallin 0-version rakentamiseen ja testaamiseen sekä laskentaperusteiden tarkennus- ja mallin kehitystarpeiden kartoittamiseen.

Laskentamalli rakennettiin Microsoft-Excel -taulukkolaskentaohjelman työkirjatiedostoiksi Windows-sovellusympäristöön (kuva 2). Sisäisenä makrokielenä käytettiin uusimman Excel 5.0 -version Visual-Basic -

ohjelmointikieltä. Malli toimii 486 -mikrotietokoneessa, jossa on keskusmuistia vähintään 4 megatavua.



Kuva 2. Kustannuslaskentamallin rakenne

Laskentamalli koostuu tuottavuus-, kustannuslaskenta- ja tulostiedostoista. Tuottavuus- ja kustannuslaskentatiedostot jakautuvat hakkuun, kuljetuksen, haketuksen ja pilkonnan laskentataulukoihin, jotka toimivat mallin käyttäjän antamien lähtötietojen syöttöpohjina. Tuottavuustyökirja sisältää työvaihteiset tuottavuuteen vaikuttavien perustietojen syöttötaulukot. Kustannustyökirja koostuu vastaavalla periaatteella jaotelluissa työvaiheissa tarvittavien koneiden- ja laitteiden sekä ihmistyövoiman tuntikustannuksen laskenta-

taulukoiden. Tulostyökirjaan tulostuu käyttäjän antamien lähtötietojen pohjalta valitun korjuuketjun työvaiheittaiset tuottavuudet ja kustannukset sekä kokonaiskustannukset.

Laskentamallin 0-versio on tehty tutkimuskäyttöön, mutta edelleen kehitettynä se soveltuu työvälineeksi neuvontaan, oppilaitoksiin ja polttopuun tuottajille. Resurssien salliessa mallin kehittämistä jatketaan.

3.5 LÄMPÖYRITTÄJÄTUTKIMUS (Harri Solmio)

Lämpöyrittäjien seurantatutkimuksessa oli mukana neljä koulu- ja kaksi vanhainkotikiinteistöä (60 - 400 kW). Pääpolttoaineena viidessä kohteessa oli pienpuusta tehty hake ja varapolttoaineena kevyt polttoöljy. Yhtä kohdetta lämmitettiin palaturpeella ja kevyellä polttoöljyllä. Keski- ja Etelä-Suomen haja-asutusalueella sijaitsevilla tutkimuskohteilla lämpöyrittäjät toimittivat kotimaisen polttoaineen sekä hoitivat lämmityksen ja sen valvonnan. Lämpöyrittäjät olivat yhtä lukuunottamatta maanviljelijöitä. Kirjanpitoaineistot kerättiin kotimaisen polttoaineen käyttöjaksolta lämmityskausilla 1993 - 94 ja 1994 - 95. Hakkeen kuljetukseen lämpökeskukselle ja lämmitykseen kulunut työaika tuotettua lämpömääräyksikköä kohden oli 0,47 - 1,12 h/MWh, josta lämmitystyöhön kului 0,14 - 0,51 h/MWh. Polttopuun korjuun tuottavuus seurantakohteilla oli 0,4 - 0,8 m³/h ja haketuksen tuottavuus 3,8 - 7,5 i-m³/h. Toiminnan kustannuksia ja kannattavuutta koskevia tuloksia julkaistaan keväällä 1996.

Seurantatutkimuksen tulokset hyödynnettiin vuoden 1996 alussa Työteho-seuran julkaisemassa Opas lämpöyrittäjälle -kirjasessa.

4 YHTEENVETO TULOKSISTA

Suomessa on yli 50 yritystä, jotka valmistavat polttopuun tuotannossa tarvittavia koneita ja laitteita. Kotimaan ohella muut Pohjoismaat ja Keski-Eurooppa ovat maataloustraktorin metsätyökaluston, pilkontakoneiden ja hakkureiden markkina-alueita. Suomalaisen juontovinttureiden ja hydraulisten puutavarakuormainten markkina-asema on myös maailmanlaajuisesti merkittävä. Kotimaan myynnin voimakas supistuminen 1990-luvulla ja Suomen EU-jäsenyys ovat lisänneet vientipyrkimyksiä Eurooppaan.

Hankintahakkuiden runsaus, voimakas omatoimisuus metsänhoitotoissa ja polttopuun omatarvetuotanto kuvastavat metsänomistajien kykyä ja halua tehdä metsätöitä. Maatiloilla valmiudet polttopuun myyntituotantoon täydentää toimiva, mutta usein vajaakäytössä oleva tuotantokoneisto. Neliveistoisten maataloustraktoreiden, puunkorjuukaluston ja pilkontakoneiden run-

saus antavat mahdollisuudet laajentaa merkittävästi polttopuutuotantoa. Valtio tukee metsänparannusvaroin taimikonhoitoa ja nuorten metsien kunnostushakkuita sekä energiapuun talteenottoa näistä kohteista. Polttopuun tuotannon lisääntyminen kytkeytyy hakkeen käytön yleistymiseen suurkiinteistöissä, aluelämpölaitoksissa ja lämpövoimaloissa.

Vaikka projektin kuluessa kehitetyistä suhteellisen halvoista maataloustraktorin hakkuulaiteprototyypeistä saadut tulokset olivat lupaavia, niissä on vielä paljon kehittämistä. Niiden avulla metsänomistaja, jolla on jo työhön soveltuva peruskone ja kuormain, voi koneellistaa pienten puustojen hakkuuta tulevaisuudessa kannattavasti. Kannattavuuden edellytyksenä on kuitenkin riittävä vuotuinen työmäärä. Esitetyt tuottavuudet olivat alhaisempia kuin käytännön työssä tullaan saavuttamaan myös siksi, että kuljettajat olivat käytännön syistä harjaantumattomia hakkuulaitteiden ja uusien työmenetelmien käyttöön. Silti puiden kaato- ja kasauskustannukset hakkuulaitteilla olivat tietyissä oloissa pienemmät kuin miestyönä tehtyinä. Kuitupuun teos- sa hakkuulaitteet olivat saavutetuilla tuottavuustasoilla suhteellisen edullisia, mikä parantaa samalla kertaa hakatun polttopuun kilpailukykyä. Työmenetelmien kehittämiseksi hakkuu- ja kuljetusvaiheiden yhdistäminen on varteenotettava vaihtoehto.

Uusilla syöttölaitteellisilla pilkontakoneilla on mahdollista päästä suuriin tuotantomääriin ja alempiin kustannuksiin. Koneilla tuotetun pilkkeen laatu riittää hyvin lämmityskäyttöön. Pilkeyrittäjien mukaan pienasiakkaat vaativat kuitenkin sirkelillä katkaistuja ja säännöllisen kokoisia pilkkeitä. Syöttölaitteellisilla koneilla pienpuurangoista valmistetuissa pilkkeissä esiintyi halkeamattomia pölkkyjä ja suurtakin pituusvaihtelua. Koneita tulisikin kehittää tässä suhteessa paremmiksi. Työn raskauden takia rankojen siirto pilkontakoneeseen tulisi tehdä kuormaimella. Pilketuotannossa ja -jakelussa keskeisiä tehtäviä ovat myös pilkkeiden mittauksen ja laatuvaatimusten ajantasaistaminen sekä keinokuivauksen ja pakkausteknologian kehittäminen. Mittauksesta ja laatuvaatimuksista käynnistyi vuonna 1995 BIO-ENERGIA -tutkimusohjelmassa erillisprojekti.

Maataloustraktorin pieneen säiliöhakkuriin perustuvasta hakkeen tuotantometelmästä saatujen tulosten ja käyttökokemusten perusteella käynnistettiin kehittämishanke hakkurivaunusta, jolla haketus metsässä tai varastolla ja hakkeen jatkokuljetus ovat tehokkaasti toteutettavissa esim. lämpöyrittäjäkohteissa. Työtehoseura osallistuu kenttäkokein protyyppilaitteiston kehittämiseen.

Projektissa laadittu kustannuslaskentamalliversio pohjautuu leimikkotunnusten osalta puulajiin ja poistettavan puuston rungon keskitilavuuteen. Tulosten tarkkuutta voidaan parantaa kuvaamalla poistettavaa puustoa tarkemmin runkolukusarjan avulla. Laskentasovellusta on tarpeen laajentaa lisäämällä

mallin sisältämiin hake- ja pilkekorjuuketjuihin uusia työmenetelmiä- ja laitevaihtoehtoja. Lähtötietojen syöttöä, tulosten esittämistä sekä tulosraporttien ja laskentatietojen tulostusta voidaan kehittää toimivammaksi. Tulosten havainnollistaminen graafisesti olisi myös hyödyllinen lisä malliin. Laskentamallista voitaneen kehittää toiminnan suunnittelun työväline esim. metsänhoitoyhdistyksiin, alan oppilaitoksiin ja polttopuun tuottajille.

Lämpöyrittäjyys on Suomessa toistaiseksi pioneiriyrittäjien varassa. Toimintamalleja on lukuisia ja ne ovat vielä kehitystilassa. Tehdyn seuranta-tutkimuksen mukaan toiminta on mahdollista saada kannattavaksi. Lämpöyrittäjyyttä olisikin jatkossa tutkittava eri toimintamallien, tuotantotekniikoiden ja liiketalouden näkökulmista. Myös aluetaloudellisia vaikutuksia tulisi selvittää.

BIOENERGIA -tutkimusohjelman tulosten hyödyntämiseksi ja polttopuun käytön lisäämiseksi tarvittaisiin kiinteistöille, kunnille ja teollisuudelle suunnattu valtakunnallinen tiedotuskampanja. Samoin tulisi tuottaa ajantasalla olevaa neuvonta- ja koulutusmateriaalia bioenergian käytöstä.

5 ORGANISAATIO JA RAHOITUS

Projektin johtoryhmään kuuluivat Pentti Hakkila, Metsäntutkimuslaitos (puheenjohtaja), Matti Heikurainen, maa- ja metsätalousministeriö, Antti Korpilahti, Metsäteho/Bioenergian tutkimusohjelma, Jukka Pietilä, MTT/Vakola sekä Työtehoseurasta Jouko Mäkelä, Seppo Tuomi ja Seppo Ryytänen (sihteeri). Projektin vastuullisena johtajana toimi Jouko Mäkelä, jonka ohella projektiryhmään kuuluivat projektin toteuttamiseen osallistuneet tutkijat. Johtoryhmä kokoontui vuonna 1995 kaksi kertaa ja projektiryhmä seitsemän kertaa.

Vuonna 1995 Bioenergian tutkimusohjelman (maa- ja metsätalousministeriö) rahoitus projektille oli 500 000 mk ja Työtehoseuran oma rahoitus 581 000 mk.

JULKAISUT 1993 - 95

Työtehoseuran monisteita -sarja:

Ihonen, M. 1995. Pienpuun korjuu maataloustraktorilla. Työtehoseuran monisteita 3/1995 (37).

Jääskeläinen, M. 1995. Polttopuun valmistus syöttölaitteellisilla pilkontakoneilla. Työtehoseuran monisteita 8/1995 (42).

Kiviluoma, P. 1994. Säiliöhakkurin käyttöön perustuva polttopuun korjuumenetelmä. Työtehoseuran monisteita 5/1994 (34). 56s.

Mattila, K. 1994. Palstalla valmistukseen perustuva pilkkeen korjumenetelmä. Työtehoseuran monisteita 3/1994 (32). 45s.

Perttola, S. 1994. Esitutkimus pilkkeiden tuotannosta ja jakelusta. Työtehoseuran monisteita 4/1994 (33). 51s.

Perälä, Y. - Kaivola, A. 1994. Kourasaha taimikonhoidossa ja nuoren metsän kunnostuksessa. Työtehoseuran monisteita 2/1994 (31). 45s.*

Ryynänen, S. - Nätti, H. - Valkonen, J. 1995. Kustannuslaskentamallin kehittäminen hakkeen ja pilkkeiden pientuotantoon. Työtehoseuran monisteita 5/1995 (39).

Työtehoseuran metsätiedote -sarja:

Ihonen, M. 1994. AM 200 -hakkuulaite ensiharvennuksessa. Työtehoseuran metsätiedote 526. 4s.

Ihonen, M. 1994. Maataloustraktorin keräävä AM 230 -kaatolaite kokopuu-hakkuussa. Työtehoseuran metsätiedote 536. 4s.

Ihonen, M. 1995. Haka S-2 -yksiotehakkuulaite ensiharvennuksessa. Työtehoseuran metsätiedote 549.

Jääskeläinen, M. 1995. Syöttölaitteelliset pilkontakoneet polttopuun valmistuksessa. Työtehoseuran metsätiedote 542.

Kiviluoma, P. 1994. Säiliöhakkuriin perustuva polttopuun korjuumenetelmä. Työtehoseuran metsätiedote 531. 4s.

Mattila, K. 1994. Ajouralla pilkontaan perustuva polttopuun korjuumenetelmä. Työtehoseuran metsätiedote 528. 4s.

Mutikainen, A. 1994. Polttopuun pilkontalaitteet vuonna 1994. Työtehoseuran metsätiedote 529. 6s.

Mutikainen, A. 1995. Maataloustraktorin metsäkuljetuskalusto vuonna 1995. Työtehoseuran metsätiedote 551.

Mutikainen, A. - Korpilahti, A. 1994. Polttopuuhakkurit vuonna 1994. Työtehoseuran metsätiedote 535. 6s.

Nätt, H. 1995. Haka 110 -kourasaha nuoren metsän käsittelyssä. Työteho-seuran metsätiedote 539.*

Perälä, Y. 1994. Haka 100 -kourasaha taimikonhoidossa ja nuoren metsän kunnostuksessa. Työtehoseuran metsätiedote 527. 4s.*

Ryynänen, S. 1993. Polttopuulla lisäansioita metsänomistajille. Työtehoseuran metsätiedote 519.

Ryynänen, S. - Nätt, H. - Valkonen, J. 1995. Kustannuslaskentamalli hakkeen ja pilkkeiden pientuotantoon. Työtehoseuran metsätiedote 553.

Solmio, H. 1994. Polttopuun hankinta aluelämpölaitoksille. Työtehoseuran metsätiedote 538. 4s.

Solmio, H. 1995. Lämpöyrittäjät seurannassa. Työtehoseuran metsätiedote 540.

Muut julkaisut:

Mäkelä, J. - Ryynänen, S. 1994. Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa. Vuosikirja 1993, osa 1. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisut 3, s. 195-205.

Mäkelä, J. - Ryynänen, S. 1995. Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa. Vuosikirjat 1994, osa 1. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisut 6, s.113-122.

Mäkelä, J. - Ryynänen, S. 1994. Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa. Bioenergian tutkimusohjelman projekti 108. Väliraportti. Työtehoseura ry. 8s.

Solmio, H. - Tuomi, S - Valkonen, J. 1995. Opas lämpöyrittäjälle. Työtehoseuran julkaisuja 346. 48s.*

Teho -lehden ym. artikkelit:

Castrén, M. 1994. Polttohaketta maataloustraktorisoitteilla hakkureilla. Teho 4. 3s.

Castrén, M. 1995. Haketustyön turvallisuus ja ergonomia. Teho 4. 2s.

Ihonen, M. 1994. Ensiharvennuspuuta Naarva -hakkuulaitteella. Teho 1. 3s.

Ihonen, M. 1994. Ensiharvennusta maataloustraktorin AM 200 - hakkuulaitteella. Teho 4. 2s.

Ihonen, M. 1995. Uusi yksiotehakkuulaite maataloustraktoriin. Teho 4.

Jääskeläinen, M. 1995. Tehoa pilketuotantoon. Teho 1.

Kiviluoma, P. 1994. Säiliöhakkuri polttopuun korjuussa. Teho 1. 3s.

Mattila, K. 1994. Uusi menetelmä polttopuun tekoon. Teho 1/94. 3s.

Mutikainen, A. - Ryyänen, S. 1994. Energiasavotta lämpeni polttopuulle. Teho 1. 2s.

Mäkelä, J. 1993. Bioenergian tutkimusohjelma käynnistynyt. Teho 4.

Nätt, H. 1995. Joukkokäsittelyllä tehoa taimikonhoitoon. Teho 1. 3s.*

Perttola, S. 1995. Pilkkeellä lisäansioita tilalle. Teho 1.

Perttola, S. 1995. Onnistunut markkinointi tekee pilkkeestä kuumaa kamaa. Maatilan Pirkka 4.

Ryyänen, S. 1994. Bioenergialla elinvoimaa maaseudulle. Teho 4. 2s.

Ryyänen, S. - Tuomi, S. - Oravainen, H. 1994. Työtehoseuran metsäosasto Bioenergian tutkimusohjelmassa. Teho 1. 2s.

Solmio, H. 1994. Hake aluelämpölaitoksilla. Teho 4. 3s.

* Osittain projektiin 108 liittyvä

URAKOINTI-, PUOLIURAKOINTI- JA ISÄNNÄN- LINJAN POLTTOPUUNKORJUUN KEHITTÄMIS- PROJEKTI - Y110

Kyösti Reponen
Tume Oy
PL 4
40951 Muurame
Puh. (941) 3301 500
Faksi (941) 3301 555

Abstract: Development project of contraction, semi-contraction and owner's-line firewood harvesting

The objective of the project was to develop a chopwood production method, in which the long length trees are felled, delimbed, cut and if necessary also chopped within the same processing stage. If the conditions so require, the chain has to be possible to change so, that cutting and chopping of stems are centralized and made in the same place, as done usually. A part of the project was focused on transportation and storage of chopwood at drying and utilization site. Available methods and equipment were surveyed in the beginning of the project. The machine and equipment needs of the project were listed. Following machines and equipment were needed: a grapple-loader, a forest trailer, a firewood harvester, a chopwood harvester, and drying, transportation and storage containers. The grapple-loader was designed, constructed in 1994, and testing started at the end of 1994. Testing of the loader continued in 1995. The chopwood harvester, based either on squeeze-cutting or spiral cutting, were tested and appeared to be operational. The operation of the chopwood harvester is based on pulsed feeding. The operation of the harvester can be changed, if needed, to suit for felling of the stem and delimbing, or a device cutting the stems into desired length or a splitting device can be mounted to it. The implementation of the pulsed feeding and delimbing are made traditionally. The construction of the pulsed chopwood harvester was done by a forest owner/inventor entrepreneur. The prototype was ready for testing in summer 1995. Felling and delimbing tests were started immediately. Splitting action has not been constructed yet. Drying/transportation/storage contained will be constructed later.

ALKUTILANNE

Perinteisesti kaikki pilkkeiden tekoon tarkoitetut laitteet pohjautuvat valmiiksi kaadettuihin ja karsittuihin rankoihin. Rangat ovat kasoissa ajouran

varsilla tai kuljetettu suurempiin pinoihin pilkkeiden tekopaikalle. Pilkkeet tehdään sirkelikatkojilla tai erilaisilla puristavilla terillä varustetuilla pilkekoneilla. Pilkekoneissa on yleensä kuljetin, jolla voidaan pilkkeet kuormata perävaunuun.

PROJEKTIN MUKAINEN MENETELMÄ

Projektin mukaisessa pilkkeiden tekomenetelmässä pisimmälle kehitetty tapa on, että rangat kaadetaan, karsitaan, katkotaan ja tarvittaessa halkaistaan samalla käsittelykerralla. Olosuhteiden vaatiessa ketjua voidaan muuttaa siten, että katkonta ja halkaisu tehdään kuten ennenkin keskitetysti samassa paikassa.

Osa projektista kohdistuu pilkkeiden kuljetukseen ja varastointiin kuivatus- ja käyttöpaikassa.

PROJEKTIN TÄMÄN HETKEN TILANNE

Projektin alussa kartoitimme jo käytössäolevat menetelmät ja laitteet. Listasimme kone- ja laitetarpeet, joita projekti vaatii.

- kourakuormain
- metsäperävaunu
- klapiharvesteri
- pilkekone
- kuivaus-/kuljetus-/varastointikontit

VUONNA 1994 TEHDYT PROJEKTIN OSAT

KOURAKUORMAIN

Kourakuormain suunniteltiin, rakennettiin sekä koekäyttö aloitettiin loppuvuodesta 1994. Kuormaimen koekäyttö jatkuu vuonna 1995 toteutettujen muutosten jälkeen.

KLAPIKONE

1. Puristamalla katkaisu
2. Spiraalilla katkaisu

Molemmat katkaisutavat testattiin ja todettiin toimiviksi menetelmiksi.

VUONNA 1995 TEHDYT PROJEKTIN VAIHEET

SYKEKLAPI

Klapiharvesterin toiminta perustuu sykesyöttöön. Harvesterin toimintaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan, joko rangan kaatoon ja karsintaan sopivaksi, tai lisättynä sopivanmittaiseksi katkovana ja halkovana. Sykesyötön ja karsinnan toteutus käy perinteisesti.

Sykeklapiharvesterin prototyyppi annettiin rakennettavaksi asiasta kiinnostuneelle isäntä/keksijä-yrittäjälle. Prototyyppi saatiin koekäyttövaiheeseen kesällä 1995. Kaato ja karsintakokeet aloitettiin välittömästi. Halkaisutoimintoa ei ole rakennettu. Halkaisulle on muutamia eri konstruktioita suunnitelmassa.

MYÖHEMMIN TOTEUTETTAVAT PROJEKTIN VAIHEET

Kuivatus-/kuljetus-/varastointikontit rakennetaan myöhemmin. Koko projektin mukaisen ketjun koekäyttö myös toteutetaan myöhemmässä ajankohdassa.

LAITE POLTTOPUUN TEKOOON - Y111

Hämeen Teräsrakenne Oy
Esa Jaatinen
Sairionkatu 1
13210 Hämeenlinna
Puh. (917) 523 545
Faksi (917) 523 414

Abstract: Device for making firewood

By present equipment it is impossible to make firewood with single-stage processing of the trees. Pulpwood and logs are collected from the forests, but energy wood has to be collected separately and processed in a different place. The aim of the project was to develop a device, by which it is possible to make firewood on the felling site using single-stage processing, and packing the firewood directly to large packages ready for delivery or utilization. It is possible to make e.g. either 3 m long pulpwood or small-logs by the device. A farming tractor is used as traction and power supply unit of the device. The method is especially usefull in first thinings. A study and costs analysis were made for the basis of the research in Evo unit of the Häme Polytechnic Institute of Technology. Logic control of the device was developed in the Hämeenlinna unit of the Häme Polytechnic. Two prototype devices have been made. The test results have shown that firewood production speed will be multiplied in comparison to the previous devices, and the out-look of firewood is remarkable better. The method has been patented.

1 TAUSTA

Tämän kehitystyön lähtökohtana oli kansallinen tavoite kotimaisen puupolttoaineen käytön lisäämiseksi ja metsiin nyt jäävän pienpuun hyötykäyttö. Tähän tarkoitukseen ei ole ollut tarjolla sopivaa korjuukonetta.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 NYKYISEN MENETELMÄN KUVAUS

Nykyisillä laitteilla ei metsässä pysty yhdellä käsittelyllä tekemään polttopuuta. Tukit ja kuitupuu kaadetaan ja karsitaan metsässä, josta ajokoneet hakevat ne lastauspaikalle. Energiapuuksi tuleva osa kerätään ja kuljetetaan

karsimattomana käsittelypaikoille haketettavaksi. Ensiharvennuksessa kuitupuu otetaan talteen, mutta polttopuiksi sopiva pienpuu jää metsään.

2.2 KEHITYSTYÖN TAVOITE

Projektin tavoite oli kehittää puunkorjuumenetelmä, jolla erityisesti ensiharvennuksessa hukkaan jäävä osa saadaan energiakäyttöön. Kehitettävän laitteen tulee sopia maataloustraktorin lisälaitteeksi.

Menetelmällä saadaan polttopuun tuotantoa tehostettua niin, että tuotantovaiheet nopeutuvat sekä yksinkertaistuvat ja polttopuun hinta halpenee.

Saman koneen on pystyttävä metsässä samalla kertaa tuottamaan kuitupuu ja valmis polttopuu eli klapit. Polttopuu on jo koneessa pakattava valmiisiin kuljetuspakkauksiin, jotka voidaan sellaisenaan toimittaa käyttäjille.

Kehitettävän koneen hankintahinta on oltava merkittävästi halvempi kuin monitoimikoneen. Koneen veto- ja voimanlähteenä on traktori ja toimilaitteet pääosin hydraulisia. Työkierron nopeus saavutetaan hydraulikan logiikkaohjauksella.

3 TOTEUTUS

3.1 KEHITYSTYÖ

Projektissa kehitettiin laite, jolla on mahdollista tehdä valmista polttopuuta suoraan puun kaatopaikka yhdellä käsittelyllä pakattuna suoraan suurpakkauksiin valmiiksi myyntiä tai käyttöä varten. Laitteella voi vaihtoehtoisesti tehdä esim. 3-metristä kuitupuuta tai pikkutukkia. Veto- ja voimanlähteenä käytetään maataloustraktoria. Menetelmä on erityisen hyödyllinen ensiharvennuksissa.

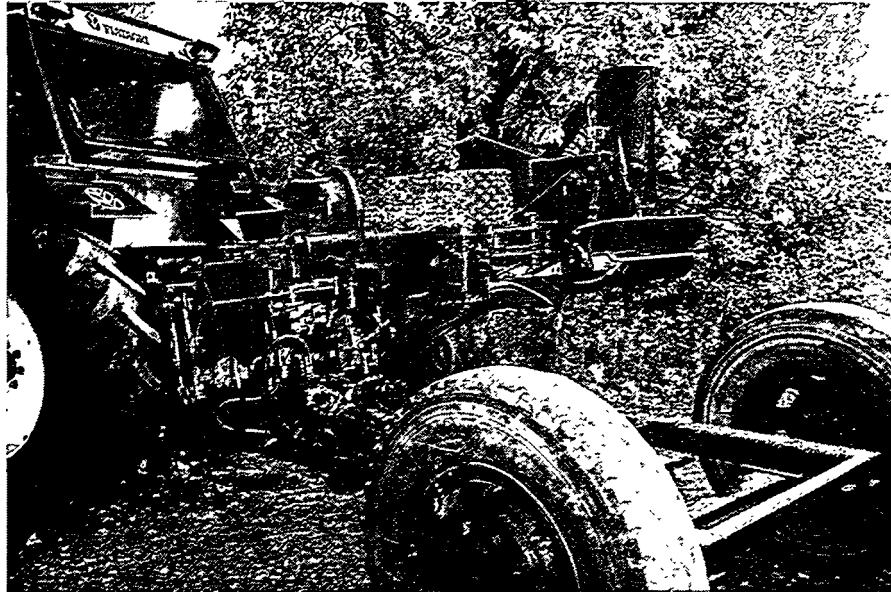
Kehitystyön pohjaksi tehtiin Hämeen ammattikorkeakoulun Evon yksikössä tutkielma ja kustannusanalyysi. Hämeen ammattikorkeakoulun Hämeenlinnan yksikössä kehitettiin laitteen logiikkaohjaus. Laitteesta on tehty jo kaksi protoa, joiden koekäyttöjen perusteella polttopuun valmistusnopeus moninkertaistuu aikaisempiin laitteisiin verrattuna, ja polttopuun ulkonäkö on olennaisesti parempi.

3.2 LAITTEEN TOIMINTA

Kehitetyssä laitteessa katkaistu puu kuljetetaan rullien syöttämänä tyvi edellä, ja samalla puu karsitaan. Runko katkotaan ja palat halkaistaan polt-

topuiksi. Polttopuut lastataan suoraan suurpakkauksiin. Kuitupuu katkotaan esimerkiksi 3-metrisiksi, ja se ohittaa halkaisuyksikön. Eri toimilaitteiden liikkeitä ohjataan protossa ohjelmoidulla logiikalla.

Patenttihakemus menetelmälle on hyväksytty patentoitavaksi.



Kuva 1. Esa Jaatisen kehittämä laite polttopuun tekoon. Puukuljetin ja häkki puuttuvat kuvaushetkellä.

4 JATKOTOIMENPITEET

Vuoden 1996 aikana laitteen jatkokehitys ja koeajot tehdään omarahoitteisesti, ja tuotteelle etsitään teollista hyödyntäjää.

5 JULKAISUT

Jaatinen E. 1994. Pat.hak. 945519. Menetelmä ja laite puun karsimiseksi, katkaisemiseksi ja halkaisemiseksi.

Salo M. 1995. Puunkorjuukoneen hydraulikka- ja ohjausjärjestelmä. Hämeenlinnan teknillinen oppilaitos, Hämeenlinna, insinöörityö (julkaisematon).

Varpenius K. 1993. Esa Jaatisen suunnitteleman puunkorjuukoneen kustanusanalyysi. Evon metsäoppilaitos, Lammi, päättötyö (julkaisematon).

POLTTOPUUN KÄSITTELY- JA JAKELU- LOGISTIIKKA - D107

Aki Nevalainen
Tulipuu Oy
83900 Juuka
Puh. (976) 681 111, Nmt 949 - 905 829
Faksi (976) 681 1120

Abstract: Firewood processing and delivery logistics

The aim of this research is to develop the processing and the delivery of firewood in order to improve the obtainability of firewood in the urban areas, to increase the user friendliness of the firewood, and to reduce the delivery costs of it. The project consists of development of recyclable firewood processing and transportation units, organisation of the delivery and the testing of these in practice.

1 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tavoitteena on kehittää polttopuun käsittelyä ja jakelua polttopuun saatavuuden lisäämiseksi taajama-alueilla, käyttäjäystävällisyyden nostamiseksi ja jakelukustannusten alentamiseksi.

Hankkeeseen kuuluu kierrätettävien polttopuun käsittely- ja kuljetusyksiköiden kehittäminen, jakelutoiminnan organisointi sekä näiden osa-alueiden käytännön testaus.

2 AIKATAULUN TOTEUTUMINEN

Hankkeen ensimmäiseen vaiheeseen ajoittuivat pääosin kaikki laite- ja materiaalihankinnat. Tällöin luotiin toimivat polttopuustandardit ja -mittausperusteet. Myös kuljetus- ja jakeluyksiköiden valmistaminen ja niiden kokeilu käytännössä on tehty. Ensimmäiseen vaiheeseen kuului myös tilauskeskuksen luominen.

Toisessa vaiheessa seurattiin pakkausmateriaalien kierrätettävyyttä käytännön ympäristössä ja tehtiin tarvittavat muutokset pakkausyksiköihin niiltä osin kuin oli tarvetta. Tilauskeskusta kehitettiin edelleen ja toinen versio on

nyt käytössä. Toisen vaiheen tavoitteena on pitkälti ollut järjestelmän ylläpito, seuranta ja kehittäminen.

3 SAAVUTETUT TULOKSET

3.1 POLTTOPUUSTANDARDIT JA MITTAUSPERUSTEET

Logistisessa ketjussa on käsiteltävä tuote määriteltävä ensin. Hankkeen tehtäväaikataulun mukaan ensimmäiset osatehtävät olivat polttopuustandardien ja mittausyksiköiden luominen.

Polttopuun kokoluokittelussa on otettu huomioon sekä tuotannon että tulisi-
jojen asettamat vaatimukset. Pilkkeiden raaka-aineena voidaan käyttää sekä
pitkää puutavaraa että perinteistä metrin halkoa. Tuottavuuden kannalta on
ehdottomasti järkevämpää valmistaa pilkkeet suoraan pitkästä puutavarasta,
rangasta. Tämä kuitenkin vaatii katetut varastointi- ja kuivatustilat.

Puulajiluokittelussa puut jaetaan kolmeen luokkaan sekä palamiskäyttä-
tyksen että metsänhoidollisten aspektien mukaan.

Polttopuun mittaus aiheuttaa aika ajoin epäselvyyttä. Kun normaalisti met-
sätaloudessa ja -teollisuudessa sekä myyjä ja ostaja ovat alan ammattilaisia,
on puun määrän toteaminen yksiselitteistä. Polttopuumarkkinoilla puoles-
taan niin myyjä- kuin ostajakunta muodostavat erittäin laajan kirjon. Tämän
vuoksi mittausperusteiden on oltava yksinkertaiset. Lähtökohtana on edel-
leen pysyä tilavuuteen perustuvassa mittauksessa. Painomittaukseen ovat
tekniset valmiudet tällä hetkellä hyvin rajalliset. Kun tiedetään mittausyksi-
köiden keskinäiset suhteet, niin on aivan sama, mikä on käytettävä yksikkö.

Polttopuun mitta- ja laatuvaatimukset:

PILKKEET

Puulajit:	koivu; leppä; sekapuu;	polttopuu vaativalle asiakkaalle erinomainen saunapuu luukuilla varustettuihin tulisijoihin, käyvät niin havu- kuin lehtipuut
Pituudet:	25 cm; 33 cm; 50 cm; Pituuden toleranssi on +- 1 cm	pienet hellat takkauunit leivinuunit
Paksuus:	4 - 10 cm Pilkottuna max 10 cm Pyöreälle minimi latvaläpimitta 4 cm	
Toimituskosteus:	max 20 %	
Lahoa ei sallita		

HALOT

Puulajit:	koivu leppä sekapuu
Pituus:	1 m +- 3 cm
Paksuus:	minimi 5 cm.

Latvaläpimitaltaan 5 - 10 cm:n pölkkyyä ei halkaista, vaan ne aisataan yhdeltä sivulta. Tätä kokoluokkaa olevia pölkkyyä saa olla enintään 40 % kuutiomäärästä. Latvaläpimitaltaan 10 - 15 cm:n pölkyt halkaistaan tai aisataan vähintään kahdelta sivulta. Latvaläpimitaltaan 15 - 30 cm:n pölkyt halkaistaan kahteen ja yli 30 cm:n pölkyt neljään osaan.

POLTTOPUUN MITTAUSYKSIKÖT

PUUTAVARA	KIINTOKUUTIOITA
irtokuutiometri pilkkeitä (1/3 m)	0,47
irtokuutiometri pilkkeitä (1/2 m)	0,43
pinokuutiometri pilkkeitä (1/3 m)	0,67
pinokuutiometri pilkkeitä (1/2 m)	0,66
pinokuutiometri halkoja	0,63
pinokuutiometri rankoja	0,43

eli

Irtokuutiometri pilkkeitä (1/3 m)	= 0,70 pinokuutiometriä pilkkeitä = 0,75 halkokuutiollista pilkkeitä
Pinokuutiometri pilkkeitä (1/3 m)	= 1,43 irtokuutiometriä pilkkeitä = 1,06 halkokuutiollista pilkkeitä
Halkokuutiollinen pilkkeitä (1/3 m)	= 1,34 irtokuutiometriä pilkkeitä = 0,94 pinokuutiometriä pilkkeitä

3.2 POLTTOPUUN KULJETUS- JA JAKELUYKSIKÖT

Polttopuun kuljetus- ja jakeluyksiköiden kehittäminen on edennyt vaiheittain. Ensimmäisessä ja toisessa mallissa havaittiin selviä puutteita ja vikoja. Kolmas, toimiva kuljetusyksikkö (jäljempänä myyrälava) on seuraavanlainen:

Lava on puurakenteinen. Myyrälavan käsittely ja siirtely hoituu kätevästi tiilikärryjä muistuttavilla myyräkärriillä. Koon vuoksi siirtely on helppoa miesvoimin ja myyrä sopii hyvin esimerkiksi seinustalle räystäään alle. Kuormalavan kokoiset yksiköt ovat liian suuria, koska moniin paikkoihin tällainen ei sovi ja yksikön siirtäminen on hankalaa. Pumppukärriillä kuormalavan siirtely ei onnistu hiekkapihalla. Eli yksikön pitää olla pienempi. Lisäksi puumäärän toteaminen pitää myös onnistua yksikön avulla.

Kosteuden ollessa n. 25 % 50 cm:n koivumyyrän painoksi muodostuu noin 160 kg, myyrien siirtelyn helpottamiseksi kärriihin laitettiin paripyörät ja kädensijoja jatkettiin 15 cm.

Myyrälavan ulkomitat ovat:

- * korkeus: 120 cm
- * leveys: 80 cm
- * pituus: puun pituus

*

Myyrän rakenne on yksinkertainen (kuva 1). Tyhjän myyrän voi purkaa neljään osaan, jolloin myyrän säilytys ja kuljetus onnistuu pienessä tilassa. Myyrän kasaamisessa ja purkamisessa ei tarvita työkaluja. Myyrän raaka-aineena käytetään 22 x 100 mm lautaa (4,4 jm), sekä 22 x 35 mm rimaa (0,96 jm) ja 1,5 " kampanauloja 14 kpl.

Puulla täytettyjen myyrrien säilyttäminen tapahtui ulkona katoksessa tai kevytpeitteen alla. Säilytyksen aikana Myyrän osat turposivat, jolloin pohjakappaleiden väliin tulevat päätylaudat puristuivat kiinni. Kiinni puristuneita osia ei saanut ehjänä irroitettua toisistaan. Ongelman poistamiseksi jouduttiin levittämään Myyrän pohjakappaleiden väliä 0,5 cm.

Myyrälavan puumäärä vaihtelee pilkkeen pituuden mukaan seuraavasti:

0,25 pinokuutiometriä täytettäessä 33 cm:n pituisilla pilkkeillä

0,40 pinokuutiometriä täytettäessä 50 cm:n pituisilla pilkkeillä

Ehdottomasti yleisin pilkkeen pituus on 1/3 metri eli 33 cm. Kun myyrälava täytetään 33 cm:n pilkkeillä kosteudeltaan 25 %, on myyrässä olevan puun energiamäärä puulajeittain seuraava:

- * koivu: 400 kWh
- * leppä: 310 kWh
- * sekapuu: 330 kWh

Myyrälavan hinta on 30 mk. Käytännössä myyrän on toimittava panttiperiaatteella, sillä muuten myyrän hinta on liian korkea.

Pidempiä matkoja kuljetettaessa myyrät on mahdollisuus kuormata päällekkäin. Päällekkäinkuormausta ja trukikäsittelyä varten kaksi myyrää sidotaan pariaksi irroitettavalla pitkittäistuella.

Myyrälavoja on nyt rakennettu 300 paria kuljetuksia ja jakelua varten.

Suunnitelman mukaisia kuljetuskokeita on tehty. Kaukokuljetuskokeessa kuljetettiin täysperävaunullinen myyriä Pohjois-Karjalasta Vihtiin. Kuljetuksessa käytetty ajoneuvo oli normaali perästä kuormattava kappaletavara-auto. Tämän vuoksi kuormaaminen muodostui hitaaksi. Tarkoitukseen parempi on molemmiin puolin avattava kapellivarustuksilla oleva kuorma-auto.

Myyrät kuljetettiin Tulipuu-yrittäjiltä asiakkaille avolavapakettiautoilla. Normaalinomittaiseen avolavapakettiautoon sopii kuusi 33 cm:n pilkkeellä täytettyä Myyrää peräkkäin. Myyrien lastaus ja purkaminen tapahtui ajosiltaa pitkin Myyräkärriyllä työntäen. Myyrien sidonta autokuljetusta varten tapahtui asettamalla vanerilevyt "nipun" etu- ja takapähän, lopuksi nipun ympäri laitettiin kuormaliina. Vanerilevyt estävät pilkkeiden putoamisen kuljetuksen aikana.



Kuva 1. Myyrän kuljetus ja käsittely on vaivatonta kärrijen avulla.

3.3 TULIPUU-LAATIKKO

Pienemmät jakeluyksiköt ovat pahvista valmistetut likimain limsakorin kokoiset. Laatikon mitoituksessa peruslähtökohtana on ollut yhteensopivuus kuormalavoille ja laatikoiden päällekkäinkuormattavuus. Esimerkiksi FIN-kuormalavalle sopii 10 laatikkoa kerrokseen, ja päällekkäisiä kerroksia voidaan asettaa jopa viisi. Pahvisen pienpakkauksen täyttö on vaivatonta, eikä vaadi muita investointeja. Lisäksi pakkaus on poltettava, kierrätettävä eikä aiheuta roskaamisongelmia. Pienpakkauksien tavoitteena on tyydyttää satunnaisten puunkäyttäjien tarve. Samalla laatikot toimivat polttopuun esilletulokanavana ja puunkäytön siemenvetenä.

Laatikkopuu sopii myös käyttäjille, joiden varastotilat ovat pienet. Polttopuun suurlukuttajalle pienpakkaukset eivät ole järkevä ratkaisu. Pakattu polttopuu suhteessa irtotavaraan halpeni, sillä myös irtotavara tuli vuoden 1995 alusta arvonnalisäverolliseksi.

Vuosien 94 ja 95 aikana laatikoita on otettu käyttöön n. 14 000 kpl.

33 cm:n koivuklapeilla täytetyn laatikon painoksi mitattiin 18 kg. Kostealla ilmalla laatikko pehmenee, jolloin laatikon päädyissä olevat nostoaukot ovat kestopuukynsä ääriajoilla.

Laatikosta tehtiin uusi versio syksyn -95 aikana, koska laatikot menivät hieman lavan reunan yli. Laatikoiden reunat repesivät kuljetuksen aikana. Uudessa laatikossa mittoja pienennettiin, jotta laatikot sijoittuisivat lavan mittojen sisäpuolelle. Laatikon tilavuuden pienentymisen myötä laatikon paino keveni, jolloin laatikon nostoaukot alkoivat kestää.

Laatikoita kuljetettiin FIN lavoille pakattuna tukkuliikkeisiin kuorma-autolla. Lavojen käsittely onnistuu hyvin pumppukärryillä ja trukeilla. Laatikoiden ylimmän kerroksen ympäri laitettiin sidontanaru tai muovi, joka poistettiin kuljetuksen jälkeen. Laatikoita toimitettiin myös rautakauppoihin lavoittain, jolloin kuljetus tapahtui yrittäjän lavapakettiautolla.

3.3.1 Laatikon pakkaaminen

Puut pakataan laatikoihin pystyasentoon. Laatikon reunan korkeus on 25 cm, jolloin 25 cm:n pilke tulee reunan tasalle ja 33 cm:n pilke tulee 8 cm reunan yläpuolelle. Laatikkopuu on tarkka pilkkeiden pituusvaihteluille, koska puut ovat pystyssä. Lavoille lastatut laatikot tarvitsevat välipahvin, jotta laatikoiden pohjat säilyisivät ehjinä kuljetuksen aikana. Laatikkoa ei tule täyttää liian täyteen, silloin laatikko menettää muotonsa. Laatikko säilyttää muotonsa paremmin, jos se on täyttövaiheessa telineessä. Laatikon kulmiin laitetaan pilkkeet, jotka on halkaistu neljään osaan. Pilkkeen terävä kulma osoittaa laatikon nurkkaan, jolloin laatikko säilyttää muotonsa paremmin.

3.4 "MOTTI"LAVA

"Motti"lavan kehittämisen lähtökohtana oli hyödyntää valmis lava ja hakea ratkaisua, jolla polttopuun käsittelyyn saataisiin isommat kuljetusyksiköt. Käytetty lavakoko on 100 x 120, päädyt ja kuljetusyksikön kansi rakennettin laudoista.

Mitat

- * korkeus 976 cm
- * leveys 1000 cm
- * pituus 1200 cm

Mvvrät kuljetettiin Tulipuu-yrittäjiltä asiakkaille avolavapakettiautoilla.

Kehikon materiaalina käytettiin 22 x 100 (9,24 jm) ja 22 x 50 (10,26 jm) lautta. 22 x 50 lautta saadaan halkaisemalla 22 x 100 lautta. 1,5 " kampanauvoja tarvitaan 40 kpl, 3 " nauvoja 12 kpl ja 4 " nauvoja 8 kpl. "Motti"lava koostuu päädyistä jotka naulataan lavaan kiinni, päädyt sidotaan kanteen naulattavilla laudoilla. Päädyissä olevat vinotuet vahvistavat rakennetta siinä määrin, että lavoja voidaan kuljettaa päällekkäin.

"Motti"lavan puusisältö 33 cm pilkkeellä on 1,07 p-kuutiota; pilkkeen pituuden vaihtuminen 25 cm tai 50 cm ei aiheuta muutoksia lavan puusisälössä.

Täyteen lastatun "motti"lavan energiasisältö 25 % kosteudella n:

* Koivu	1 690 kWh
* Leppä	1 337 kWh
* Sekapuu	1 431 kWh

"Motti"lavan materiaalin hinnaksi muodostuu n. 30 mk, hintaan ei sisälly lavakustannusta. Lavoina on pyritty käyttämään kertalavoja, joita on hankittu kauppaliikkeistä tai lavan välittäjiltä, jolloin lavasta on jouduttu maksamaan n. 20 mk. Kustannusten säästämiseksi olemme hyödyntäneet myös vanhoja banaanolavoja, joita saa marketeista ilmaiseksi.

"Motti"lavan hintana pidetty 389 mk + ALV oli asiakkaista korkea, lavan ostaneet olivat positiivisesti yllättyneitä lavan puusisällön määrästä. Asiakkaat olivat valmiita ostamaan lisää lavoja. Kuluttaja tekee ostopäätöksen poikkeuksetta hintavertailun perusteella (mk/kuutiometri); edelleenkin ostajilla ei ole selkeää käsitystä eri kuutiosisältöjen (pinokuutiometri, irtokuutiometri) puumääristä.

Olemme tehneet kuljetuskokeita "motti"lavoilla. Puuta kuljetettiin Orismalasta Ruotsiin kapellivarustuksella olevalla täysperävaunulla. Auto oli varustettu pumppukärryllä, joka mahdollisti lavojen siirtelyn kuorma-auton lavalla. Kuorman lastaus tapahtui etukuormaimella varustetulla maataloustraktorilla. Kuormaan saatiin kaksi "motti"lavaa päällekkäin. Yhdistelmään meni 68 kpl "motti"lavoja ja kuormasta tuli täysi niin kantavuuden kuin tilavuudenkin suhteen.

Kuljetuskoe onnistui hyvin; "motti"lavan valmiudet terminaalikäsittelyyn ovat hyvät. Lava kestää trukeilla tehtävää käsittelyä sekä autokuljetusta.

Ongelmana on lavan koko. Lavan kuljetuksessa asiakkaalle tarvitaan nosturi tai perälautanostin. Asiakkaalla on oltava puuliiterissä vähintään 115 cm leveä ovi ilman kynnystä, jotta lava voidaan siirtää pumppukärryllä puuliiterin sisälle.

3.5 JAKELUN ORGANISOINTI

Polttopuun jakelua ja tilauksia varten on kehitetty puhelinpalvelukeskus. Puhelinpalvelu toimii automaattisesti mikrotietokoneohjelmalla. Toiminta perustuu postinumeroihin eli asiakkaan soittaessa palveluun näppäilee hän toimitusosoitteen postinumeron, jolloin tilaus ohjautuu asiakasta lähimmälle polttopuun toimittajalle.

Ensimmäinen versio puhelinpalvelusta valmistui, mutta sen toiminta osoitautui melko kankeaksi. Lisäksi muutamia 'katvealueita' on, koska yrittäjäkunta ei kata vielä kaikkia alueita.

Uudellamaalla on toimintansa aloittanut viisi polttopuun tuotanto- ja jakelupistettä. Näistä pisteistä asiakkaat voivat itse hakea puun tai tilata puut kotiinkuljetettuna.

Puhelinpalvelukeskuksesta tehtiin uusi yksinkertaistettu versio, koska ihmiset eivät ole valmiita "keskustelemaan koneen kanssa", eivätkä osanneet jättää polttopuutilausta. Uudessa yksinkertaistetussa versiossa palvelukeskuksesta saa lähimmän Tulipuu-yrittäjän yhteystiedot sekä tietoa puunpolttamisesta. Palvelu muutettiin käyttäjälle ilmaiseksi. Uusi numero on 976 - 478 174.

Nykyisen palvelunumeron valikkorakenne;

ALKUVALIKKO

1. Tulipuu-yrittäjien yhteystiedot	2. Tulipuun tietopalvelu
------------------------------------	--------------------------

1. Tulipuu-yrittäjien yhteystiedot

1. Etelä-Suomi	2. Itä-Suomi	3. Keski-Suomi	4. Länsi-Suomi	5. Pohjois-Suomi
----------------	--------------	----------------	----------------	------------------

2. Tietopalvelu

1. Puu polttoaineena ja uuni-lämmitys	2. Mistä ja miten hankin poltto puuta ?	3. Tulisijan hankinta	4. Tulisijan käyttö	5. Tulikivi-yhtiöiden palvelut
---------------------------------------	---	-----------------------	---------------------	--------------------------------

4 PAKKAUSMATERIAALIN KIERRÄTETTÄVYYS

Laatikoiden kierrätettävyys epäilytti, mutta käytännössä löytyi asiakkaita, jotka asuivat lähellä polttopuu-yrittäjää ja hakivat polttopuutäydennystä suoraan yrittäjältä vanhoihin laatikoihin. Pahvinen laatikko ei kestä kovin monta kierrätyskertaa, yleisin syy laatikon särkymiseen on sen kostuminen. Valtaosa laatikoista käytettiin uunien sytykkeinä.

Pakkausyksiköistä tekniseltä ratkaisultaan ja kokonsa puolesta myyrä soveltuu parhaiten kierrätykseen. Myyrien käytön lisäämisen hidasteena ovat pakkausmateriaalin kustannukset. Vaikka myyrää tarjottiin panttiperiaatteella, eivät asiakkaat olleet valmiita sitomaan pääomaa myyriin. Myyriä on tullut takaisin asiakkailta, jotka ovat aiemminkin tilanneet puuta yrittäjiltä. Myyriä käytettiin myös tilanteissa, joissa polttopuuta ei voinut toimittaa autolla suoraan puuvaraston eteen.

Myyrillä suoritettiin myös polttopuun lähikuljetusta autolta puuvarastoon tilanteissa, joissa puuvarasto sijaitsi kapean kävelytien päässä. Myyrät tyhjennettiin välittömästi puuvarastoon ja yrittäjä otti Myyräkehikot mukaansa. Toiminta johtui siitä, ettei asiakas ollut valmis maksamaan Myyrän panttia. Usein vastaavissa tilanteissa yrittäjä joutui myymään puun samalla hintaa kuin irtotavarankin, jolloin yrittäjä ei saanut Myyrästyöstä korvausta.

Myyrä kestää useita käsittelykertoja, ainoastaan pohjaosassa olevat pitkitäislautojen siderimat ovat löystyneet naulauksistaan. Tämän vuoksi ennen myyrän uudelleen täyttöä on syytä varmentaa naulausten pitävyys tarvittaessa kiristetään liitokset naulaamalla.

"Motti"lavat ovat kierrätettävissä siinä missä myyrätkin. Irroittamalla päätyjä tukevat kattolaudat (3 kpl) ja irroittamalla päätyjen kiinnitysnaulat lavasta saadaan lavan päätyosat kokonaisina irti. Käytännössä "Motti"lavan osat ovat purettunakin sen verran suuria, että niiden kuljettaminen on hankalaa, kuljettamisessa tarvitaan vähintään henkilöauton perävaunu. Valtaosa asiakkaista sanoi polttavansa kehikkomateriaalit ja lavan.

5 YHTEENVETO

Asiakkaat ovat olleet tyytyväisiä selkeistä polttopuun mitta- ja laatuvaatimuksista. Ostajat voivat luottaa siihen, että polttopuut ovat sopivan kokoisia tulipesään.

Polttopuun pakkaaminen koettiin hyvänä asiana. Tosin pakkaamisesta syntyneisiin kustannuksiin suhtauduttiin nihkeästi. Pienissä pakkauksissa kulut-

tajat vertaavat yksikköhintaa ja tekevät sen perusteella ostopäätöksensä. Myyrä- ja mottilavojen kohdalla asiakas vertaa hintaa yleisiin polttopuun kuutiometrihintoihin, jolloin pakkausmateriaalin ja pakkaamisen kustannukset tulevat esille. Puumäärän yksiselitteinen mittausta kuljetusyksikössä helpottaa polttopuukaupan tekoa ja polttopuun mittauksesta syntyvät reklamaatiot vähenevät.

Polttopuun käytön lisäämisen esteenä ei enää ole se, ettei polttopuuta ole sopivassa pakkausmuodossa saatavilla. Lähinnä käytön lisäämisen esteeksi on noussut polttopuun hinta. Merkittävästi polttopuun hintaa nosti -95 käyttöön otettu arvonnäkövero, joka nosti irrallaan myytävän polttopuun hintaa 22 %. Pakattua puuta verotettiin jo ennen vuotta -95 liikevaihtoverolla 22 %. Tavoitteena on laskea polttopuun arvonnäköveroa kuuteen prosenttiin. Näin polttopuun käyttö kotitalouksien energianlähteenä lisääntyisi.

Valtaosa laatikkoon pakatusta puusta toimitetaan yrittäjiltä huoltoasemille ja rautakauppoihin. Suoraan yrittäjiltä haettavat puumäärät laatikoissa ovat pieniä.

Taajamissa suosituin pakkausmuoto on myyrä, koska sitä on helppo käsitellä. "Motti"-lavat soveltuvat käyttäjille, joiden puuliiterit ovat tilavat ja puuliiterin viereen pääsee autolla.

Saadut tulokset laatikoiden ja myyrien osalta ovat olleet lupaavia, laatikoita on otettu käyttöön vuosina 1994 - 1995 n. 8 000 kpl. Myyriä on asiakaskierrossa n. 100 kpl.

"Motti"-lavan kokoluokassa ilmeni tarve kehittää kuljetusyksikkö, joka on mahdollista täyttää koneellisesti. Koneellisella täytöllä päästäisiin "suurpakkauksissa" kuluttajalle edullisiin hintoihin. Hankkeessa tulisi kehittää sopiva kuljetuskalusto, jolla voidaan suorittaa polttopuun tehokas jakelu asiakkaille. Projektin tulisi kuulua sopivien asutusalueiden kartoitus, joissa voitaisiin toteuttaa esimerkillisesti polttopuuhuolto. Esimerkiksi rakentamalla puuvarastoja tai hyödyntämällä jo olemassa olevia varastotiloja, joiden täytön huolehtivat polttopuun toimittajat. Näin polttopuuta on jatkuvasti ja ennenkaikkea helposti saatavilla.

OSTOPILKKEEN MITTA- JA LAATUVAATIMUSTEN KEHITTÄMINEN - 118

Jouko Mäkelä
Työtehoseura
PL 28
00211 Helsinki
Puh. (90) 2904 1200
Faksi (90) 692 2084

Seppo Tuomi
Työtehoseura
PL 13
05201 Rajamäki
Puh. (90) 2904 1200
Faksi (90) 2904 1285

Abstract: Development of the dimension and quality requirements for purchase chopwood

In total 5.6 million m³ of firewood, mainly a chopwood, was used in Finland for heating of small houses during the heating season 1992/1993. Two thirds of the firewood was acquired from own forests. The share of the purchased firewood was less than one fifth, corresponding to about 1.0 million m³. More than a half of the small house owners, about 750 000, regards the purchase of firewood possible. Ready chopwood is the most desired form of purchase wood.

The main problem in firewood trade is the lack of chopwood measurement and quality requirements. Also the chopwood volume measurement practice is inhomogenous. These things render the development of commercial chopwood markets. This also renders the increment of firewood utilization especially in detached houses, where there are about 1.0 million underutilized fireplaces.

The aim of the project is to promote the firewood trade and customer protection by making a proposal for volume measurement and the quality requirements for chopwood. The work will be carried out on the basis of data, based on field and laboratory measurements and a literature survey. The first part of this three year project was carried out in 1995.

1 TAUSTA

Metsäntutkimuslaitoksen ja Työtehoseuran yhteistutkimuksen mukaan lämmityskaudella 1992/93 pientaloissa käytettiin polttopuuta yhteensä 5,6 milj. m³, josta valtaosa oli pilkettä. Polttopuusta kaksi kolmasosaa hankittiin omasta metsästä. Ostetun puun osuus oli vajaa viidennes eli noin miljoona m³. Ostapuusta 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 lähes 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.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on edistää polttopuukauppaa ja kuluttajasuojaa teke-mällä ehdotus pilkkeen määrän mittauksesta sekä mitta- ja laatuvaatimuksis-ta.

Keskeisimmät tulokset muokataan pilkeyrittäjiä ja pilkkeenostajia palvele-vaksi opaskirjaseksi.

3 TOIMINTA VUONNA 1995

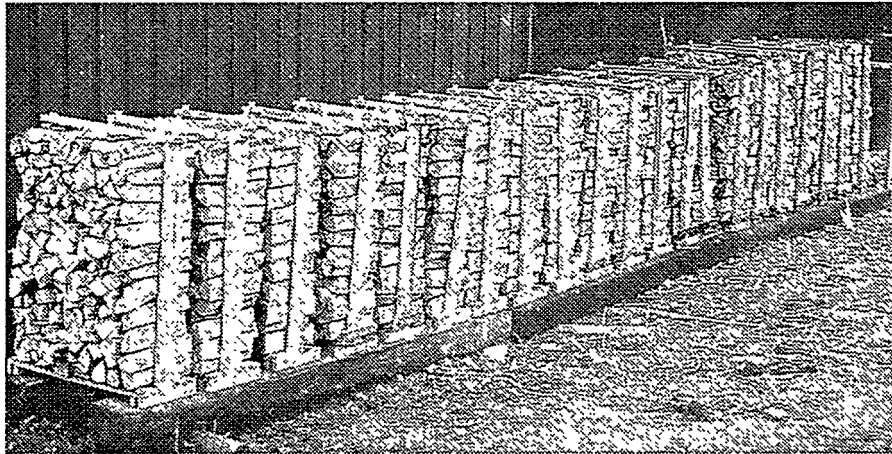
Projektin ensimmäisessä osassa vuonna 1995 selvitettiin perusteita pilkkeen mitta- ja laatuvaatimuksille. Projekti koostui kahdesta osatehtävästä, jotka käsittelivät

- pilkkeen tilavuuden mittausmenetelmiä ja
- pilkkeen kosteuden mittausta.

3.1 PILKKEEN TILAVUUDEN MITTAUSMENETELMÄT

Pilkkeen määrän mittauksessa keskityttiin tilavuusmittauksen tarkkuuteen. Päähuomio kiinnitettiin kiinto-, pino- ja irtotilavuuksien välisiin muuntoker-toimiin sekä niihin vaikuttaviin tekijöihin käytännön pilkekaupan näkökul-masta.

Koska pilkkeiden mittaukseen soveltuu suurelta osin haloista saatava tutki-mustieto, lähtökohtana tarkastelussa käytettiin halkotutkimuksia. Osatyöhön kuuluivat kirjallisuusselvitys sekä suppean empiirisen koeaineiston keruu ja analysointi. Osatyön tulokset julkaistiin Työtehoseuran monisteessa 4/1995.



Kuva 1. Pilkkeiden pinotiiviuden kenttämittauksissa käytettyjä kehikkoja. Kuvat Hannu Pirinen.

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto halon ja pilkkeen pino- ja irtotiiviyksien (kiintotilavuuksien suhde kehystilavuuksiin) vaihtelusta aiempien tutkimusten ja projektissa kerätyn suppean kenttätutkimusaineiston mukaan. Eri tilavuuden mittayksiköiden (m^3 , $p\text{-}m^3$, $i\text{-}m^3$) välisiin muuntokertoimiin vaikuttavat muun muassa raaka-aineen laatu, puun järeys, ladontatapa, kuormaustapa, pilkkeen koko, kosteus ja mittausmenetelmä. Käytännön poltto-
puukaupassa näitä ei oteta yleensä riittävästi huomioon.

Taulukko 1. Halon ja pilkkeen pino-¹⁾ ja irtotiiviyksien²⁾ vaihtelu aiempien tutkimusten ja projektissa kerätyn suppean kenttätutkimusaineiston mukaan.

Tavaralaji ja kasamuodostelma	Aiemmat tutkimukset	Kenttäkokeet
	Tiiviys	
Halko		
- pinottuna	0,50 - 0,76	0,54 - 0,81
Pilke		
- pinottuna	0,64 - 0,77	0,64 - 0,75
- irrallaan	0,35 - 0,50	0,36 - 0,44

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

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

Halon ja pilkkeen pinotiiviyteen vaikuttavista tekijöistä keskeisimpiä on ladontatapa. Kun ladontapa jaetaan kolmeen ladontaluokkaan (tiivis, keskinkertainen ja harva), saattaa pinotiiviyys poiketa erityisesti harvalla ladonnalla tuntuvasti keskimääräisestä (taulukko 2). Käytännön polttopuukaupassa harvaa ladontaa tavattaneen kuitenkin harvoin. Samoin tiivis ladonta edellyttää erityistä huolellisuutta. Ladonnan merkitys käytännön polttopuukaupassa on siten esitettyä pienempi.

Taulukko 2. Halko- ja pilkepinon tiiviyden riippuvuus ladontatavasta aiemmin tehtyjen tutkimusten mukaan.

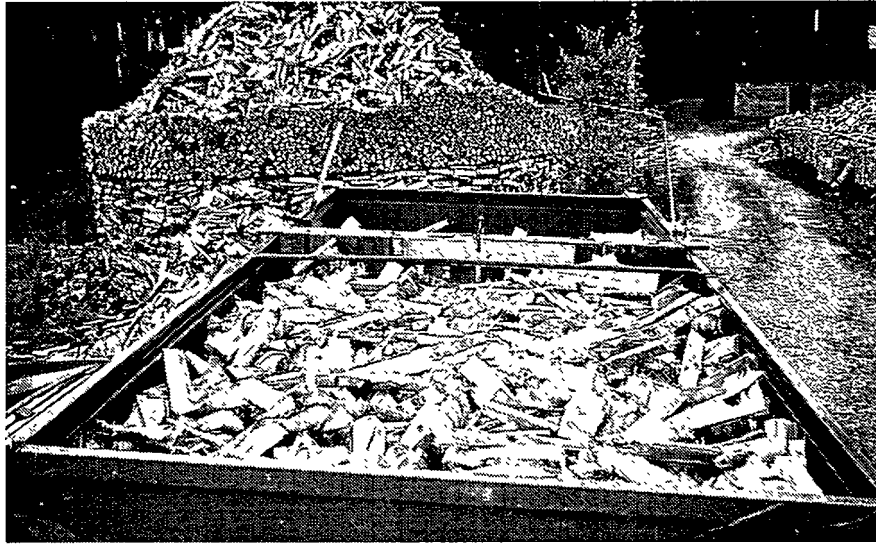
	Ladontatapa		
	Tiivis	Keskinkertainen	Harva
	Pinotiiviyys		
Halko			
- Lehtipuu	0,69	0,63	0,54
- Havupuu	0,68	0,66	0,58
Pilke			
- Lehtipuu	0,72	0,64	0,59
- Havupuu	0,73	0,66	0,59
- Koivu	0,77	0,73	0,65

Pinotiiviyys riippuu myös halon järeydestä ja mutkaisuudesta (taulukko 3). Halkojen pinotiiviyys suurenee järeyden kasvaessa ja pienenee mutkaisuuden lisääntyessä. Pilkkeellä järeyden ja mutkaisuuden vaikutus pinotiiviyteen on halkoa pienempi. Pilkkeen pituuden lyhetessä pinotiiviyys pääsääntöisesti suurenee.

Taulukko 3. Halon pinotiiviyden riippuvuus halon järeydestä ja mutkaisuudesta aiempien tutkimusten mukaan.

Halkolaatu	Keskiläpimitta, cm			
	10	14	18	22
	Pinotiiviyys			
Havupuu				
- Suora	0,67	0,70	0,73	0,76
- Suorahko	0,64	0,67	0,70	0,73
- Mutkainen	0,59	0,62	0,65	0,68
Lehtipuu				
- Suorahko	0,59	0,62	0,65	0,68
- Mutkainen	0,56	0,59	0,62	0,65

Aiempien tutkimusten perusteella pilkkeen irtotiiviys voi vaihdella välillä 0,35 - 0,50. Kenttätutkimusaineiston mukaan irtotiiviys oli 0,36 - 0,44. Pilkkeen irtotiiviys riippuu muun muassa pilkkeen kuormaustavasta. Irtotiiviys on käsin kuormattaessa suurempi kuin pilkontakoneen kuljettimella myyntikuormaan lastattaessa.



Kuva 2. Pilkkeiden irtotiiviuden kenttämittauksessa käytetty lava.

Kenttäaineiston perusteella pilkkeen tilavuuden mittaustapa näytti vaikuttavan pilkkeen irtotiiviyteen. Isolle lavalle lastattaessa irtotiiviys vaihteli välillä 0,41-0,44. Sen sijaan pienempää mittaussaatikkoa käytettäessä irtotiiviys laski 0,36:een. Myös aiemmissa tutkimuksissa on saatu samansuuntaisia tuloksia.

3.2 PILKKEEN KOSTEUDEN MITTAUS

Pilkkeen kosteuden mittausta koskevassa osatyössä kerättiin markkinatiedot kenttäkäyttöön soveltuvista puun kosteusmittareista. Pelkästään polttopuun kosteuden mittaukseen suunniteltuja mittareita ei ollut tarjolla. Markkinoilla olevat mittarit olivat tarkoitettu ensisijaisesti sahatavaralle. Tiedot saatiin viideltä mittarien maahantuojaalta kaikkiaan 20 mallista. Mittareiden arvonlisäverottomat hinnat olivat 1300 - 7000 mk.

Kenttäoloihin soveltuvien kosteusmittareiden toiminta perustui joko puun resistanssin tai kapasitanssin muutosten mittaamiseen. Kun puun tiheys on vakio, resistanssi on suoraan verrannollinen puun kosteuteen ja lämpötilaan. Kalleimmissa malleissa lämpötilan ja puulajin vaikutus mittaustulokseen korjataan automaattisesti. Halvimmissa malleissa puulaji- ja lämpötilakorjaus on tehtävä manuaalisesti korjaustaulukoiden avulla.

Kapasitanssiin perustuvissa mittareissa mitataan puun dielektrisyysvakiota. Dielektrisyysvakio riippuu puun tiheydestä ja kosteudesta, mutta ei merkittävästi lämpötilasta. Kapasitanssiin perustuvissa mittareissa käytetään yleensä pinta-antureita, jolloin kosteus voidaan mitata puun pintaa vahingoittamatta. Resistanssiin perustuvien mittareiden antureina käytetään yleensä ns. piikkiantureita, jotka painetaan puun sisään.

Kolmella kosteusmittarilla tehtiin alustavia pilkkeen kosteuden mittauksia kenttä- ja laboratorio-oloissa. Kokeillut mittarit näyttivät soveltuvan tietyn varauksin kuivan pilkkeen kosteuden toteamiseen. Mittaustarkkuus riippui mittaustavasta ja anturityypistä. Puun kosteuspitoisuuden ylittäessä puunsyöttö kyllästymispisteen, kokeiltujen mittareiden luotettavuus ei ollut kovin hyvä. Kosteuden mittausta koskevat tulokset julkaistaan myöhemmin.

4 SUUNNITELMAT VUODELLE 1996

Vuonna 1996 pilkkeen tilavuuden mittaamenetelmien kenttätutkimusaineistoa täydennetään ja selvitetään myös massaan perustuvien mittausten menetelmien soveltuvuutta pilkkeen määrän mittauksessa.

Kenttäkäyttöön soveltuvien puun kosteusmittareiden tutkimuksia jatketaan kenttä- ja laboratorio-oloissa. Tutkimuksessa keskitytään kokeiltuja mittareita laajemmalla mittausalueella toimiviin mittareihin. Jatkotutkimuksella selvitetään erityisesti näytteenotto- ja mittaustapojen vaikutusta mittaustarkkuuteen. Työllä pyritään vauhdittamaan myös polttopuulle tarkoitettujen kosteusmittareiden kehittämistyötä.

5 ORGANISAATIO JA RAHOITUS

Projektin vastuullisena johtajana toimi Jouko Mäkelä, jonka ohella projekti-ryhmään kuuluivat Seppo Tuomi, Jyrki Kouki ja Hannu Pirinen. Kenttäkokeet tehtiin yhteistyössä Tulipuu Oy:n pilkeyrittäjien kanssa.

Projektin johtoryhmään kuuluivat Jouko Mäkelä, Työtehoseura (puheenjohtaja), Matti Heikurainen, maa- ja metsätalousministeriö, Jari

Marjomaa, Metsäteho, Aki Nevalainen ja Esa Korhonen Tulipuu Oy, Jukka Pietilä MTT/Vakola, Erkki Verkasalo, Metsäntutkimuslaitos ja Seppo Tuomi, Työtehoseura (sihteeri). Johtoryhmä kokoontui kaksi kertaa vuonna 1995.

Vuonna 1995 Bioenergian tutkimusohjelman (maa- ja metsätalousministeriö) rahoitus projektille oli 130 000 mk.

6 RAPORTIT JA JULKAISUT

Pirinen, H. 1995. Pilkkeiden tilavuuden mittaustarkkuus. Työtehoseuran monisteita 4/1995. 48 s.

Julkaisun tekijä(t) Eija Alakangas (toim.)	Tutkimuksen nimi ja numero BIOENERGIA - Koordinointi ja tiedotus 445/881/92; KTM, ENE43202	
Julkaisun nimi Vuosikirja 1995, Osa I, Puupolttoaineiden tuotantotekniikka	Toimeksiantaja Jyväskylän Teknologiakeskus Oy, Bioenergian tutkimusohjelma	
TIIVISTELMÄ Bioenergian tutkimusohjelma on yksi TEKESin energiateknologian tutkimusohjelmista. Ohjelman tavoitteena on teknisen tutkimus- ja kehitystyön avulla lisätä taloudellisesti kannattavan ja ympäristöystävällisen bioenergian käyttöä, parantaa nykyisten puu- ja turvepolttoaineiden kilpailukykyä ja kehittää uusia kilpailukykyisiä polttoaineita sekä bio-energiaan liittyvää laitetekniikkaa. Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus oli vuonna 1995 lähes 52 milj. mk ja projekteja oli vuoden 1995 lopussa käynnissä 66. Bioenergia-tutkimusohjelman tavoitteena on puupolttoaineiden tuotantotekniikan osalta kehittää uusia puupolttoaineen tuotantomenetelmiä, joilla tuotettu polttoaine on kilpailukykyistä tuontipolttoaineisiin nähden (tuotantokustannukset käyttöpaikalla suorkäyttäjälle noin 45 mk/MWh) ja yhteenlaskettu käyttöpotentiaali vähintään 1 milj. toe/a. Puupolttoaineiden tuotannon tutkimusalueella oli vuonna 1995 käynnissä kaikkiaan 31 projektia. Niistä oli tutkimuslaitosprojekteja 14, yritysprojekteja 8 ja demonstraatio- ja selvitysprojekteja 9. Pääosa projekteista oli aloitettu jo tutkimusohjelman käynnistämivuonna, ja olivat nyt loppuvaiheessa. Puupolttoaineiden tuottaminen ensiharvennuksista integroidusti teollisuuden ainespuun kanssa oli aiheena 14:ssä projektissa. Hakkuutähteiden talteenottoa tutkittiin ja hakkuutähdehakkeen tuotantokalustoa kehitettiin 10:ssä projektissa. Muita aiheita olivat polttopuun tuotanto, puupolttoainevaroja koskevat selvitykset ja hankintalogistiikka. Uutena hankkeena käynnistyi mm. energiapuun talteenoton mahdollisuuksia taimikonhoitokohteista koskeva tutkimus. Merkittävimpiä tutkimus- ja kehitystyön tuloksia ovat tiedot ensiharvennuspuun ominaisuuksista teollisuuden raaka-aine- ja polttokäytön kannalta, kokopuuhakkeen puhdistuksessa MASSAHAKE-menetelmää soveltavan demonstraatiolaitoksen käynnistyminen, kuorma-autoalustaisen ketjukarsinta-kuorintayksikön valmistuminen, ketjukarsintarumpukuorinta-pilotlaitoksen käynnistyminen, uudentyypisen logistiikan tarjoavan MOHA-SISU-monitoimihakkuri-auton valmistuminen sekä laajamittaisen polttohaketuotannon saattaminen käyntiin Mikkelin seudulla.		
Avainsanat biomassa, bioenergia, biopolttoaineet, puupolttoaineet, hake, korjuu, hakkuutähteet, metsät, kustannukset, logistiikka, tutkimusprojektit, BIOENERGIA-tutkimusohjelma		
ISSN 1236-4738	Avainnimeke Julkaisuja - Bioenergian tutkimusohjelma	ISBN 952-9500-75-0
Kokonaissivumäärä 332 s.	Kieli suomi, englanninkieliset tiivistelmät	Hinta 330 mk
Jakelu Julkaisija ja Bioenergian tutkimusohjelma		UDK 662.711.73: 662.63: 630*31

Author(s) Eija Alakangas (ed.)	Name of project and number Bioenergy - Coordination and information dissemination 445/881/92; KTM, ENE43202	
Title Yearbook 1995, Part I, Production of wood fuels	Commissioned by Jyväskylän Teknoliakeskus Oy, Bioenergy Research Programme	
ABSTRACT Bioenergy Research Programme is one of the energy technology research programmes of the Technology Development Center TEKES. The aim of the Bioenergy Research Programme is to increase, by using technical research and development, the economically profitable and environmentally sound utilization of bioenergy, to improve the competitiveness of present wood and peat fuels, and to develop new competitive fuels and equipment related to bioenergy. The funding for 1995 was nearly 52 million FIM, and the number of projects 66. The main goal of the production of wood fuels research area is to develop new production methods in order to decrease the production costs to the level of imported fuels. The total potential of the wood fuel use should be at least million toe/a (5.5 million m³). During the year 1995 there were over 30 projects concerning the production of wood derived fuels going on. Nearly half of them focused on integrated production of pulp wood and wood fuel. About in ten projects work was carried out to promote wood fuel production from logging residues. Other topics were fire wood production, production logistics and wood fuel resources. For production of fuel chips from logging residues, a new chipper truck, MOHA-SISU, was introduced. The new machine gives a new logistic solution resulting in high productivity and reasonable operating costs. In Mikkeli region three years of active work promoted the usage of wood fuel in a district power plant to the level of over 110 000 cubic metres of fuel chips. The production costs tend to be a little high in average, and the production chain still needs to be improved. In the field of integrated production a great stride was taken when the first demonstration plant using the MASSA-HAKE method started up. Components of the production line and knowledge to operate the process have increased resulting in good performance of the plant. And even another concept for integrated production was introduced. In order to fully control the debarking of small sized trees, a production line of chain flail equipment and debarking drum followed by a chipper and screening was built up. Equipment and machines for harvesting young stands in a way that increases substantially the yield of energy component are still mostly first prototypes. The development of them into well functioning, efficient tools is the most important task in integrated production.		
Keywords biomass, bioenergy, biofuels, wood fuels, chips, harvesting, logging residues, forests, costs, logistics, research projects, BIOENERGY research programme		
ISSN 1236-4738	Series title Publications - Bioenergy Research Programme	ISBN 952-9500-75-0
Pages 332 p.	Language Finnish, English abstracts	Price FIM 330
Distribution Publisher and Bioenergy Research Programme		Classification 662.711.73: 662.63: 630*31