

Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001



PUJENERGIA



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
ESPOO 2001

Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001

Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari

Jyväskylä, 5.–6.9.2001

Toimittaja

Eija Alakangas

VTT Energia

Seminaarin järjestäjä

VTT Energia



ISBN 951-38-5722-0 (nid.)

ISSN 0357-9387 (nid.)

ISBN 951-38-5723-9 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0873 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Energia, Energian tuotanto, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
puh. vaihde (014) 672 611, faksi (014) 672 597

VTT Energi, Energiproduktion, Koivurannantie 1, PB 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
tel. växel (014) 672 611, fax (014) 672 597

VTT Energy, Fuel Production, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ, Finland
phone internat. + 358 14 672 611, fax + 358 14 672 597

Kannen kuvat: UPM-Kymmene Oyj, Kesla Oyj, Metsäteho Oy ja Alholmens Kraft Oy

Otamedia Oy, Espoo 2001

Esipuhe

Puuenergian teknologiaohjelma on saavuttanut elinkaarensa puolivälin. Ohjelman käynnistyessä vuonna 1999 tavoitteena oli metsähakkeen käytön viisinkertaistaminen vuoteen 2004 mennessä. Tässä ohjelma voi tukeutua kansallisen ilmastostrategian pyrkimyksiin. Toisena tavoitteena on auttaa muita maita bioenergiankäytön lisäämispyrkimyksissä tarjoamalla heille koeteltua ja kilpailukykyistä teknologiaa kannolta kattilaan -periaatteella.

Metsähakkeen käytön lisääntymisen toteamiseksi ohjelma on kehittänyt mittareita ja niitä julkaistaan jatkossa osana metsätilastointia. Luvut ovat kasvussa. Bioenergiaa käyttävien voimalaitosten valmistumistahti lupaa oikeansuuntaista kehitystä myös lähivuosina. Ohjelma on hakenut polttoaineen tuotantoketjujen kustannustehokkuutta, laatua ja toimitusvarmuutta parhain tutkijavoimin ja yritysten kokemuksiin peilaten.

Alan tunnetut laitevalmistajat on saatu ohjelmaan hyvin mukaan. Lisäksi alan hyväksi on purkautunut melkoinen määrä pk-yrityksiin sitoutunutta innovatiivisuutta. Uuden teknologian käyttöä on opeteltu kotimaassa, mutta suuntaus on myös vientimarkkinoilla. Kattilavientitoimituksiin verkottuu monipuolinen osaajajoukko, jota nyt myös metsäenergian korjuukoneiden valmistajat voivat täydentää. Pienemmässä kokoluokassa tulisijat ja vaikka polttopuun käsittelykoneet tuovat vientituloa satoja miljoonia vuodessa. Kiristyvät päästömääräykset vaativat myös pienten tulisijalaitteiden valmistajia kehitystyöhön, muuten markkinat karkaavat alta.

Toivottavasti positiivinen kehitysote säilyy ja yritykset etenevät toisen aallon kehityshankkeisiin verkottuen keskenään ja hakien yhteistyöosapuolia myös ulkomailta. Tähän esimerkiksi EU:n 5. puiteohjelman energiaosio tarjoaa hyviä mahdollisuuksia. Eurooppalainen tutkimusaluekonsepti (ERA) on siinä uusin avaus. Mm. bioenergia-alueella on käynnistymässä yhteishanke, jossa tutustutaan eri maiden bioenergiateknologian tasoon ja tarpeisiin tulevaisuudessa. Samalla haetaan tiiviimpää yhteistyötä kansallisten kehitysohjelmien välille. Puuenergian teknologiaohjelma on suunnannut katseensa suuren mitan metsähaketuotannon ja -käytön osalta Ruotsiin, missä paikallinen energiaviranomainen STEM on ilmaissut halunsa yhteistyöhön. Mutta kaikessa yhteistyössä

tutkijan tai yrityksen on löydettävä oma kumppaninsa eikä ohjelma voi siihen pakottaa.

Energiapuun korjuusta aiheutuu metsiin seurannaisvaikutuksia, jotka näkyvät vasta pitkän ajan kuluttua. Toisaalta se voi kilpailla ainespuun kanssa, ja ainespuun käytön muutoksilla on vaikutusta energiakäyttöön tarjolla olevien sivutuotteiden määrään. Puuenergian teknologiaohjelma ei ehkä ole oikea paikka ratkoa tällaisia isoja kysymyksiä, vaan se tarkastelee nimensä mukaan asioita energiateknologiapainotteisesti. Kun ohjelmaan osallistuu toistakymmentä tutkimuslaitosta ja lähes 50 yritystä tai muuta toimijaa lisättynä ulkomaisen verkoston kontakteilla, on mahdollista ylläpitää kriittistä suhtautumista tutkimustuloksiin ja viedä alan kehitystä eteenpäin kestäväällä pohjalla.

Kesäkuussa 2001

Heikki Kotila, Teknologian kehittämiskeskus

Sisällys

Esipuhe <i>Heikki Kotila, Tekes</i>	3
Puuenergian teknologiaohjelman katsaus 1999–2001 <i>Pentti Hakkila, VTT Energia</i>	11
TUOTANNON SUUNNITTELU	
Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka – PUUT01 <i>Antti Asikainen & Juha Laitila, Joensuun yliopisto</i> <i>Tapio Ranta, VTT Energia</i>	47
Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä – PUUT02 <i>Pekka Mäkinen, Metsäntutkimuslaitos</i>	61
Hakkuutähteen määrän arviointi koneellisen puunkorjuun yhteydessä – PUUT03 <i>Pertti Harstela & Nuutti Kiljunen, Joensuun yliopisto,</i> <i>metsätieteellinen tiedekunta</i>	69
Metsähakkeen korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet ensiharvennuksissa – PUUT04 <i>Matti Siren, Vesa Tanttu & Hannu Aaltio, Metsäntutkimuslaitos,</i> <i>Vantaan tutkimuskeskus</i>	77
Rajanveto aines- ja energiapuun välillä – PUUY11 <i>Hannu Kivelä, JP Management Consulting (Europe)</i>	95
Työsuoritteen määrittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksessa – PUUY22 <i>Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy</i>	103

Esiselvitys verkkoliiketoiminnan mahdollisuuksista Suomen energiapuumarkkinoilla – PUUY23	109
<i>Jaakko Jokinen, Anna Mälkönen & Hannu Kivelä, JP Management Consulting (Europe)</i>	
TUOTANTO	
Kaksivaiheisen murskaimen kehittäminen puun energiajakeen tuottamiseksi – PUUT12	115
<i>Arvo Leinonen, Jouko Aalto & Juha Korpi, VTT Energia</i>	
Menetelmä nuorten metsien harvennukseen – PUUY01	131
<i>Jarmo Hämäläinen & Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy</i>	
Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02	137
<i>Antti Korpilahti, Metsäteho Oy</i>	
Teollisten metsähaketusten erikoishakkuri – PUUY03	153
<i>Tommi Lahti, LHM-Hakkuri Oy</i>	
Hakkuutähteen käyttöpaikkamurskaukseen perustuva tuotantomenetelmä – PUUY04	159
<i>Seppo Paananen, UPM-Kymmene Oyj Metsä Samuli Rinne, YTY-konsultointi</i>	
Terminaalihakkeen tuotantotekniikka – PUUY06	165
<i>Jaakko Silpola, Vapo Oy</i>	
Metsäenergiakeruukoneen kehitys ja koelaittevalmistus – PUUY13	171
<i>Kauko Helevirta, Sakari Pinomäki Ky</i>	
Haketta tuottavien koneiden suunnittelu ja valmistus – PUUY18	175
<i>Jorma Issakainen, Kesla Oyj</i>	

Hakkuutähteen tiivistykseen perustuvan niputuslaitteiston kehittäminen – PUUY16	177
<i>Fredrik Pressler, Biowatti Oy</i>	
<i>Ismo Nousiainen, VTT Energia</i>	
Hakkeen hankinnan työvaiheiden kehittäminen, lähikuljetus ja hakkeen varastointi – PUUT13	181
<i>Matti Hämäläinen & Panu Pankakari, Savonlinnan Ammatillinen Aikuiskoulutuskeskus (SAKKE)</i>	
Hakkuutähteen kuljetuksen täysperävaunuyhdistelmä – PUUY14	189
<i>Jaakko Silpola, Vapo Oy</i>	
Metsähakkeen autokuljetuksen logistiikan ja kuljetuskaluston kehittäminen – PUUT20	193
<i>Tapio Ranta, Pertti Frilander & Anu Vesisenaho, VTT Energia</i>	
<i>Antti Asikainen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus</i>	
<i>Kari Väätäinen, Joensuun yliopisto</i>	
<i>Kari Luostarinen & Mika Laihanen, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu</i>	
Metsien biomassan nostaminen todelliseksi uusiutuvan energian vaihtoehdoksi – FORPOWER – PUUY12	209
<i>Arto Timperi, Plustech Oy</i>	
Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjäverkostosta hakkeen tuottamisessa – PUUY15	215
<i>Mikko Jäkälä, Koneyrittäjien liitto ry</i>	
Puupolttoaineklinikka – PUUY07	231
<i>Dan Asplund & Pirjo Nikku, Jyväskylän Teknologiateollisuus Oy</i>	
Risutukkitekniiikan edellytykset suurimittaisessa puupolttoainehankinnassa – PUUY19	241
<i>Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy</i>	

Hakkuutähteen hankinnan ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä – PUUY21	247
<i>Timo Hartikainen, Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd</i> <i>Heikki Karppinen, Metsäkeskus Pohjois-Karjala</i>	
LAATU JA KÄYTTÖ	
Ensiharvennuspuun hyödyntäminen – PUUT06	257
<i>Raimo Alén, Marian Marttina, Teppo Parikka, Riikka Rautiainen &</i> <i>Jaakko Toivanen, Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto</i>	
Erilaisten korjuuketjujen tuottaman metsähakkeen käyttö suurten voimaloiden leijukerroskattiloissa – PUUT08	273
<i>Markku Orjala & Riikka Ingalsuo, VTT Energia</i>	
Hakkuutähteiden laadunhallinta – PUUT09	285
<i>Kari Hillebrand, VTT Energia</i> <i>Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos</i>	
Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen – PUUT15	297
<i>Raija Kuoppamäki, VTT Energia</i>	
Kiinteän polttoaineen varastoinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus- ja syöttöjärjestelmän kehittäminen – PUUY08	309
<i>Antti Nurmi, BMH Wood Technology Oy</i>	
Puupolttoaineille soveltuvat vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät – PUUT19	315
<i>Risto Impola, VTT Energia</i>	
Puupolttoaineen laadun ja tuotantotehokkuuden parantaminen haketustekniikkaa kehittämällä – PUUT18	329
<i>Veli Seppänen, Jouko Aalto, Seppo Kovanen, Lauri Nikala,</i> <i>Ismo Nousiainen & Heikki Vartiala, VTT Energia</i> <i>Jorma Salonen, VTT Valmistustekniikka</i>	

Metsäteollisuuden vastapainevoimantuotannon tehostaminen – PUUT17 <i>Pekka Ahtila, Teknillinen korkeakoulu</i>	343
Kehityspuuteohjelma Oy Alholmens Kraft Ab:n biopolttoaineiden tuotantomenetelmien, vastaanoton ja varastoinnin kehittämiseksi sekä polttoprosessin optimoimiseksi – PUUY20 <i>Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy</i>	345
Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käytettävyyteen – PUUT24 <i>Markku Orjala & Riikka Ingalsuo, VTT Energia</i>	349
Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden seospolton savukaasu- päästöt – esitutkimus – PUUT25 <i>Raili Vesterinen, VTT Energia</i>	355
SEURANNAISVAIKUTUKSET	
Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10 <i>Timo Saksa, Leo Tervo & Kari Kautto, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema</i>	359
Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien hankekokonaisuus – PUUT11 <i>Helena Mälkki, Tiina Harju & Yrjö Virtanen, VTT Kemiantekniikka</i>	379
Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä – PUUT14 <i>Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos</i>	399
Suopohjien metsitys hiilinieluisiksi ympäristövaikutukset halliten – PUUY17 <i>Pirkko Selin, Virpi Käyhkö, Jari Marja-aho & Veijo Klemetti, Vapo Oy Energia</i>	407

Puuenergian käyttö ja kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen
– PUUT22 417

Margareta Wihersaari & Sampo Soimakallio, VTT Energia

Puupolttoaineiden radioaktiivisuuden vaikutus tuhkan käyttöön
– PUUT23 421

*Riitta Hänninen, Seppo Klemola, Aino Rantavaara,
Tuomas Valmari & Virve Vetikko, Säteilyturvakeskus STUK*

KANSAINVÄLISET PROJEKTIT

IEA Bioenergy – tärkein yksittäinen t&k-toiminnan kansainvälinen
verkottumiskanava 427

Yrjö Solantausta, VTT Energia

IEA Bioenergy – techno-economic assessments for bioenergy applications,
Task 35 – PUUT16 433

Yrjö Solantausta, VTT Energia

Puuenergian teknologiaohjelman katsaus 1999–2001

Pentti Hakkila
VTT Energia
PL 1604, 02044 VTT
Puh. 0400-208789, faksi 09-456 5000
e-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Wood Energy Technology Programme

The Wood Energy Technology Programme of Tekes, National Technology Agency, focuses on developing the production technology of forest chips from logging residues and small-sized trees. The Programme is one of the tools of the Ministry of Trade and Industry for substituting renewable sources of energy for fossil fuels. It is aimed to reduce the cost and improve the quality of forest chips. Quality control of wood and bark residues from the forest industries is also included.

In June 2001, the Programme consisted of 26 research institute projects, 24 industrial projects and 12 demonstration projects. The total expenditure for the ongoing 50 research and development projects will be 86.1 million FIM (14.5 M€) and that for the demonstration projects 39.9 million FIM (6.7 M€).

The Programme also participates in international co-operation such as the ALTENER Bioenergy Network-AFBnet, OPET network (Organization Promoting for Energy Technologies) of EU, and Task 31 (Conventional Forestry Systems for Sustainable Production of Bioenergy) of the IEA Bioenergy Agreement.

More information about the Programme, approved projects, progress and results is published in magazines, journals, seminar proceedings, this yearbook of the Programme and in the website of Tekes (www.tekes.fi/english/programm/wood-energy).

1. Ohjelman tavoite ja organisaatio

Suomi on sitoutunut palauttamaan kasvihuonekaasujen päästöt vuonna 1990 vallinneelle tasolle vuoteen 2010 mennessä. Koska pääosa kasvihuonekaasupäästöistä koostuu fossiilipolttoaineista energiantuotannossa vapautuvasta hiilidioksidista, päästöjen vähentäminen edellyttää, että fossiilipolttoaineitten käyttöä supistetaan ja korvataan uusiutuvilla energialähteillä.

Kauppa- ja teollisuusministeriön laatiman uusiutuvien energialähteitten edistämishjelman tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian käyttö vuoden 1995 tasolta 4,9 Mtoe vuoteen 2010 mennessä tasolle 8 Mtoe. Peräti 90 % kasvusta on arvioitu saavutettavan bioenergian, lähinnä puuperäisten polttoaineitten avulla (Uusiutuvien... 1999). Niistä pääosa koostuu metsäteollisuuden prosessitähteistä (mustalipeä, kuori, puru ym.), mutta myös metsäpolttoaineitten käytölle on asetettu mittava kasvutavoite. Metsähakkeen tuotanto kasvaisi vuoteen 2010 mennessä 5 miljoonaan m³:iin (kiintokuutiometriin) vastaten lämpöarvoltaan 0,9 Mtoe.

Yksi niistä keinoista, joilla valtiolta etenee kohti asettamaansa tavoitetta, on Tekesin Puuenergian teknologiaohjelma vuosina 1999–2003. Ohjelman konkreettisena tavoitteena on tukea markkinakelvottomasta pienpuusta ja hakkuutähteestä tehdyn metsähakkeen tuotannon kasvua tutkimuksella, kehitystyöllä, käytännön demonstraatioilla ja tiedonvälityksellä niin, että metsähakkeen tuotanto ja käyttö viisinkertaistuisivat ohjelman viiden vuoden aikana nousten tasolle 2,5 milj. m³ vuonna 2003.

Tekesissä ohjelmasta vastaa tutkimuspäällikkö Heikki Kotila. Tekes on nimittänyt ohjelmaa koordinoivaksi organisaatioksi Motiva Oy:n, joka toimii yhteistyössä VTT Energian kanssa. Ohjelmapäällikkönä toimii professori Pentti Hakikila, koordinaattorina tutkija Kati Veijonen ja tiedottajana tuotepäällikkö Eija Alakangas VTT Energiasta. Ohjelma koostuu tutkimuslaitos-, yritys- ja demonstraatiohankkeista.

Ohjelmalla on johtoryhmä, joka kokoontuu neljästi vuodessa. Sen tehtävänä on tukea, ohjata ja suunnata tutkimus- ja kehitystyötä sekä edistää tiedon kulkua ohjelman ja käytännön toimijain välillä. Johtoryhmässä ovat edustettuina Tekes, KTM, MMM, yksityismetsätalous, metsäkoneyrittäjät sekä yhteensä 8 yritystä

metsäteollisuuden, energian tuotannon ja laitevalmistuksen toimialoilta (liite 1). Johtoryhmän puheenjohtajana on toimitusjohtaja Pekka Laurila Biowatti Oy:stä ja varapuheenjohtajana suunnittelupäällikkö Seppo Paananen UPM-Kymmene Oyj:stä.

2. Ohjelman hankkeet ja tuloksista tiedottaminen

Metsiemme biomassareservit ja käytössä, rakenteilla tai suunnitteilla oleva lämpö- ja voimalaitoskapasiteetti ovat riittävät tavoitteen toteuttamiseksi. Käytön kasvua jarruttavat kuitenkin metsähakkeen korkea kustannustaso, toimitusorganisaatioitten riittämättömyys, puupolttoaineitten vastaanotto- ja käsittelyongelmat sekä polttoaineen epätydyttävä laatu.

Ohjelma on suunnattu ratkaisemaan edellä mainittua ongelmavyöhyttä. Samalla kun tähdätään tuotanto- ja käsittelykustannusten alentamiseen ja tuotteen laadun parantamiseen, otetaan painokkaasti huomioon myös ympäristön ja kestävä metsätalouden tarpeet. Toukokuussa 2001 ohjelma sisälsi yhteensä 50 hanketta, joista vanhimmat ovat jo päättyneet (liite 2). Hankkeitten aihepiiri nähdään seuraavasta.

Aiheryhmä	Tutkimuslaitos- hanke	Yritys- hanke
	Lukumäärä	
Tuotannon suunnittelu, organisointi, logistiikka	5	4
Haketus ja murskaus	2	3
Tuotantojärjestelmät, kuljetus ym.	2	10
Laadunhallinta, varastointi ym.	4	-
Hakkeen vastaanotto, käsittely	1	4
Hakkeen käyttö	5	1
Seurannaisvaikutukset ympäristössä ja metsätaloudessa	6	1
Muut	1	1
Yhteensä	26	24

Kesäkuun 2001 alkuun mennessä oli käynnistyneitten tutkimuslaitos- ja yritys-hankkeitten kokonaiskustannusarvio on 86,1 milj. mk, josta Tekesin osuus on

46,1 milj. mk Ohjelmaan liittyy myös demonstraatiohankkeita, joita oli käynnistetty vuoden 2000 loppuun mennessä 12. Niihin liittyvien investointien kokonaiskustannusarvio on 39,9 milj. mk, josta kauppa- ja teollisuusministeriön tuki kattaa 9,4 milj. mk.

Tekesin hankkeitten lisäksi ohjelman johtoryhmä on rahoittanut seuraavat 6 selvitystä, joista 2 ensimmäistä on valmistunut:

- Hakkuutähdehakkeen korjuun ohjeistaminen
- Metsähakkeen käyttökartoitus vuodelta 1999
- Puuenergian käyttö ja tutkimus EU-maissa
- Esiselvitys kanto- ja juuripuun polttoainekäytön mahdollisuuksista
- Puupolttoaineitten vaikutus voimalaitoksen käyttötalouteen
- Pellettien tuotantokustannukset eri laitoskytkenöillä.

Ohjelman projektien tuloksia on raportoitu mm. Metsäntutkimuslaitoksen, VTT:n ja Metsätalouden kehittämiskeskuksen Tapion julkaisusarjoissa. Ohjelman tuloksia raportoidaan ohjelman keväällä pidetyissä tutkijaseminaarissa ja syksyllä pidetyssä vuosiseminaarissa. Ohjelman kaikki projektit raportoidaan vuosikirjassa, joka julkaistaan VTT:n Symposium-sarjassa ja on tulostettavissa myös VTT:n verkkosivuilta (<http://www.inf.vtt.fi/pdf/symposiums/2000/S205.pdf>). Vuoden 2000 vuosiseminaarin yhteydessä järjestettiin myös kansainvälinen seminaari yhdessä Tekesin koordinoiman OPET-verkoston (Organisations for Promoting Energy Technologies) kanssa. Kansainvälisen seminaarin julkaisu on saatavilla myös VTT Symposium-sarjassa VTT:n Internet-sivuilta <http://www.inf.vtt.fi/pdf/symposiums/2001/S208.pdf>. Ohjelman vuosiseminaari oli yhdistetty myös METKO-metsämessujen yhteyteen johon teknologiaohjelma osallistui FINBION organisoiman bioenergia-alan toimijoiden yhteisosastolla. Ohjelmassa kehitettyjä koneita on esitelty METKOn lisäksi mm. Finbion bioenergiapäivillä marraskuussa 2000 (Giant hakkuri), Elmia Wood näyttelyssä toukokuussa 2001 (Kesla Oy:n ja S. Pinomäki Oy:n hakkurit sekä Timberjackin paalain) ja LUSTOn Metsäkuulttuuripäivillä kesäkuussa 2001 UPM:n osastolla

mm. paalain sekä Biowatin organisoimat työnäytökset. Puuenergiaohjelma osallistui LUSTOn Motivan järjestämällä Puusta Energiaa osastolla. Metsämuseo LUSTOon on myös toimitettu Puuvoima-näyttelyyn ohjelman tutkimuskohteena olevien hakkuutähdehakkeen korjuuketjujen piirroskuvat. Puuvoima-näyttely on avoinna 16.5.2001–14.4.2002.

Ohjelman tuloksien pääjulkaisukanavana on ollut Puuenergia-lehti, jonka joka numeroon on kirjoitettu ohjelmasta vähintään yksi artikkeli. Lisäksi tuloksista on laadittu artikkeleja Teho- ja Koneyrittäjä-lehtiin. Ohjelman koordinaatio-organisaatio on antanut haastatteluja tiedotusvälineille ja tuloksista on laadittu 18 artikkelia elokuun 2000 jälkeen (ohjelman tiedossa olevat). Eniten artikkeleja on julkaistu metsähakkeen käyttökartoituksesta sekä yleisartikkeleja korjuumenetelmien kehittämisestä ja ohjelman tavoitteista. Ohjelmasta on julkaistu artikkelit myös englannin-, saksan- ja ranskankielisenä mm. Finnfacts- ja Bois Energie-lehdissä. Teknologiakatsauksia laadittiin yhdessä OPET-verkoston kanssa mm. Alholmens Kraftin voimalaitoshankkeeseen sekä siihen liittyvistä korjuumenetelmien kehittämisestä.

Ohjelman ajankohtaiset asiat; seminaarit, vuosikirjat, projekti- ja julkaisuluettelot yms. julkaistaan ohjelman verkkosivuilla (www.tekes.fi/ohjelmat/puuenergia).

Kansainvälisestä yhteistyöstä on tehty sekä OPET-verkoston että ALTENER-ohjelman bioenergiaverkoston AFBnetin kanssa. AFBnetin kautta on tiedotettu ohjelmasta 20 Euroopan maahan sekä julkaistu käyttökartoituksen tulokset englanninkielisenä. Lisäksi OPET-verkoston kautta on välitetty tietoa puuenergian korjuuketjuista ja puun käyttökohteista sekä laadittu teknologiakatsauksia.

3. Metsähakkeen käyttö kasvaa

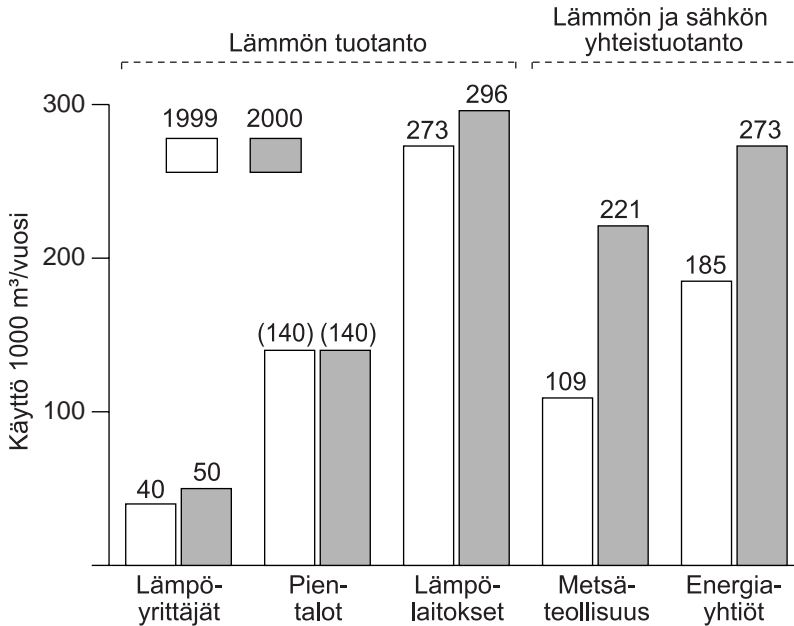
Metsäteollisuuden raaka-aineeksi ohjautuvan puun ensi- ja myös toisasteinen käyttö tilastoidaan Suomessa tarkoin, mutta puun energiakäyttö on tähän saakka jäänyt metsätilastojen ulkopuolelle, vaikka noin 45 % metsistämme korjatusta puubiomassasta päätyy ennemmin tai myöhemmin polttoaineeksi. Metsähakkeaan ei siis ole ollut säännöllisen tilastoinnin piirissä. Sen runkopuuosite on merkitty tilastoissa hakkuutähdeksi, ja oksat taas eivät ole milloinkaan olleet mis-

sään muodossa tilastoinnin kohteena. Ohjelman ja hankkeitten suuntaamisen kannalta on kuitenkin tärkeitä seurata, miten metsähakkeen käyttö kehittyy.

Puuenergian teknologiaohjelma kartoitti metsähakkeen käyttötilanteen vuonna 1999 (Hakkila, Nousiainen ja Kalaja 2001 a). Tulokset on raportoitu myös englanninkielisenä yhteistyössä ALTENER-ohjelman bioenergiaverkoston AFBnet kanssa. Sittenkin Metsäntutkimuslaitos on ottanut ohjelmaansa metsähakkeen ja muitten kiinteitten puupolttoaineitten käytön tilastoinnin. Vuotta 2000 koskevat seurantatulokset ovat jo ilmestyneet (Ylitalo 2001), ja vastedes ne julkaistaan vuosittain erillisenä metsätilastotiedotteena. Selvityksen mukaan metsähakkeen käyttö on suurinta Keski-Suomen, Pirkanmaan ja Etelä-Suomen metsäkeskusten alueella. Kokonaiskäyttö on pientalot mukaan luettuina kehittynyt seuraavasti:

	Käyttö, m ³ /vuosi
Ohjelman käynnistyessä esitetty arvio vuodelle 1998	500 000
Selvitys vuodelta 1999 (VTT ja Metla)	766 000
Selvitys vuodelta 2000 (Metla)	932 000
Puuenergiaohjelman tavoite vuodelle 2003	2 500 000
Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman tavoite 2010	5 000 000

Metsähakkeen käyttö on kasvussa, mutta kasvuvauhti ei ole vielä niin nopeata kuin tavoitteenasettelu näyttäisi edellyttävän. Koska energiainvestoinnit ovat pitkäjänteisiä, muutokset eivät voi toteutua käden käänteessä. Metsähakkeen tuotanto- ja jakeluorganisaatiot kuitenkin kehittyvät hyvää vauhtia, uutta puupolttoaineille soveltuvaa käyttökapasiteettia on valmistumassa ja lukuisat vanhat laitokset ovat mukauttaneet tai mukauttamassa vastaanotto- ja polttojärjestelmänsä myös puupolttolaitteille. On odotettavissa, että metsähakkeen käytön kasvuvauhti kiihtyy lähivuosina.



Kuva 1. Metsähakkeen käyttäjät. Pientalojen osalta on kysymyksessä arvio, kun ajantasaista selvitystä ei ole käytettävissä.

Kuva 1 osoittaa, että pääosa kasvusta suuntautuu nyt lämmön ja sähkön yhteistuotantoon. Kasvu on ripeätä sekä varsinaisissa energiayhtiöissä että metsäteollisuudessa, missä UPM-Kymmene on ylivoimaisesti tärkein metsähakkeen käyttäjä. Sen sijaan pelkässä lämmön tuotannossa kasvu jäi vuonna 2000 vaatimattomaksi.

Ohjelman yritys- ja tutkimuslaitoshankkeet palvelevat tällä hetkellä ensi sijassa metsähakkeen suurtuotantoa ja -kulutusta, siis nimenomaan lämmön ja sähkön yhteistuotantoa. Painotusta voidaan perustella sillä, että kasvuodotukset kohdistuvat aivan erityisesti juuri tähän käyttäjäryhmään. Mutta esimerkiksi uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa on asetettu huomattava kasvutavoite myös pienimittaiselle käytölle, ja sen vuoksi metsäpolttoaineitten pientuotannon ja -käytön lisäämiseen tähtävä tutkimus-, kehitys- ja edistämistyötä tullaan tehostamaan. Tekes on tilannut VTT Energialta selvityksen, jonka pohjalta jatkotoimenpiteet ratkaistaan vielä kuluvan vuoden aikana.


4. Kustannusten alentaminen

Metsiemme biomassapotentiaali, lämpö- ja voimalaitosten käyttöpotentiaali sekä toimijain asenteet mahdollistavat metsähakkeen käytön moninkertaistamisen. Ylitettävänä on kuitenkin monia esteitä. Keskeistä osaa näyttelee metsähakkeen heikohko kustannuskilpailukyky, jonka paraneminen edellyttää vaihtoehtoisten polttoaineitten hinnan nousua tai metsähakkeen hinnan laskua. Viimeksi kuluneen vuoden aikana öljyn ja sen mukana myös maakaasun hinnat ovat nousseet.

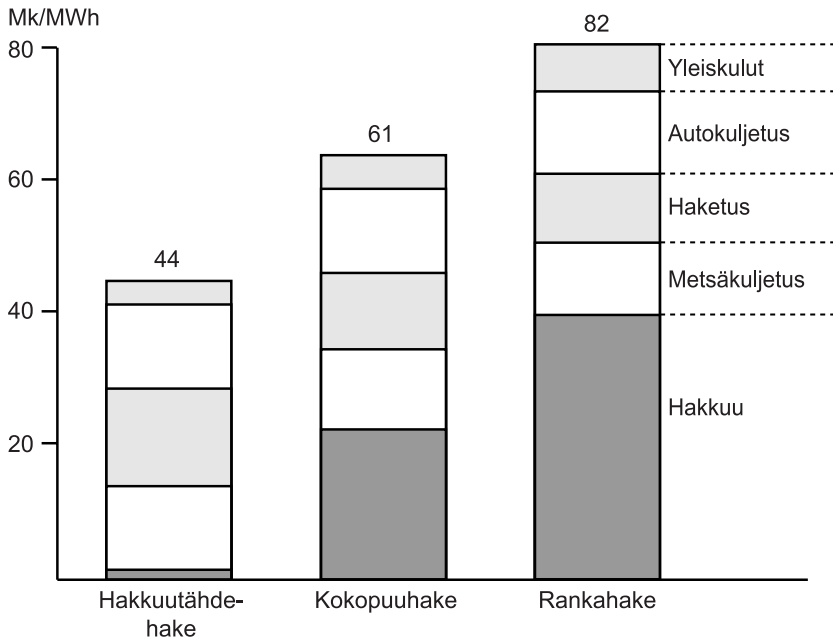
Metsähakkeen hinta laski voimakkaasti koko 1990-luvun ajan. Hinnan laskun tekivät mahdolliseksi puutavaran korjuun ja kuljetuksen kustannusten yleinen alentuminen, metsähakkeen tuotantotekniikan ja -logistiikan tehostuminen ja hioutuminen, suurimittaisen toiminnan tarjoamat kustannussäästöt sekä tuotannon painopisteen siirtyminen pienpuuhakkeesta kohti hakkuutähdehaketta.

Metsähakkeen hinta on tällä hetkellä Suomessa halvempi kuin missään muussa EU maassa. Keväällä 2000 ilmestyneen metsätilastotiedotteen mukaan keskimääräinen hinta oli 51 mk/MWh, mikä alittaa Ruotsin tason 30 %:lla. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastojen mukaan metsähakkeen kuluttajahinta on vain 46 mk/MWh, mutta tilastoluku edustanee yksipuolisesti suurkäyttöä ja hakkuutähdehaketta. Metsähake on kuitenkin edelleen selvästi kalliimpi polttoaine kuin metsäteollisuuden puu- ja kuoritähteet (taulukko 1).

Taulukko 1. Kiinteitten puupolttoaineitten arvonlisäveroton hinta käyttöpaikalla Suomessa, Ruotsissa ja keskimäärin Euroopassa. (Lähteet: Hakkila ja Fredriksson 1996 (1); Hakkila, Nousiainen ja Kalaja 2001 (2); Ylitalo 2001 (3); Prisblad för biobrånsten, torv mm. Nr 2/2001 (4,5); Vesterinen ja Alakangas (2001).

		Kuori	Puru	Teoll.hake	Metsähake
		Hinta käyttöpaikalla, mk/MWh			
1 Suomi, keskimäärin	1995	33	32	44	66
2 Suomi, keskimäärin	1999	36	38	43	53
3 Suomi, keskimäärin	2000	35	39	40	51
					
4 Ruotsi, lämpölaitokset	2000		59		74
5 Ruotsi, teollisuus	2000		46		71
6 Eurooppa, keskimäärin	2000		51		71

Vaikka metsähakkeen hintataso on Suomessa muita maita alhaisempi, käyttäjät toivovat hinnan alenevan edelleen. Hinnan alentaminen on tästä eteenpäin kuitenkin vaikeata, sillä käytössä olevat korjuujärjestelmät ja -kalusto ovat jo pitkälle kehittyneitä, eikä urakointitaksoista ole enää mahdollista tinkiä. Suurin kehityspotentiaali piilee pienpuuhakkeen tuotannon hakkuuvaiheessa, jota harvennusleimikoitten hankalien korjuuolosuhteitten vuoksi ei ole onnistuttu ratkaisemaan tyydyttävällä tavalla, vaikka kehitystyötä on sekä Suomessa että Ruotsissa tehty jo pitkään (kuva 2).



Kuva 2. Metsähakkeen hintataso ja kustannusrakenne välivarastohaketukseen perustuvaa tuotantoketjua käytettäessä.

Samaan aikaan kun käyttäjät toivovat metsähakkeen hinnan vielä alenevan, nousee esiin myös paineita hinnan nostamiseksi. Paineet kasvavat käytön kasvun myötä. Niitä aiheuttavat esimerkiksi seuraavat tekijät:

- Metsänomistajat odottavat energiapuulle kantohintaa vedoten mm. ravinnetappioihin.
- Käytön kasvaessa autokuljetusmatkat pitenevät.
- Käytön kasvaessa korjuu joudutaan ulottamaan olosuhteiltaan entistä vaikeampiin leimikoihin.
- Ravinnemenetysten vähentämiseksi biomassan kuivattaminen ja neulasten varisuttaminen kasvupaikalla tulee todennäköisesti yleistymään. Se merkitsee kertymän supistumista ja kankeampaa korjuulogiikkaa, mikä lisää kustannuksia.

- Kun kone- ja kuljetusyrittämisen kannattavuus ei ole hyvä, on vaikea saada alalle tarvetta vastaavasti uusia yrittäjiä, ellei urakoinnin kannattavuus kohe-

Useimpien hankkeitten keskeinen tavoite onkin metsähakkeen kustannusten alentaminen. Yli puolet hankkeista tähtää tuotannon (korjuun ja kuljetuksen) tehostamiseen suunnittelussa tarvittavaa perustietoutta hankkimalla ja analysoimalla, hankintaketjujen kitkatekijöitä poistamalla sekä koneita tai kokonaisia tuotantojärjestelmiä kehittämällä. Tärkeitä kohteita ovat erityisesti:

- tuotannon kustannustekijäin kartoittaminen
- biomassan määrän ja työsuorituksen määrittäminen sekä energiapuukaupan edistäminen
- hankinnan logistiikka, organisointi ja yrittäjien verkottuminen
- hakkureitten, murskainten, paalainten ja kuljetuskaluston kehittäminen ja demonstrointi
- kokonaisten tuotantojärjestelmien kehittäminen ja demonstrointi sekä metsäpolttoaineitten tuotannon integrointi metsätalouteen.

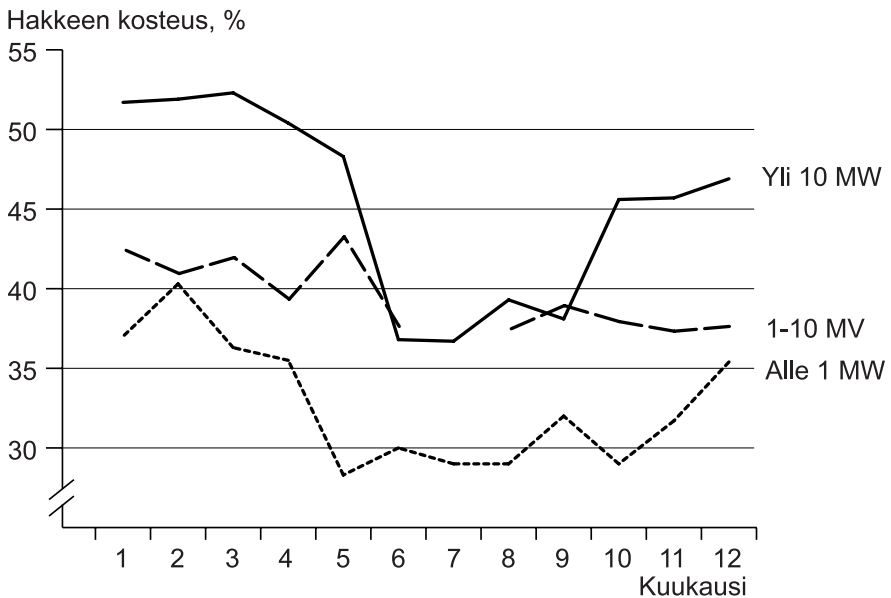
5. Metsähakkeen laadunhallinta

Eräs metsähakkeen käytön kitkatekijöistä on epätydyttävä ja vaihteleva laatu. Keskeisiä laatutekijöitä ovat hakkeen palakoko, puhtaus, energiatiheys, neulaspi-toisuus, tuhkapitoisuus sekä ennen kaikkea kosteus. Laatu vaikuttaa hakkeen kä-sittelyvaikeuteen, lämpöarvoon, polton hyötysuhteeseen ja päästöihin, ja siten se on välillisesti myös kustannustekijä. Laadun merkitys on tärkeä kaikissa käyttö-kohteissa, mutta se korostuu pienkäytössä.

Miltei kolmannes puuenergiaohjelman hankkeista kohdistuu metsähakkeen sekä kuorintatähteen laatuun, käyttöön ja vastaanottoon. Eniten on kiinnitetty huo-miota kosteuden alentamiseen ja siihen liittyen varastointiin, mutta kosteus on yhä edelleen ongelma erityisesti keskitalvella (kuva 3).

Tutkimusten ja kokemusten kautta laadun arvostus kasvaa ja laadunhallinnan menetelmät kehittyvät. Ohjelma on tuottanut arvokasta tietoa esimerkiksi neulasten aiheuttamista kloori- ja alkaliongelmistä ja niiden ratkaisemisesta metsähakkeen ja turpeen seospolton keinoin. Keskeisiä laadunhallinnan tutkimusaiheita ovat muun muassa

- kosteuden alentaminen sekä varastointi, vastaanotto- ja syöttöjärjestelmien kehittäminen
- metsähakkeen käyttö suurissa leijukerroskattiloissa
- puun seospoltto turpeen ja hiilen kanssa.



Kuva 3. Erikokoisten laitosten vastaanottaman metsähakkeen kosteuden vaihtelu vuonna 1999.

Ruotsalaisiin verrattuna hakkuutähdehake on Suomessa keskimäärin kosteampaa ja sisältää enemmän neulasia. Tähdemasojen kuivattamisaika palstalla jää meillä lyhyemmäksi, eikä tienvarsikasojen suojaus peitteillä ole meillä yhtä yleistä. Perusteellisempi kuivatus ja siitä aiheutuva hakevirran kulun hidastuminen

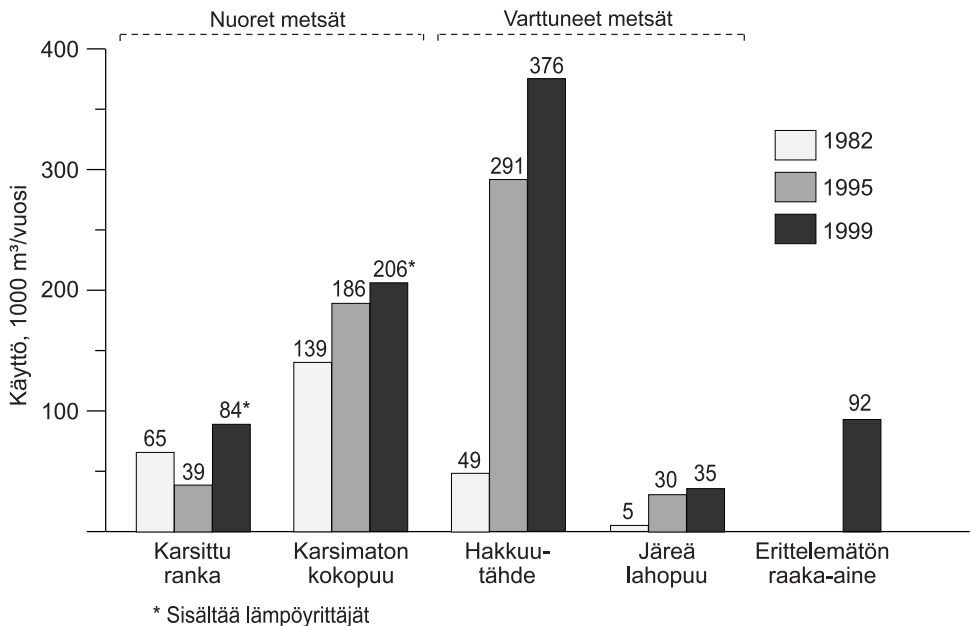
lienevät kantorahan ohella osasyys siihen, että metsähakkeen hinta on Ruotsissa korkeampi.

Sekä hakkeen laadun parantamiseksi että metsämaan ravinnetappioitten rajoittamiseksi tulisi tutkimus- ja kehitystyössä panostaa nykyistä määrätietoisemmin ratkaisuihin, joilla vähennetään neulasten osuutta hakkuutähde- ja pienpuuhakkeessa. Toivotun ympäristöedun saavuttaminen tietenkin edellyttää, että neulasten erottelu tapahtuu jo palstalla. Erottelusta ei saisi juurikaan koitua lisäkustannuksia, joten sen tulisi kytkeytyä korjuuketjuissa muutoinkin käytettävien koneitten (kuormatraktori, palstahakkuri, niputtaja, pienpuun kaatokone) toimintoihin. Kysymykseen voisivat tulla esimerkiksi kuivattaminen palstalla, riipiminen, piiskaaminen, tärisyttäminen, hakkeen puhaltaminen, jne.

6. Tavoitteena laaja raaka-ainepohja

Metsähake tehdään pääasiassa nuorten metsien pienpuusta tai varttuneitten metsien uudistushakkuissa syntyvistä hakkuutähteistä. Korjuukelpoinen energiare servi on arvioitu pienpuun osalta 6,3 miljoonaksi m³:ksi ja hakkuutähteen osalta neulasineen 8,6 miljoonaksi tai neulasitta 5,6 miljoonaksi m³:ksi vuodessa (Hakkila ja Fredriksson 1996). Ei ole tietenkään varmuutta siitä, että koko potentiaali olisi todellisuudessa vuosittain tarjolla metsähakkeen tuotantoon. Jouston varaa toisaalta on, sillä metsähakkeen nykykäyttö on vain 6–8 % korjuukelpoiseksi arvioidusta reservistä. Käytännössä energiapuun saatavuus on kytköksissä metsänomistajien asenteisiin ja hakkuutoiminnan ja metsien hoidon aktiviteettiin, joka vaihtelee vuosittain.

Kuva 4 osoittaa, mistä raaka-ainelähteistä metsähake tällä hetkellä valmistetaan. Kun vielä viime vuosikymmenen puolivälissä 80 % markkinoille tulleesta metsähakkeesta oli peräisin nuorten metsien pienpuusta, vuonna 2000 vastaava osuus oli enää 37 %. Pienpuun käyttö on kasvanut hitaasti, mutta uudistusalojen hakkuutähteen käyttö on lähes kahdeksankertaistunut viidessä vuodessa, ja kasvu näyttää jatkuvan ripeänä.



Kuva 4. Markkinoille tulleen metsähakkeen raaka-aine. Vuoden 2000 luvuissa on mukana lämpöyrittäjien tuottama hake (48 000 m³), mutta vuoden 1999 luvuista se pääsääntöisesti puuttuu.

Kehitys on seurausta hakkuutähdehakkeen alhaisemmista tuotantokustannuksista. Pienpuuhake on tosin laadukkaampaa, ja sitä voidaan tuottaa myös kevyemmillä koneilla ja pienemmässä mittakaavassa. Siksi se soveltuu parhaiten pienimittaiseen käyttöön, kun taas suuri käytössä näitten tekijäin painoarvo tuskin riittää kompensoimaan hakkuutähdehakkeen tuotannon edullisempaa kustannustasoja ja joustavampaa integroitumista ainespuun korjuujärjestelmiin.

Kun Puuenergian teknologiaohjelma on toistaiseksi suuntautunut ensisijaisesti suurtuotantoon, pienpuuhakkeen ongelmakenttä on pyrkinyt jäämään tutkimus- ja kehitystyössä toissijaiseen asemaan. Suurtuottajia ja -käyttäjiä ei ole ollut aina helppo motivoida mukaan pienpuuhakkeeseen kohdistuviin hankkeisiin. Mutta kun metsähakkeen tarve kasvaa, tulisi suurtenkin hankintaorganisaatioitten pelkästään toimitusvarmuussyistä luoda valmius pienpuuleimikoittenkin energiapotentiaalin hyödyntämiseen.

Meillä on opittu arvostamaan energialähteitten monipuolisuutta huoltovarmuuden parantajana. Aivan vastaavasti huoltovarmuutta kannattaa kehittää myös pelkän puuenergian sisällä niin, että tarjolla olisi tarpeen tullen useampia vaihtoehtoisia puubiomassan lähteitä. Metsänhoidon lisäksi on lukuisia syitä, miksi suurtenkin metsähakkeen tuottajien kannattaa tehostaa pienpuuhakkeen tuotantotekniikan tutkimus- ja kehitystyötä:

- Kun hakkuutähteen alueellinen tuotanto kasvaa, joudutaan korjuukohteiksi hyväksymään aikaisempaa vaikeampia ja pitemmän kuljetusmatkan takana sijaitsevia leimikoita. Hankalalla ja etäällä sijaitsevalla hakkuutähdetyömaalla kustannukset saattavat muodostua korkeammiksi kuin lähiseudun pienpuutyömaalla.
- Kun pinta-alaperusteinen metsäverotuskäytäntö päättyy, saattaa suurten uudistushakkuuleimikoitten saatavuus vuodesta 2006 lähtien notkahtaa. Siinä tapauksessa hakkuutähteen saatavuus vaikeutuu tilapäisesti.
- Ennemmin tai myöhemmin sahateollisuus joutuu matalasuhdanteeseen, jolloin sahatavaran tuotanto laskee alle viime vuoden ennätysmäisen yli 13 miljoonan m³:n tason (Metsätilastollinen... 2001). Energiasivutuotteitten määrä supistuu vastaavasti ja niitten tulo markkinoille todennäköisesti vieläkin enemmän. Vajetta joudutaan korvaamaan metsähakkeella, mutta tukkipuun kysynnän lasku saattaa samaan aikaan supistaa hakkuutähteen saatavuutta, jolloin on turvaututtava pienpuuhun.
- Polttoainekäyttöön tarjolla oleva puru saattaa ohjautua nykyistä enemmän pellettien tai muitten jalosteitten raaka-aineeksi ja sitä tietä pienempien laitosten ja pientalojen käyttöön.
- Pienpuuhakkeen kosteus ja muutkin laatuominaisuudet ovat helpommin hallittavissa kuin hakkutähdihakkeen. Keskitalvella, kun lämmön tarve on ylimmillään ja hakkuutähdihakkeen kosteus pyrkii ylittämään asetetut rajat, polttihakkeen lämpöarvoa voidaan nostaa korvaamalla tuoretta hakkutähdihaketta pienpuuhakkeella.

Puuenergiaohjelmassa kuitenkin vain muutama hanke on kohdistunut suoranaisesti nuorten metsien pienpuuhun. Niitten aiheita ovat

- energiapuun korjuuolojen parantaminen nuorissa metsissä
- ensiharvennuspuun soveltuvuus sellun raaka-aineeksi
- aines- ja energiapuun välinen rajanveto
- aines- ja energiapuun integroitu korjuu nuorista metsistä.

Kaikki nämä hankkeet ovat päättymässä, mutta niitä korvaamaan ollaan käynnistämässä uutta hankekokonaisuutta, johon on luvassa rahoitusta myös maa- ja metsätalousministeriöstä. Siihen sisältyviä hankkeita ovat

- pienpuuleimikoitten korjuuteknisten olojen parantaminen leimikkokeskityksillä
- pienpuun kuivattaminen ja polttoaineen laadun parantaminen
- ensiharvennuspuun korjuun kustannustekijät ja hankintalogistiikka
- metsähakkeen tuotannon ja käytön työllistävä vaikutus ja työvoiman tarve.

Edellisten lisäksi ohjelmaan kaivataan myös pienpuuhakkeen tuotannon tehostamiseen tähtäviä kone- ja menetelmäkehittelyhankkeita. Kustannusten alentamisen kannalta keskeisessä asemassa on hakkuu, joka hakkuutähdehakkeella muodostaa vain 2–3 % mutta kokopuuhakkeella 30–35 % ja rankahakkeella peräti 45–55 % polttoaineen kokonaiskustannuksista käyttöpaikalle toimitettuna (kuva 3).

Ensiharvennus- ja muusta pienpuusta tuotetaan sekä Ruotsissa että Suomessa vuosittain noin 0,4 milj. m³ metsähaketta. Vaikka puupolttolaitteista maksettu hinta on Ruotsissa korkeampi, edellytykset pienpuuhakkeen tuotannolle ovat meillä kuitenkin paremmat. Ensinnäkin kuitupuun vähimmäisläpimitta on Ruotsissa 5 cm mutta Suomessa 7 tai 8 cm, mikä merkitsee meillä suurempaa energiapuun kertymää ja halvempaa korjuuta. Toiseksi Suomessa myönnetään

kemera-lain puitteissa tukea pienpuun korjuuseen energiakäyttöön, mutta Ruotsissa tällaista mahdollisuutta ei ole. Kuluvan vuoden aikana on tuen piiriin hyväksyttävien leimikoitten ainespuun kertymän katto poistettu, joten tuen sovellusalue laajenee.

Erialaisten tukien kokonaismäärä nousee pienpuuleimikoissa parhaimmillaan 30–40 mk:aan MWh kohti, joten pohja kannattavalle tuotannolle on tarjolla. Tämä tulisi ottaa huomioon myös tutkimus- ja kehityshankkeita sekä hakkeen hankintaa suunniteltaessa erityisesti, kun kysymyksessä on pienten alle 5 MW:n laitosten polttoaineen tuotanto.

7. Bioenergia ja kestävä metsätalous

Bioenergia liittyy kiinteästi kestävä kehityksen käsitteeseen. Metsätalous, jonka käytössä pääosa maamme pinta-alasta on, ei voi vetäytyä syrjään taistelussa kasvihuoneilmiötä vastaan. Toisaalta puuenergiareservien käyttöönotto ei saa vaarantaa puuntuotannon kestävyttä. Nämä vaatimukset ovat sovitettavissa, kun niiden ratkaisemiseen paneudutaan ilman ennakkoluuloja.

Mitä suuremmaksi metsäpolttoaineitten tuotanto kasvaa, sitä näkyvämmiin nousevat ympäristökysymykset esiin. Näin on tapahtunut Ruotsissa, missä metsähakkeen tuotanto on ehkä nelinkertainen Suomeen verrattuna ja kasvutavoitteet edelleen mittavat. Ruotsin Skogstyrelsen, joka suhtautuu varsin myönteisesti puun energiakäytön laajenemiseen, on laatinut metsäpolttoaineitten talteenottoa ja kompensatiolannoitusta koskevan käytännön suosituksen (Skogsstyrelsen 2001). Sen keskeinen periaate on, että jos latvusmassa otetaan talteen kiertoajan kuluessa useammin kuin kerran, ravinnemenetykset tulee korvata kompensatiolannoituksella. Ruotsin energiavirasto (Energimyndigheten) rahoittaa viisivuotista ”biopolttoaineet ja ympäristö” tutkimusohjelmaa, joka koostuu kahdesta aliohjelmasta: metsäpolttoaineitten kestävä tuotanto sekä bioenergia ja biologinen monimuotoisuus.

Puuenergian teknologiaohjelma tähtää metsähakkeen tuotantoteknologian kehittämiseen. Ongelmiin etsitään ratkaisuja järjestelmätasolla, mikä merkitsee laajaa alaista tarkastelukulmaa. Tämän ansiosta ohjelmaan sisältyy, huolimatta sen voi-

makkaasta teknologiapainotteisuudesta, myös ympäristöön ja metsänkasvatukseen liittyviä tutkimusaiheita:

- Puuenergiaketjujen elinkaariarviointi
- Puuenergiaketjujen kasvihuonekaasupäästöt
- Puun polton materiaalivirrat
- Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteitten seospolton savukaasupäästöt
- Radioaktiivisuuden vaikutus tuhkan käyttöön
- Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen
- Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä
- Suopohjien metsitys hiilinieluisiksi.

Puuenergian käytön kasvutrendi ei ole seurausta niinkään erinomaisesta kannattavuudesta kuin yli maapallon kantavista ympäristövaikutuksista, joitten ansiosta kansalaisten, elinkeinoelämän, ympäristöjärjestöjen että poliittisten päätöksentekijäin asenteet puuenergiaa kohtaan ovat kehittyneet myönteiseen suuntaan. Sorääniä aiheuttaa kuitenkin huoli tehostetun talteenoton aiheuttamista ravinnemenetyksistä. Tutkimustietojen puutteellisuutta on valitettu jo neljännesvuosisadan ajan, mutta tiedonpuutetta ei vain ole vielä kukaan tutkimuksin korjattu. Koejärjestelysistä ravinnemenetysten vaikutusta puun tuotokseen joudutaan tutki-
maan teoreettisten ääri vaihtoehtojen valossa, mutta koeolosuhteitten ja käytännön korjuutoiminnan eroavuudet ovat jääneet johtopäätöksiä tehtäessä huomioon ottamatta.

Puuenergian teknologiaohjelman toimesta on laadittu ohjeet hakkuutähdehakkkeen tuotannolle. Lähtökohdiana on ollut, että ohjeet päivitetään, kun käytäntöön soveltuva tietotaito karttuu. Vastaavanlaisia ohjeita kaivataan myös nuorista metsistä tapahtuvaan energiapuun korjuuseen.

8. Vertailua Ruotsiin

Ruotsi käynnisti metsäenergiareservien käyttöönottoon tähtäävän mittavan tutkimus- ja kehitysohjelman jo 1970-luvun puolivälissä. Fossiilipolttoaineisiin kohdistetulla raskaalla verotuksella ja erilaisilla tukitoimenpiteillä on luotu otolliset olosuhteet metsähakkeen käytölle aikaisemmin kuin missään muussa maassa. Verodetut tosin rajoittuvat puun käyttöön lämmön tuotannossa eivätkä suosi sähkön tuotantoa, mikä on vaikuttanut sekä metsäpolttoaineitten käytön että tutkimuksen suuntautumiseen.

Ruotsi on johtava metsähakkeen käyttäjä koko maailmassa. Vaihtoehtoisten polttoaineitten korkean hinnan seurauksena metsähakkeesta on voitu maksaa verraten korkeita hintoja. Vuonna 2000 metsähakkeen keskihinta käyttöpaikalla oli teollisuudessa 108 ja lämpölaitoksilla 112 kruunua/MWh (Prisblad 2001). Käyttö on eri tietolähteitten mukaan ollut 3–5 miljoonaa m³ vuodessa. Luotettavaa tuntuu Skogforskin arvio, jonka mukaan metsähaketta tehdään hakkuutähteestä 2,2 miljoonaa, lahoppuusta 0,5 miljoonaa ja pienpuusta 0,4 miljoonaa m³ vuodessa (Andersson 2000).

Kasvutavoitteet ovat suuremmat kuin Suomessa, mutta kasvu on viime vuosina tyrehtynyt. Siitä syystä alalle ei ole juurikaan tullut uusia yrittäjiä, eikä uutta korjuukalustoa ole otettu käyttöön. Kun korjuukalustolle ei ole ollut kysyntää, tuotantotekniikan tutkimus- ja kehitystoiminta on ollut alamaissa.

Kysymyksessä ei ole puuenergian vastamäki. Puupolttoaineitten käyttö kasvaa edelleen, mutta kasvu ei kohdistukaan odotusten mukaisesti metsähakkeeseen vaan muihin, edullisempiin puupolttoaineisiin. Suomen näkökulmasta korkeahko metsähakkeen hinta on kääntynyt itseään vastaan, kun tilalle on tullut muita vaihtoehtoja:

- Sahateollisuuden tuotanto on noussut ennätystasolle, jolloin myös energiasivutuotteitten tarjonta on kasvanut.
- Kiinteitten polttopuujalosteitten tuotantokapasiteetti on kasvanut lyhyessä ajassa lähes miljoonaan tonniin vuodessa. Vaikka pellettien käyttö on yli kymmenkertainen Suomeen verrattuna, kapasiteetti ylittää suuresti kysyn-

nän. Ylitarjonta on alentanut pellettien hintaa, ja erityisesti pienet käyttäjät ovat korvanneet haketta pelleteillä.

- Korkea hintataso on tehnyt kierrätyspuun tuonnin kannattavaksi, vaikkei puuta suosivalla energiaverojärjestelmällä sellaiseen luonnollisestikaan tähdätty. Vuonna 2000 kierrätyspuun keskimääräinen hinta oli vain 69 kruunua/MWh (Prisblad 2001). Kaukolämmön tuotantoon käytetystä puupolttoaineesta tuodaankin peräti 30–40 % ulkomailta (Vesterinen ja Alakangas 2001). Tuontihake on edullista erityisesti rannikolla.
- Metsähakkeen käytön lisääminen, joka Suomessa koetaan teknis-taloudelliseksi kysymykseksi, on Ruotsissa muuttunut poliittiseksi kysymykseksi, kun bioenergia ja ydinenergia on asetettu vastakkain. Asetelma aiheuttaa potentiaalisten metsähakkeen suurkan käyttäjille motivaatio-ongelmia.

Vaikka Ruotsi edelleen käyttää metsähaketta Suomeen verrattuna nelinkertaisen määrä, ero kuroutuu kaiken aikaa. Toimintaympäristö on tutkimus- ja kehitystyölle Suomessa otollisempi, ja Puuenergiaohjelman painottama teknologinen kehitystyö on meillä tällä hetkellä vireämpää. Seuraava luettelo osoittaa, millaisiin tutkimusohjelmiin Ruotsin energiavirasto on asettanut pääpainon viime vuosina.

- Bioenergian järjestelmätutkimukset (1998–2001). Rahoitus 21 miljoonaa kruunua, kaikki energiavirastolta
- Biopolttoaineitten kuivatus (1996–2000). Rahoitus 12 miljoonaa kruunua, josta energiaviraston osuus 4,8 miljoonaa
- Hiilitaseet (2000–2004). Rahoitus 20 miljoonaa kruunua, kaikki energiavirastolta
- Biopolttoaineet ja ympäristö (2000–2004). Rahoitus 48 miljoonaa kruunua, kaikki energiavirastolta.

9. Ohjelman näkymät

Puuenergia on vahvassa myötätuulessa. Sillä on tärkeä osuus Suomen ilmasto-ohjelmassa, ja siksi valtiovalta tukee toimenpiteillään markkinakelvottomien biomassareservien käyttöönottoa erityisesti metsähakkeen muodossa.

Vuonna 2000 metsähakkeen käyttö nousi uudelle 0,9 miljoonan m³:n ennätystasolle. Puupolttoaineitten käyttökapasiteetin laajeneminen mahdollistaa, että kasvu jatkuu entistä ripeämpänä. Tämä luo tutkimus- ja kehitystyölle suotuisan toimintaympäristön, jossa tutkimusorganisaatiot voivat toimia yhteistyössä niin keskenään kuin puupolttoaineitten tuottajien ja käyttäjien sekä laitevalmistajien kanssa.

Vuoden 2001 vuosiseminaarin aikaan Puuenergian teknologiaohjelma on puoli-tiessään. Tutkimus- ja kehityshankkeitten yhteismäärä on 50 ja demonstraatiohankkeitten 12. Niitten yhteenlaskettu rahoitusarvio on 126 miljoonaa markkaa eli puolet koko viisivuotiskauden arvioiduista kustannuksista. Suuri määrä hankkeita on päättymässä kuluvan vuoden aikana, mikä antaa tilaisuuden myös suunnan tarkistamiseen tarpeen mukaan.

Keskeisellä sijalla ohjelmassa ovat alusta alkaen olleet hakkuutähdehakkeen suurimittainen tuotanto, hakkeen tuotantokustannusten alentaminen, hakkeen laadun parantaminen sekä toimitusten varmuus. Ei ole erityistä syytä radikaaliin muutokseen tässä painotuksessa, mutta on osoittautunut tähdelliseksi laajentaa nykyistä aihepiiriä. Esimerkiksi pienpuuhakkeen tuotanto nuorista metsistä on jäänyt hyvin edenneen hakkuutähdehakkeen rinnalla ohjelmassa jossain määrin taka-alalle, joten siihen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota.

Polttopuun pienimittainen tuotanto ja käyttö rajattiin alunperin ohjelman ulkopuolelle. Kun myös pienkäytölle on asetettu mittavat kasvutavoitteet ja kun suurimittaisen käytön tutkimus- ja kehitystyö on nyt saatu vauhtiin, on tullut aika lisätä panoksia myös pienmittaisen toiminnan edistämiseen. Tekes on nimittänyt VTT Energian selvittämään tähän liittyvät tutkimus-, kehitys- ja organisaatiotarpeet, joitten pohjalta puuenergiatutkimuksen aihepiiriä päästäneen laajentamaan vielä kuluvan vuoden aikana.

10. Kirjallisuus ja ohjelman julkaisut

Andersson, G. Technology of fuel chip production in Sweden. 2000. Teoksessa: *Alakangas, E.* (toim.). Nordic Treasure Hunt: Extracting Energy from Forest Residues. VTT Symposium 208: 113–125.

Alakangas, E. (ed.). Nordic Treasure Hunt. Extracting Energy from Forest Residues. Jyväskylä, 30th August 2000. Espoo, VTT Energy, 2001. 125 p. VTT Symposium; 208. (<http://www.inf.vtt.fi/pdf/symposiums/2001/S208.pdf>)

Alakangas, E. (toim.) Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari Jyväskylä, 29.–30.8.2000. Espoo, VTT 2000. 295 s. VTT Symposium; 205. (<http://www.inf.vtt.fi/pdf/symposiums/2000/S205.pdf>)

Energiakatsaus 1/2001. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto.

Energimyndigheten. 2000. Förnybar energi idag och om tio år. Forskning för ett framtida energisystem.

Fredriksson, T. (toim.) 2000. Polttihakkeen tuotanto metsänuudistamisaloilta. 2000. Tapio&Puuenergian teknologiaohjelma, opas.

Hakkila, P., Nousiainen, I. ja Kalaja, H. 2001 a. Metsähakkeen käyttö Suomessa. Tilannekatsaus vuodesta 1999. VTT Tiedotteita 2087.

Hakkila, P., Nousiainen, I. ja Kalaja, H. 2001 b. Use and prices of forest chips in Finland in 1999. AFBnet V Task 2-Export and import possibilities and fuel prices. VTT Energy, Wood Energy Technology Programme and AFBnet, 33 p. (<http://afbnet.vtt.fi> -ks. publications).

Hakkila, P. Waldhackschnitzel in Finnland Anwendung, Erfahrungen, Preise. OPET Finland, VTT Energie. 16 s. (www.tekes.fi/opet).

Hakkila, P. 2001. Development of wood procurement in the Nordic countries. Proceedings of the 14th CAETS Convocation World Forest and Technology: 113–130. The Finnish Academy of Technology.

Hakkila, P. 2000. Changes in forest work in the Nordic countries. In: Forest and society, the role of research. Volume 1: 606–616. IUFRO World Congress. Malesia.

Hakkila, P. 2001. Wood Energy in the Nordic countries. EFI Seminar Woody Biomass as a Source of Energy. In print.

Hakkila, P. 2001. Forests as a renewable energy source in Europe – Prospects and policies. In: Palo, M., Uusivuori, J. and Mery, Gerardo (eds): World forests, markets and policies. In print.

Hakkila, P. & Parikka, M. 2001. Fuel resources from forest. In: Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practices. Kluwer Publishing Co. In print.

Hakkila, P. 2001. Environmentally friendly operating patterns. In: Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practices. Kluwer Publishing Co. In print.

Hakkila, P. 2000. Environmentally friendly recovery of logging residues. Forest Energy Forum 7: 30–32. FAO

Hakkila, P. 2000. Metsähakkeen käyttö kasvussa. Puuenergia 3–4/2000, s. 8–10.

Hakkila, P. 2001. Metsähakkeen käyttö. Työtehoseuran metsätiedote 1/2001 (629).

Hakkila, P. 2001. Metsähakkeen hinta laskenut. Puuenergia 1/2001, s. 6–8.

Hakkila, P. 2001. Japanin metsätalous etsii apua puun energiakäytöstä. Puuenergia 3/2001. Painossa.

Järvinen, T. & Alakangas, E. 2000. Co-firing: Analysis of fuel systems for the co-firing of biomass in 20 existing plants in Europe. Proc. of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5–9 June 2000, s. 755–759.

Metsätilastollinen vuosikirja 2000. 2001. Metsäntutkimuslaitos.

Prisblad för biobränslen, torv mm. 2001. Nr 2. Energimyndigheten.

Skogsstyrelsen. 2001. Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling. Meddelande 2/2001.

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 4/1999.

Vesterinen, P. & Alakangas, E. 2001. Export import possibilities and fuel prices in 20 European countries. Task 2, AFB-net V-targeted actions in bioenergy network – Part I. VTT Energia. Jyväskylä.

Ylitalo, E. 2001. Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2000. Metla. Metsätilastotiedote 574.

Ohjelman johtoryhmän kokoonpano 2001

Biowatti Oy, puh.joht.

Pekka Laurila

Revontulentie 8A, 02100 Espoo

Puh. 01046 58210, faksi: 01046 94298

E-mail: pekka.laurila@ metsaliitto.fi

KTM Energiaosasto

Mika Anttonen

PL 37, 00131 Helsinki

Puh. 09 160 4815, faksi: 09 1602695

E-mail: mika.anttonen@ktm.vn.fi

Fortum Power and Heat Oy

Dan Blomster

PL 10, 00048 FORTUM

Puh. 010 453 3962, faksi: 010 453 3986

E-mail: dan.blomster@ivo.fi

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio

Tage Fredriksson

Soidinkuja 4, 00700 Helsinki

Puh. 09 156 2247, faksi 09 156 2232

E-mail: tage.fredriksson@

tapio.mailnet.fi

Maa- ja metsätalousministeriö

Matti Heikurainen

PL 232, 00171 Helsinki

Puh. 09 160 3359, faksi: 09 160 2400

E-mail: matti.heikurainen@ mmm.fi

Koneyrittäjien liitto ry

Simo Jaakkola

Sitratie 7, 00420 Helsinki

Puh. 09 566 00114, faksi: 09 563 0329

E-mail:simo.jaakkola@ koneyrittajat.fi

Teknologian kehittämiskeskus

Heikki Kotila

PL 69, 00101 Helsinki

Puh. 010 521 5873

E-mail: heikki.kotila@tekes.fi

BMH Wood Technology

Antti Nurmi

PL 32, 26101 Rauma

Puh. 02 831 5236, faksi: 02 822 1327

E-mail: antti.nurmi@bmh.fi

Vapo Oy

Timo Nyrönen

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5760, faksi: 014 623 5622

E-mail: timo.nyronen@vapo.fi

UPM-Kymmene Oyj, varapj.

Seppo Paananen

PL 32, 37601 Valkeakoski

Puh. 0204 163 818, faksi: 0204 161 20

E-mail: seppo.paananen@

upm-kymmene.com

Pohjolan Voima Oy

Juha Poikola

PL 40, 00101 Helsinki

Puh. 09 693 061, faksi: 09 6930 6555

E-mail: juha.poikola@pvo.fi

Kvaerner Pulping Oy

Matti Rautanen

PL 109, 33101 Tampere

Puh. 03 241 3111, faksi: 03 241 3448

E-mail: matti.rautanen@ kvaerner.com

Plustech Oy
Arto Timperi
PL 306, 33101 Tampere
Puh. 0205 84 6818, faksi: 0205 80 6849
E-mail: arto.timperi@fi.timberjack.com

VTT Energia, sihteeri
Kati Veijonen
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 67 2709, faksi: 014 67 2597
E-mail:kati.veijonen@vtt.fi

VTT Energia, tutkimuspäällikkö
Pentti Hakkila
PL 1604, 02044 VTT
Puh. 0400 208 789, 09 456 6672,
faksi: 09 456 5000
E-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

Puuenergian teknologiaohjelman projektit vuoden 1999 alusta

TUOTANNON SUUNNITTELU

PUUT01 Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka

Antti Asikainen

Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013 251 4429, faksi: 013 251 3590

E-mail: antti.asikainen@joensuu.fi

PUUT02 Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä

Pekka Mäkinen

Metsäntutkimuslaitos

PL 18, 01301 Vantaa

Puh. 09 857 05345, faksi: 09 857 05361

E-mail: pekka.makinen@metla.fi

PUUT03 Energiapuun tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä

Pertti Harstela

Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013 251 3625, faksi: 031 251 3590

E-mail: pertti.harstela@joensuu.fi

PUUT04 Ensiharvennusten korjuuolot, niiden vaikutus korjuumenetelmien kokonaistalouteen ja parantamismahdollisuudet

Matti Sirén

Metsäntutkimuslaitos

PL 18, 01301 Vantaa

Puh. 09 857 05339, faksi: 09 857 05361

E-mail: matti.siren@metla.fi

PUUY11 Aines- ja energiapuun välinen rajanveto

Hannu Kivelä

Jaakko Pöyry Oy

PL 4, 01621 Vantaa

Puh. 09-8947 2501, faksi: 09-879 7031

E-mail: pekka.kivela@poyry.fi

PUUT26 Puun pienkäytön T&K:n tarpeiden kartoitus

Heikki Oravainen

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 532, faksi: 014 672 597

E-mail: heikki.oravainen@vtt.fi

PUUY22 Työsuoritteiden määrittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksessa

Kaarlo Rieppo

Metsäteho Oy

PL 194, 00131 Helsinki

Puh. 09 132 5237, faksi: 09 659 202

E-mail: kaarlo.rieppo@metsateho.fi

PUUY23 Verkkoliiketoiminnan mahdollisuudet Suomen energiapuumarkkinoilla (Esis.)

Petri Vasara

Puh. 09 89472611, faksi:

E-mail: petri.vasara@poyry.fi

TUOTANTO

PUUT05 Seospolttoaineiden tuotanto
terminaalilla – hankekokonaisuus (P)

Arvo Leinonen

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 677, faksi: 014 672 597

E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUT12 Kaksivaiheisen murskaimen
kehittäminen puun energijakeen
tuottamiseksi

Arvo Leinonen

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 677, faksi: 014 672 597

E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUY01 Menetelmä nuorten metsien
harvennukseen

Jarmo Hämäläinen

Metsäteho Oy

PL 194, 00131 Helsinki

Puh. 09 132 5224, faksi: 09 659 202

E-mail:

jarmo.hamalainen@metsateho.fi

PUUY02 Käyttöpaikkahaketukseen
perustuva puupolttoaineen tuotanto

Antti Korpilahti

Metsäteho Oy

PL 194, 00131 Helsinki

Puh. 09 132 5242, faksi: 09 659 202

E-mail: antti.korpilahti@metsateho.fi

PUUY03 Teollisten metsähaketusten
erikoishakkurin prototyypin
kehittäminen (P)

Tommi Lahti

LHM-Hakkuri Oy

Lahdentie 231, 41290 Kangashäkki

Puh. 0400 656 045, faksi: 014 216 128

E-mail: tommi.lahti@energiat.inet.fi

PUUY04 Hakuutähteen käyttöpaikka-
murskaukseen perustuva tuotantomene-
telmä (P)

Seppo Paananen

UPM-Kymmene Oyj

PL 32, 37601 Valkeakoski

Puh. 0204 163 818, faksi: 0204 163 839

E-mail: seppo.paananen@upm-kymme-
ne.com

PUUY06 Terminaalihakkeen tuotanto-
tekniikka

Jaakko Silpola

Vapo Oy

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5644, faksi: 014 623 5707

E-mail: jaakko.silpola@vapo.fi

PUUY05 Traktorikäyttöinen rumpu-
hakkuri hakuutähteelle (P)

Ari Melkko

Heinolan Sahakoneet Oyj

PL 24, 18101 Heinola

Puh. 03 848 4206, faksi 03 848 4202

E-mail: melkko.ari@heinola.troponor.fi

PUUY13 Metsäenergiakeruukoneen ke-
hitys ja koelaittevalmistus

Sakari Pinomäki

Sakari Pinomäki Ky

Pinotie 3, 33470 Ylöjärvi

Puh. 03 3480 700

PUUY18 Haketta tuottavien koneiden
suunnittelu ja valmistus

Jorma Issakainen

Kesla Oyj

Kuurnankatu 24, 80110 Joensuu

Puh. 013 682 841

E-mail: jorma.issakainen@kesla.inet.fi

PUUY16 Hakkuutähteen tiivistykseen perustuvan niputuslaitteiston kehittäminen

Fredrik Pressler

Biowatti Oy

Revontulentie 6, 02100 Espoo

Puh. 01046 585 07,

faksi: 01046 694 298

E-mail: fredrik.pressler@metsaliitto.fi

PUUT13 Hakkeen hankinnan työvaiheiden kehittäminen, lähikuljetus ja hakkeen varastointi

Teuvo Rasimus

Savonlinnan ammatillinen

aikuiskoulutuskeskus

Telakkatie 9, 57230 Savonlinna

Puh. 015 575 8236, faksi: 015 575 8290

E-mail: teuvo.rasimus@

akk.savonlinna.fi

PUUY14 Hakkuutähteen kuljetuksen täysperävaunun yhdistelmä

Jaakko Silpola

Vapo Oy Energia

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5644, faksi: 014 623 5707

E-mail: jaakko.silpola@vapo.fi

PUUT20 Hakkeen autokuljetuksen logistiikka

Antti Asikainen

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014-672 611, faksi 014-672 597

E-mail: antti.asikainen@vtt.fi

PUUY12 Metsien biomassan nostaminen odelliseksi uusiutuvan energian vaihtoehdoksi, yritysryhmähanke

Arto Timperi

Plustech Oy

PL 306, 33101 Tampere

Puh. 0204 80 4683, faksi: 0204 80 4690

E-mail: arto.timperi@fi.timberjack.com

PUUY15 Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjäverkostosta hakkeen tuottamisessa

Mikko Jäkälä

Koneyrittäjien liitto ry

Sitratie 7, 00420 Helsinki

Puh. 09 566 00124, faksi: 09 563 0329

E-mail: mikko.jakala@koneyrittajat.fi

PUUY07 Puupolttoaineklinikka II-III

Dan Asplund

Jyväskylän Teknologikeskus Oy

PL 27, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 4451 112, faksi: 014 4451 199

E-mail: dan.asplund@jsp.fi

PUUY19 Risutukkitekniikka suurimitaisessa puupolttoainehankinnassa

Juha Poikola

Pohjolan Voima Oy

PL 40, 00101 Helsinki

Puh. 050 3133 278, faksi: 09 6930 6335

E-mail: juha.poikola@pvo.fi

PUUY21 Hakkuutähteen hankinnan ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä

Timo Hartikainen

Joensuun Tiedepuisto Oy

Länsikatu 15, 80110 Joensuu

Puh. 013 263 7214, faksi: 013 2637449

E-mail: timo.hartikainen@carelian.fi

PUUY24 Syöttösiilipurkaimen kapasiteetin säädön kehittäminen

Esko Saarela

Raumaster Oy

Nortamonkatu 32, 26100 RAUMA

Puh. 02-83774231, faksi: 02-8223801

E-mail: esko.saarela@raumaster.fi

LAATU JA KÄYTTÖ

PUUT06 Ensiharvennuspuun
hyödyntäminen

Raimo Alén

Jyväskylän yliopisto

PL 35, 40351 Jyväskylä

Puh. 014 260 2562, faksi: 014 602 501

E-mail: raimo.alen@jyu.fi

PUUT07 Kuorintajätteen käsittely (P)

Risto Impola

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 542, faksi: 014 672 597

E-mail: risto.impola@vtt.fi

PUUT08 Erilaisten korjuuketjujen
tuottaman metsähakkeen käyttö suurten
voimaloiden leijurerroskattiloissa

Markku Orjala

VTT Energia,

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 534, faksi: 014 672 596

E-mail: markku.orjala@vtt.fi

PUUT09 Puupolttoaineiden
laadunhallinta-varastointitekniikoiden
vaikutukset puupolttoaineiden
kuivumiseen ja laadun hallintaan
kannolta polttoon

Kari Hillebrand

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 675, faksi: 014 672 597

E-mail: kari.hillebrand@vtt.fi

PUUT15 Mekaanisen
metsäteollisuuden sivutuotteiden
poltteknisten ominaisuuksien
parantaminen

Raija Kuoppamäki

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 540, faksi: 014 672 598

E-mail: raija.kuoppamaki@vtt.fi

PUUY08 Kiinteän polttoaineen varas-
toinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus-
ja syöttöjärjestelmän kehittäminen

Antti Nurmi

BMH Wood Technology Oyj

PL 32, 26101 Rauma

Puh. 02 831 5236, faksi: 02 822 1327

E-mail: antti.nurmi@bmf.fi

PUUT19 Puupolttoaineille soveltuvat
vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät

Risto Impola

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 542, faksi: 014 672 597

E-mail: risto.impola@vtt.fi

PUUY10 Seospolttoaineiden toimitus,
käsittely, sekoittaminen ja syöttö –
MF2

Timo Järvinen

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 692, faksi: 014 672 597

E-mail: timo.jarvinen@vtt.fi

PUUT18 Puupolttoaineen laadun ja
tuotantotehokkuuden parantaminen ha-
ketus- ja murskaustekniikkaa kehittä-
mällä

Ismo Nousiainen

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 670, faksi: 014 672 597

E-mail: ismo.nousiainen@vtt.fi

PUUY09 Ilmanpaineisen

CFB-kaasutustekniikan kehittäminen
oljelle ja muille agrobiopolttoaineille
soveltuvaksi (P)

Matti Hiltunen

Foster Wheeler Energia Oy

PL 66, 48601 Karhula

Puh. 010 393 3335, faksi: 010 393 3309

E-mail: matti_hiltunen@fwfin.fwc.com

PUUT17 Metsäteollisuuden vastapaine-
voimantuotannon tehostaminen

Pekka Ahtila

Teknillinen korkeakoulu

PL 4100, 02015 TKK

Puh. 09 451 3618

E-mail: pekka.ahtila@hut.fi

PUUY20 Kehityspuuteohjelma Oy Al-
holmens Kraft Ab:n biopolttoaineiden
tuotantomenetelmien, vastaanoton ja
varastoinnin kehittämiseksi sekä poltto-
prosessin optimoimiseksi

Juha Poikola

Pohjolan Voima Oy

PL 40, 00101 Helsinki

Puh. 050 3133 278, faksi: 09 6930 6335

E-mail: juha.poikola@pvo.fi

PUUT21 Biopolttoaineen ja hiilen seos-
poltto

Veli-Pekka Heiskanen

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014-672533, faksi: 014-672 597

E-mail: veli-pekka.heiskanen@vtt.fi

PUUT24 Puupolttoaineiden vaikutus
voimalaitoksen käytettävyyteen

Markku Orjala

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014- 672 534, faksi: 014-672 597

E-mail: markku.orjala@vtt.fi

PUUT25 Vaneri- ja lastulevyteollisuuden
sivutuotteiden seospolton savukaa-
supäästöt – esitutkimus

Raili Vesterinen

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014- 672 574, faksi: 014-672 598

E-mail: raili.vesterinen@vtt.fi

SEURANNAISVAIKUTUKSET

PUUT10 Hakkuutähteen korjuun vaiku-
tukset metsän uudistamiseen

Timo Saksa

Metsäntutkimuslaitos

Suonenjoen tutkimusasema

77600 Suonenjoki

Puh. 017 513 8300, faksi: 017 513 068

E-mail: timo.saksa@metla.fi

PUUT11 Puuenergiaketjujen ympäris-
tönäkökohtien hankekokonaisuus

Helena Mälkki

VTT Kemianteekniikka

PL 14031, 02044 VTT

Puh. 09 456 6442, faksi: 09 456 7043

E-mail: helena.malkki@vtt.fi

PUUT14 Biomassan tehostetun taltee-
noton seurannaisvaikutukset metsässä

Juha Nurmi

Metsäntutkimuslaitos

PL 44, 69101 Kannus

Puh. 06 874 3219, faksi: 06 874 3201

E-mail: juha.nurmi@metla.fi

PUUY17 Suopohjien metsitys hiilinie-
luiksi ympäristövaikutukset halliten

Pirkko Selin

Vapo Oy Energia

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5752, faksi: 014 623 5707

E-mail: pirkko.selin@vapo.fi

PUUT22 Puuenergian käyttö ja kasvi-
huonekaasujen rajoittaminen

Margareta Wihersaari

VTT Energia

PL 1606, 02044 VTT

Puh. 09 456 5808, faksi: 09 456 6538

E-mail: margareta.wihersaari@vtt.fi

PUUT23 Puupolttoaineiden radioaktiivisuuden vaikutus tuhkan käyttöön
Virve Vetikko
PL 14, 00881 Helsinki
Puh. 09 759 884 35
E-mail: virve.vetikko@stuk.fi

KANSAINVÄLISET PROJEKTIT

PUUT16 Uusien bioenergiateknikoiden kilpailukyky-IEA/Bioenergy
Yrjö Solantausta
PL 1601, 02044 VTT
Puh. 09 456 5517, faksi: 09 460 493
E-mail: yrjo.solantausta@vtt.fi

JOHTORYHMÄN RAHOITTAMAT SELVITYKSET

PUUJ01 Hakkuutähdehakkeen korjuun ohjeistaminen
Tage Fredriksson
Puuenergia ry
Soidinkuja 4, 00700 Helsinki
Puh. 09 156 2247, faksi: 09 1562 433
E-mail:
tage.fredriksson@tapio.mailnet.fi

PUUJ02 Metsähakkeen käyttökartoitus
Pentti Hakkila
VTT Energia
PL 1604, 02044 VTT
Puh. 09 456 6672, faksi: 09 456 5000
E-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

PUUJ03 Puuenergian tutkimus- ja kehitystyön sekä käytön asema EU:ssa
Ismo Nousiainen
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 670, faksi: 014 672 596
E-mail: ismo.nousiainen@vtt.fi

PUUJ04 Esiselvitys kanto- ja juuripuun polttoainekäytön mahdollisuuksista
Ari Erkkilä
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 684, faksi: 014 672 749
E-mail: ari.erkkila@vtt.fi

PUUJ05 Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käyttötalouteen
Jouni Hämäläinen
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 529, faksi: 014 672 597
E-mail: jouni.hamalainen@vtt.fi

PUUJ06 Pellettien tuotantokustannukset eri laitoskytkennöillä
Martti Flyktman
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 539, faksi: 014 672 597
E-mail: martti.flyktman@vtt.fi

DEMONSTRAATIO-PROJEKTIT

PUUD1 Hakkuutähteiden lähikuljetusyksikkö ja varastokontti (liittyy projektiin PUUT13)
Savonlinnan ammatillinen aikuiskoulutuskeskus

PUUD2 Irtohakkuutähteen kuljetusauto (liittyy projektiin PUUY04)
Kuljetusliike Hakonen ja Pojat

PUUD3 Hakkuutähteen paalaus kone (liittyy projektiin PUUY04)
Ris-Esset Ab Oy

PUUD4 Metsähakkeen terminaalituotanto (liittyy projektiin (PUUY06)
Vapo Oy Energia

PUUD5 GIANT-hakkuri (liittyy projektiin PUUY03)

Kotimaiset Energiat Ky

PUUD6 Rumpuhakkuri TT-1310RML (liittyy projektiin PUUY05)

Tmi Hake-Energia Kari Vainikka

PUUD7 Hakkuutähteen kaukokuljetus (liittyy projektiin PUUY06)

Vapo Oy Energia

PUUD8 Hakkurikonttiautot

Biowatti Oy

PUUD9 Hakkuutähteen paalaus kone

Konepalvelu Hölrin Oy

PUUD10 Rumpuhakkuri TT-1310

RML

Hakeyhtymä Kankaanmäki

PUUD11 Suoraan kaukokuljetusyksiköön purkava palstahakkuri

Biowatti Oy

PUUD12 Käyttöpaikkamurskain

Oy Alholmens Kraft Ab

Tietoa ohjelmasta Internetistä:

<http://www.tekes.fi/ohjelmat/puuenergia>

englanninkielinen

<http://www.tekes.fi/english/programm/woodenergy>

T= tutkimuslaitoshanke

Y= yrityshanke

J= johtoryhmän rahoittamat selvitykset

D= demonstraatiohankkeet

P = päättynyt projekti

Tuotannon suunnittelu

Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka – PUUT01

Antti Asikainen¹, Tapio Ranta² & Juha Laitila¹

¹Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013-251 4042, faksi 013-251 4567

e-mail: antti.asikainen@joensuu.fi

²VTT-Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014-67 2722, faksi 014-67 2799

Abstract

Project title in English: Cost factors and large scale procurement of logging residues

The scale of energy wood procurement effects on productivity and costs of harvesting. As the harvested amounts become greater, forest fuels must be recovered on larger geographic area. Hauling distances become longer and residues must be gathered on less favorable areas from harvesting cost point of view. Knowledge on cost factors are needed in order to direct the harvesting to right logging sites and also in planning of operations. Selection of suitable harvesting method calls for information on the effect of conditions at the logging sites on productivity and costs.

In this study, effect of cost factors on different harvesting systems are compiled. In addition to existing studies, additional time studies have been made. Harvesting systems are then compared on large geographic area.

1. Tausta

Energiapuun talteenoton kasvaessa korjuu joudutaan ulottamaan entistä suuremmalle maantieteelliselle alueelle. Lisäksi aikaisempaa epäedullisemmat leimikot on otettava korjuun piiriin, jotta käyttöpaikkojen polttoaineen tarve saadaan täytettyä. Korjuumenetelmät reagoivat eri tavoin olosuhteiden muutokseen. Kun polttoraaka-aineen hankintasäde on pieni, ovat kilpailukykyisiä menetelmät, joiden terminaalikustannukset tai kuljetusmatkasta riippumattomat kustannukset ovat edullisia. Maan eri osissa hakkuutähteen kertymät vaihtelevat voimakkaasti hakkuiden kokonaisvolyymien ja puulajisuhteiden mukaan. Käyttöpaikkakustannukseen vaikuttaa erityisesti tiestö, vesistöt ja peltojen osuus ja vuositason tarjolla olevan hakkuutähteen määrä pinta-alayksikköä kohti laskettuna.

Tietoja hakkuutähteen korjuun kustannustekijöistä tarvitaan valittaessa eri toimintaolosuhteisiin parhaiten soveltuvaa korjuuketjuja. Suorien korjuukustannusten lisäksi on otettava huomioon toiminnan organisoimisen aiheuttamat kustannukset. Tässä suhteessa edullisia ovat sellaiset korjuumenetelmät, jotka voivat hyödyntää olemassa olevia teollisuuspuun korjuun ja kuljetuksen ohjausjärjestelmiä.

2. Tavoite

Hankkeen tavoitteena on mahdollistaa suuryritysten hakkuutähteen laajamittainen talteenotto osana teollisuuspuun tai turpeen hankintaa. Tavoitteena on selvittää hakkuutähtehakkeen kustannusrakenne ja tutkia miten laajamittainen hakkuutähteen talteenotto vaikuttaa kustannusrakenteeseen. Lisäksi selvitetään, miten erilaiset korjuukohteiden valintakriteerit (kuusivaltaisuus, leimikon koko) sekä hakkuutähteen kuivattaminen vaikuttavat korjuukustannuksiin. Toimitusketjujen pullonkaulat pyritään paikallistamaan ja kustannusrakenneselvityksen kautta tunnistetaan ne hankintaketjujen kohdat, joissa on kehityspotentiaalia.

3. Projektin toteutus

Projektissa kerättiin olemassa oleva aikatutkimus- ja seurantatieto teollisuusmitakaavan hakkuutähteen korjuuketjuista ja sitä täydennettiin aikatutkimuksin.

Tutkittavia korjuuketjuja olivat palsta- ja tienvarsihaketukseen perustuvat ketjut sekä käyttöpaikkahaketukseen perustuvat risutukki- ja irtorisuketjut.

Aikatutkimuksilla selvitettiin leimikkotekijöiden vaikutusta hakkuutähteen metsäkuljetuksen ja palstahaketuksen tuottavuuteen. Selittäviksi leimikkotekijöiksi on valittu metsäkuljetusmatka ja hakkuutähteen ajouranvarsitiheys. Työvaiheittain on tarkasteltu metsäkuljetusmatkan vaikutus kuormien ajojen ajanmenekkeihin palstalta tienvarteen ja ajouranvarsitiheyden vaikutus kuormausajon ajanmenekkiin.

Raaka-aine- ja olosuhdetekijöiden suhteen on tehty parittaisia vertailuja seuraavasti: kuusi/mänty, tuore/kuiva ja kesä/talvi. Tienvarsihaketuksesta ja –murskauksesta on tehty seuranta- ja aikatutkimusten avulla vastaavat parittaiset vertailut. Työkoneen koko ja erikoisvarustelu on otettu huomioon vertailuissa.

Aikatutkimusten perusteella laadittiin ajanmenekki-funktiot korjuuketjun eri työvaiheille, jossa ajanmenekki on määritelty työvaiheittain ko. ajanmenekkiin vaikuttavan leimikkotekijän suhteen. Työvaihekohtaisten ajanmenekki-funktioiden pohjalta laskettiin regressiomallit hakkuutähteen metsäkuljetukselle ja palstahaketukselle. Tienvarsivarastohaketukselle laskettiin materiaalikohtaiset tuottavuudet. Kaukokuljetuksen ajoajat laskettiin puutavara-autojen ajanmenekki-funktiolla ja kuormaus- ja purkuajat koottiin saatavilla olevista aikatutkimuksista. Tuottavuusfunktiot vietiin myös Excel-pohjaiseen laskentamalliin, joka toimitettiin johtoryhmässä oleville organisaatioille.

Lisäksi tarkasteltiin hakkuutähdehakkeen saatavuutta maan eri osissa sekä hankinnan volyymin vaikutuksia hakkeen käyttöpaikkahintoihin. Tarkastelu perustui kolmen suuren metsäteollisuusyrityksen vuoden 2000 päätehakuuleimikkoaineistoon.

4. Tulokset

4.1 Metsäkuljetus

Metsätraktorilla suoritettavalle hakkuutähteen metsäkuljetuksen tehotuntituottavuudelle estimoitiiin regressiomalli, jossa selittävinä muuttujina olivat metsäkuljetusmatka, kuorman koko ja ajouranvarsitiheys.

$$y = 10,80 - 0,015x_1 + 0,42x_2 + 0,21x_3$$

missä,

y = metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus, m^3/h

x_1 = metsäkuljetusmatka, m

x_2 = kuormakoko, m^3

x_3 = ajouranvarsitiheys, $m^3/100$ m.

Vastaava regressiomalli maataloustraktorilla tehtävälle hakkuutähteen metsäkuljetukselle:

$$y = 5,21 + 0,0054 \times x_1 + 0,20 \times x_2 + 0,18 \times x_3$$

missä,

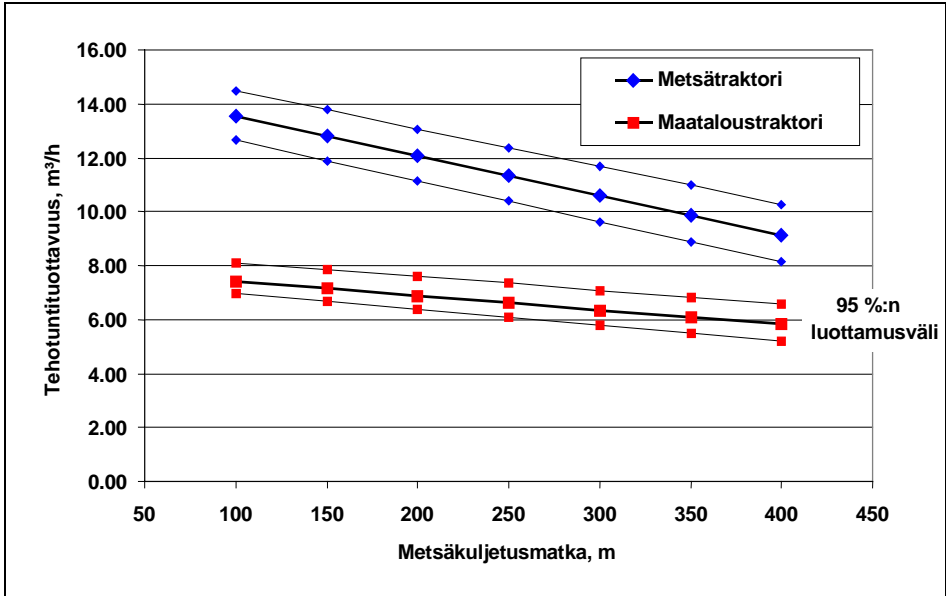
y = metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus, m^3/h

x_1 = metsäkuljetusmatka, m

x_2 = kuormakoko, m^3

x_3 = ajouranvarsitiheys, $m^3/100$.

Malleilla lasketut hakkuutähteen metsäkuljetuksen tehotuntituottavuudet metsäkuljetusmatkan funktiona metsä- ja maataloustraktorille on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tehotuntuottavuus, m³/h lineaarisella regressiomallilla laskettuna, kuormakoko 5 m³ ja ajouranvarsitiheys 10 m³/100 m.

4.2 Palstahaketus

Palstahaketuksen tehotuntuottavuudelle estimoitiiin regressiomalli, jossa selittävinä muuttujina olivat metsäkuljetusmatka, hakkuutähteen ajouranvarsitiheys sekä hakekuorman koko kiintokuutiometreinä.

$$y = 7,69 - 0,010x_1 + 0,49x_2 + 0,21x_3$$

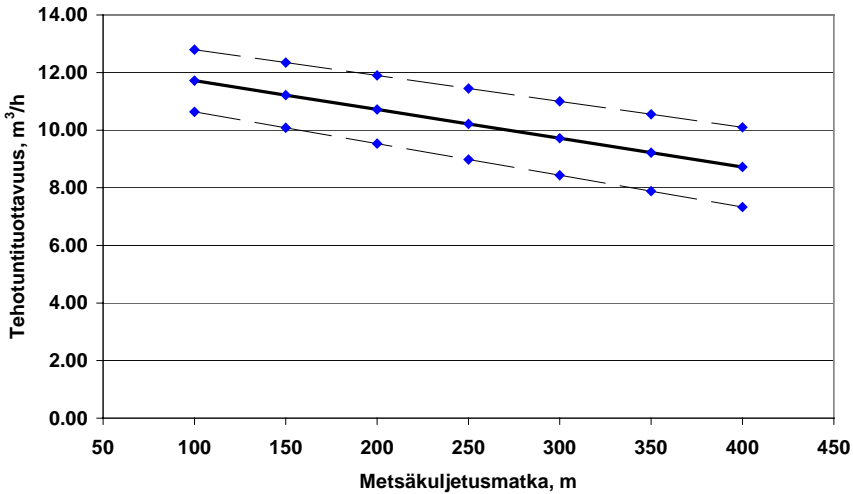
y = tehotuntuottavuus, m³/h

x₁ = metsäkuljetusmatka, m

x₂ = kuormakoko, m³

x₃ = ajouranvarsitiheys, m³/100 m.

Kuvassa 2 esitetään lineaariseen regressiomalliin perustuvat tuottavuuskuvaajat hakkuutähteen palstahaketukselle. Luottamusväli kuvaa sitä virhemarginaalia, mikä syntyy kun osavaiheisiin perustuva malli linearisoidaan regressiomalliksi.



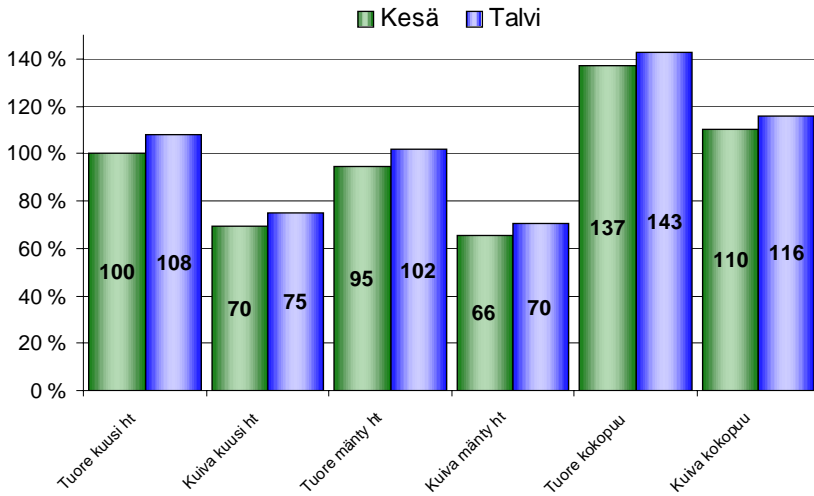
Kuva 2. Hakkuutähteen palstahaketuksen tehotuntituottavuus, m^3/h , lineaarisella regressiomallilla laskettuna, kuormakoko $6 m^3$, ajouranvarsitiheys $10 m^3/100 m$.

4.3 Tienvarsivarastohaketus

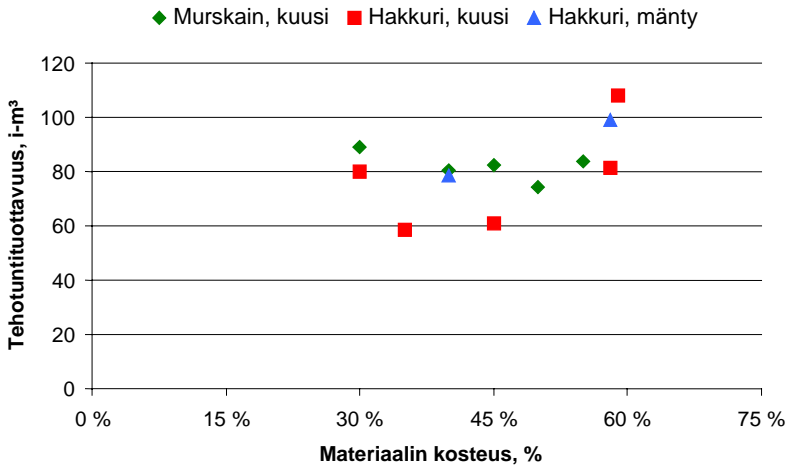
Tulosten mukaan hakettava materiaali ja raaka-aineen kosteus vaikuttavat haketuksen tuottavuuteen voimakkaasti (kuva 3.) Kokopuun haketuksen tuottavuus on suurempi kuin hakkuutähteen haketuksen tuottavuus, mikä johtuu pääasiassa materiaalin tehokkaammasta syötöstä mutta myös haketusominaisuuksista. Raaka-aineen kuivussa hakkurin tuottavuus alenee, sillä kuivan materiaalin leikkauslujuus on korkeampi. Murskaimen tuottavuuteen hakkuutähteen kuivuminen ei juurikaan vaikuta (kuva 4).

Myös vuodenaika vaikuttaa haketuksen tuottavuuteen. Talviolosuhteissa haketuksen tuottavuus on hieman suurempi kuin kesäolosuhteissa. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että jäätynyttä hakkuutähdettä on helpompi syöttää hakkuriin ja

toisaalta kitka hakkurin eri osissa on jäätyneellä materiaalilla alhaisempi. Jäätyneen materiaalin rakenne särkyy helpommin, minkä tuloksena haketuksen vaatima voima vähenee ja tuotos kasvaa.



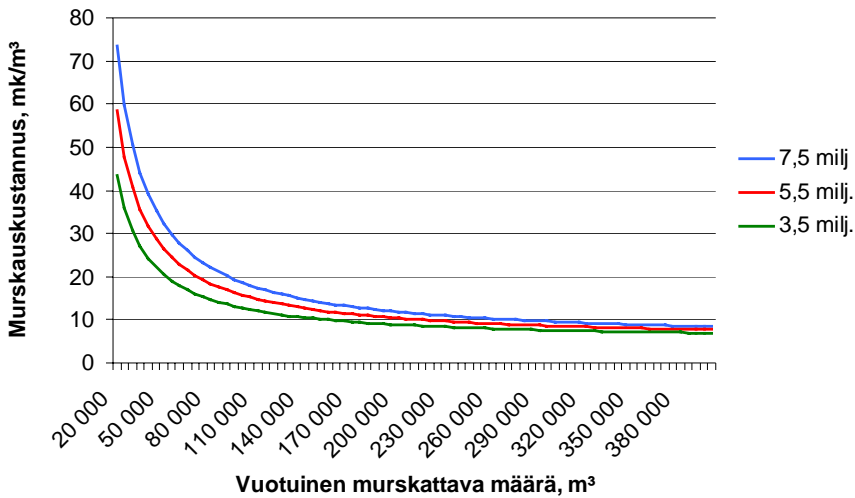
Kuva 3. Hakkurin suhteellinen tuottavuus eri materiaaleilla. Tuore kuusihakkutähte kesäolosuhteissa = 100 % = 83 i-m³/tehotunti.



Kuva 4. Materiaalin kosteuden vaikutus hakkurin ja murskaimen tuottavuuteen.

4.4 Hakkuutähteen käyttöpaikkahaketus tai -murskaus

Tutkimuksessa selvitettiin keskitetyn haketuksen kustannukset investoinnin ja vuotuisen käyttömäärän mukaan. Kiinteän haketus- tai murskausaseman hinnaksi oletettiin 3,5, 5,5 tai 7,5 miljoonaa markkaa, pitoajaksi 10 vuotta, koroksi 8 % ja jäännösarvoksi 0 markkaa. Pääomakulut laskettiin annuiteettimenetelmällä. Huolto, energia ja teräkuluiksi oletettiin 5 mk/m³ ja henkilöstökuluiksi 250 000 mk/vuodessa.



Kuva 5. Käyttöpaikkamurskauksen kustannukset määrän ja investointikustannusten mukaan.

Laskelman perusteella käyttöpaikkamurskauksen kustannukset vakioituvat, kun vuosittain murskattava määrä ylittää 200 000 m³.

4.5 Kaukokuljetus

Hakeautojen ajonopeuksista ei ole tehty kattavaa tutkimusta. Vaikka kalusto poikkeaa voimansiirroltaan ja mitoitukseltaan puutavara-autoista, on useimmissa tutkimuksissa käytetty hakkeen autokuljetuksessa puutavara-autojen ajonopeusfunktioita (mm. Asikainen 1995, Lehtoranta 1999, Ahonen ja Tervo 2000). Täs-

sä tutkimuksessa kaukokuljetuksen ajonopeudet kuormattuna- ja tyhjänä laskettiin puutavaran autokuljetukseen perustuvista yhtälöistä:

$$v_k = -0,44591 + 31,695 \log(l) \text{ ja}$$

$$v_t = 5,7917 + 30,630 \log(l),$$

missä

v_k = ajonopeus kuormattuna, km/h

v_t = ajonopeus tyhjänä, km/h

l = ajomatka, km.

Hakkuutähteiden kuljetukseen rakennettu auto muistuttaa rakenteeltaan puutavara-autoa. Auton laidat ja pohja on katettu teräslevyillä ja runko on vahvistettu, koska hakkuutähteen repiminen kasasta irti ja kuorman tiivistäminen kuormaimella rasittaa rakenteita enemmän kuin normaali ainespuun kuormaus. Hakkuutähteauton kuormain on myös normaalia puutavarakuormainta järeämpi kuormauksen tehokkuuden ja kuorman tiivistämisen takia (Sauranen ja Vesisenaho 1996). Raumalla toimivan hakkuutähteauton kuormatilan kehystilavuus on 130 m³. Kuormakoko on ollut tällä yhdistelmällä keskimäärin 27 m³ (Rinne 2001, suull. tiedonanto). Kuormauksen ajanmenekki on tutkituissa kuormissa ollut 3,83 min/m³ ja purkamisen 1,04 min/m³ (Korpilahti 2000, suull. tiedonanto).

Risutukkien kaukokuljetus tapahtuu tavallisella puutavara-autolla, johon normaalisti sopii 68 risutukkia (Backlund 2001, suull. tiedonanto). Ainespuun kuljetukseen rakennetun auton enimmäismitat ovat: pituus 22 metriä, leveys 2,6 metriä ja kokonaispaino 60 tonnia. Risutukkien etu muihin menetelmiin verrattuna on se, että puuautot voivat kuljettaa risutukkien ohella samassa kuormassa myös muuta puutavaraa, joilloin täysillä kuormilla ajaminen lisääntyy. Risutukeilla voidaan myös lisätä puutavara-autojen vuotuista ajosuoritetta. Kuljetettaessa risutukkeja puutavara-autolla kuormasta tippuvat neulaset ja oksanpalat voivat aiheuttaa ongelmia. Kuormatilassa pankkojen väli ei saa olla liian pitkä, jotta risutukit eivät painu mutkalle ja mene rikki (Korhonen 1999, suull. tiedonanto).

Risutukkien kuormaus- ja purkuajoista ei ole saatavissa julkaistua tutkimustietoa. Koska risutukki muistuttaa normaalia ainespuuta, voidaan kuormauksen ja

purkamisen ajanmenekkinä käyttää ainespuun kuormausaikaa 45 min ja purkuai-
kaa 25 min. Kuorman koko on 37 m³, jos risutukkien keskitilavuudeksi oletetaan
0,55 m³,

Hakkeen autokuljetuksessa yleisin autotyyppi on täysperävaunuyhdistelmä:
Kaksi kolmannesta metsähakeajoneuvoista on täysperävaunuyhdistelmiä ja noin
kolmannes vaihtolava-autoyhdistelmiä. Vaihtolava-autoissa noin kahdella kol-
mesta on käytössä kolmen kontin järjestelmä ja noin kolmannes ajaa kahden
kontin järjestelmällä. Suurimmille metsähakkeen toimittajille tehdyn kyselyn
pohjalta voidaan arvioida, että Suomessa on tällä hetkellä 60–70 hakeautoa,
jotka ajavat päätoimisesti metsähaketta (Taulukko 1).

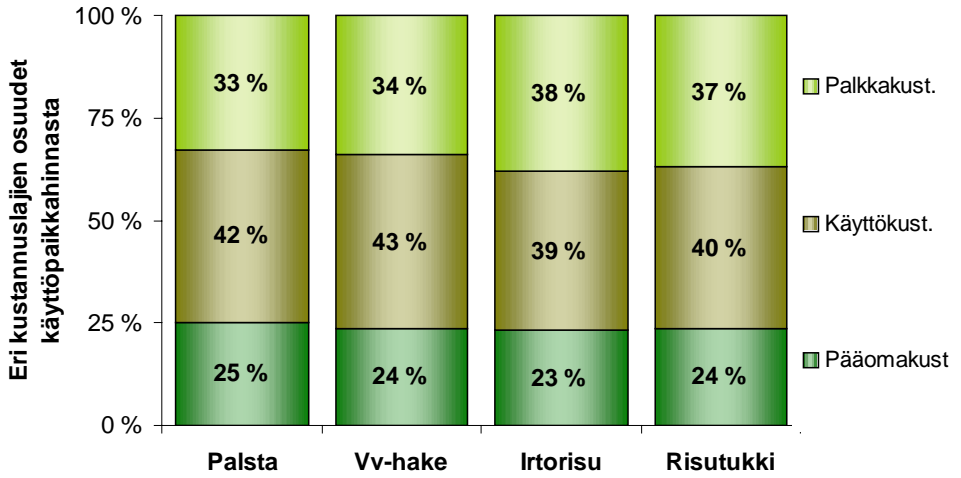
*Taulukko 1. Metsähakeautokaluston jakautuminen eri ajoneuvotyyppisiin
(Asikainen ym. 2000).*

	Täysperä- vaunuyhd.	Vaihtolava- autoyhd.	Puoliperä- vaunuyhd.	Pelkkä vetoauto	Muu	Yht.
Kpl	36	18	1	1	2	58
%	62	31	2	2	3	100

Täysperävaunuyhdistelmän kuorman koko on 44 m³, kuormausaika 1,6 h ja pur-
kuaika 0,5 h. Vaihtolava-auton kuormakooksi 42 m³, kuormausaika 0,8 h ja pur-
kuaika 0,5 h. Käytännössä nämä luvut vaihtelevat paljon olosuhteiden mukaan.
Perusteellinen tutkimus hakeautojen terminaaliajoista onkin tarpeen (Asikainen
ym. 2000).

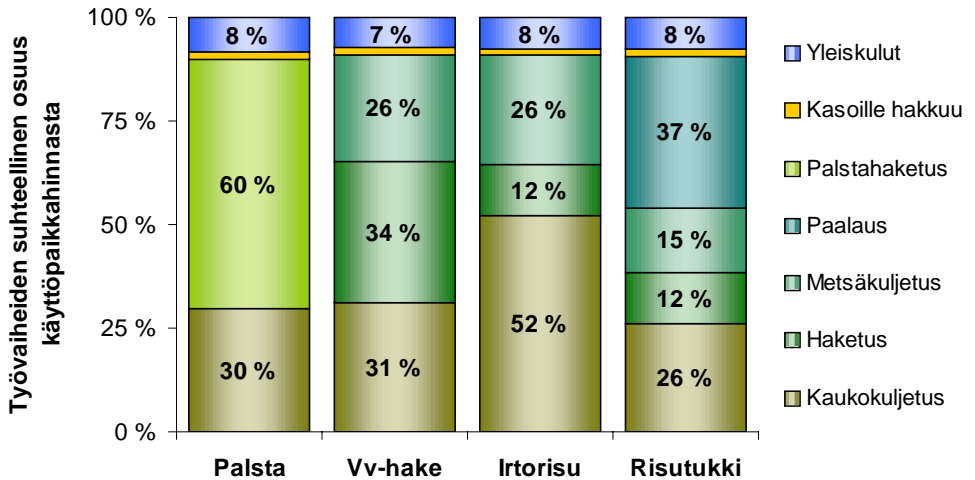
4.6 Hakkuutähdehakkeen tehdashinnan kustannusrakenne

Eri toimitusketjujen välillä ei ole suurta eroa palkka-, käyttö- ja pääomakustan-
nusten osuuksissa koko käyttöpaikkahinnasta (kuva 6). Käyttökustannuksilla tar-
koitetaan tässä koneiden muuttuvia kustannuksia palkkakustannuksia lukuun
ottamatta.



Kuva 6. Palkka-, käyttö- ja pääomakustannusten osuudet hakkuutähdehakkeen tehdashinnasta.

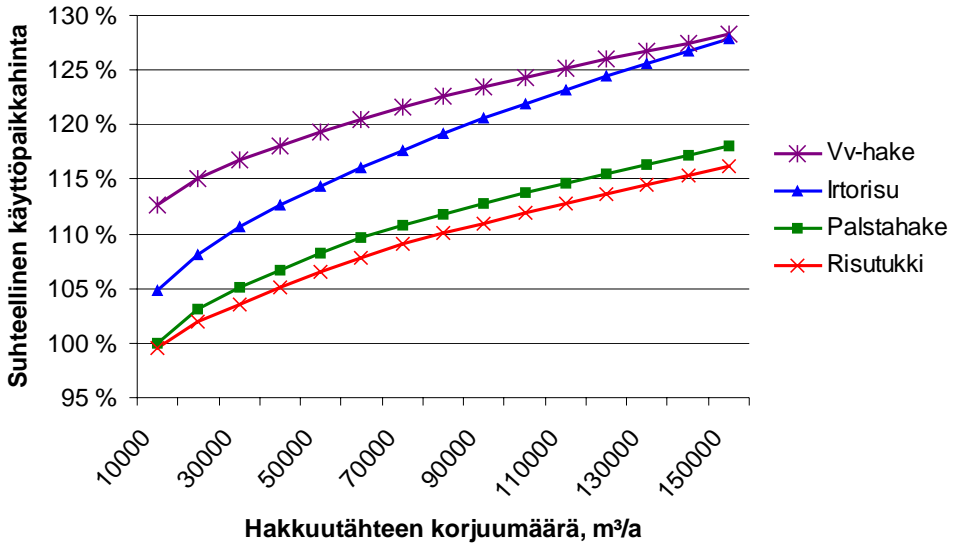
Eri käsittelyvaiheiden osuudet hakkuutähdehakkeen tehdashinnasta on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Hakkuutähdehakkeen tehdashinnan kustannusrakenne, kaukokuljetusmatka 50 km.

4.7 Hankinnan volyymin vaikutukset hakkuutähdehakkeen käyttöpaikkahintaan

Hankinnan volyyymi vaikuttaa merkittävästi käyttöpaikkahintoihin. Esimerkkilaskelma on tehty Pohjanlahden rannikolla sijaisevalle käyttöpaikalle, jonka hakkuutähteen hankinta-alue on puoliympyrän muotoinen (kuva 8). Irtorisun kaukokuljetukseen ja käyttöpaikkamurskaukseen perustuva ketju reagoi voimakkaasti vuotuisen korjuumäärään, kun taas menetelmät, joissa kaukokuljetuskuorma on suurempi, reagoivat vähemmän. Kuvan 8 välivarastohaketus- ja irtorisuketjun korkea kustannustaso johtuu osaltaan siitä, että metsäkuljetuksessa kuorman kokonaan käytettiin 5 m^3 .



Kuva 8. Hakkuutähteen vuotuisen korjuumäärän vaikutus käyttöpaikkahintaan.

5. Projektissa tehdyt julkaisut

Asikainen, A. 2000. Cost factors of fuel chip production. Nordic treasure hunt: Extracting energy from forest residues. Opet Finland. 6 s.

Asikainen, A., Ranta, T., & Laitila, J. 2001. Large scale forest fuel procurement. Woody Biomass as an Energy Source – Challenges in Europe. European Forest Institute. 25–28 September 2000, Joensuu, Finland. 8 s.

Hämäläinen, J. 2000. Hakkuutähteen varastoinnin kustannusvaikutukset metsähakkeen suurimittakaavaisessa tuotannossa. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 43 (1) s.

Korhonen, A. 1999. Hakkuutähteen korjuukustannukset ja käyttöpaikkakohtainen saatavuus UPM-Kymmenen tehtaille. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 46 (17) s.

Laitila, J. 2000. Puupolttoaineiden hankinta Oy Alholmens Kraft Ab:n voimalaitokselle. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 51 s.

Lehtoranta, T. 1999. Terminaalihakkeen toimitusketjut. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 75(11) s.

6. Viitteet

Ahonen, A. & Tervo, M. 2000. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla. Turpeen hankintaverkoston käyttö energiapuun hankintaan. Loppuraportti 1997–1999. Oulun yliopisto/Thule-instituutti. 100 s.

Asikainen, A. 1995. Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 38. 86 s.

Asikainen, A., Ranta, T. & Laitila, J. 2000. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja laajamittakaavaisen hankinnan logistiikka. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT-Symposim 205:37–54.

Asikainen, A., Ranta, T. & Vesisenaho, A. 2000. Metsähakkeen autokuljetuksen tuottavuus ja kuljetuslogistiikan ja terminaalivaiheiden VTT Energian raportteja 21/2000. 25 s.

Backlund, C. 2001. Hankintapäällikkö. UPM-Kymmene Metsä, Pohjanmaan hankinta-alue, Pietarsaari.

Korpilahti, A. 2000. Erikoistutkija. Metsäteho Oy, Helsinki. Suullinen tiedonanto.

Lahti, P. 1998. Evolution energiapuuhakkurin käyttöselvitys. Bioenergia tutkimusohjelma julkaisu 21:493–502.

Lehtoranta, T. 1999. Terminaalihakkeen toimitusketjut. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 75(11) s.

Rinne, S. 2001. YTY-Konsultointi. Säynätsalo. Suullinen tiedonanto.

Sauranen, T. & Vesisenaho T. Hakkuutähteiden autokuljetus. Bioenergian tutkimusohjelma. Keski-Suomen Metsäenergia-projekti D106. 23 s.

Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä – PUUT02

Pekka Mäkinen
Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
Puh. 09-857 05 345, faksi 09-857 05 361
e-mail: pekka.makinen@metla.fi

Abstract

Project title in English: Energy wood procurement in connection with conventional wood procurement

The research consisted of two sub-projects. The present role of forestry associations in procurement of energy wood was investigated in the first sub-project. The possibilities and willingness of them to increase the energy wood procurement were also studied. The role of forest machine and forestry service entrepreneurs in procurement of energy wood was investigated in the second sub-project. The effects of energy wood procurement on the operation of the forest machine companies in general were also studied in this sub-project. The sub-project three studied the requirements of the customer companies for the energy wood suppliers. All the material of the sub-projects was collected by personal inquiries. According to the executive directors of the forestry associations the role of the forestry associations in energy wood procurement varied between a by-stander and active participant. Active forestry associations announced the companies for stands available for cutting. They told also that they directed the harvesting to correct sites and deliver stems at the roadside. The role of the forestry association was emphasised especially when the associations on the basis of a letter of attorney carried out the timber trade. It was estimated that in the near future the operation of forest machine entrepreneurs in harvesting of energy wood would increase significantly. From the employment and turnover point of view the role of harvesting of energy wood was not seen as a significant matter. On the other hand, that harvesting of energy wood impede the harvesting of commercial timber was seen as a more

significant matter. In the future the end-users of energy wood would like to have more competition in the energy wood markets. However, the energy wood suppliers were desired to be relative large so that the reliability of deliveries could be ensured. Simultaneously as the end-users wanted to decrease the price of forest chips, the machine entrepreneurs estimated the price to increase inevitably during the next few years.

1. Tausta

Viime vuosina metsänhoitoyhdistysten hankinta- ja korjuupalvelut ovat lisääntyneet voimakkaasti. Vuonna 1994 metsänhoitoyhdistysten toimesta korjattiin jo noin 4,5 miljoonaa m³ puuta. Uusi metsänhoitoyhdistyslaki antaa yhdistyksille suuremmat valtuudet energiapuun toimittamisessa kuin muuhun jalostukseen menevän puun hankinnassa. Näin tämä laki ohjaa yhdistyksiä ponnistelemaan tällä sektorilla.

Puuenergian voi toimittaa käyttöpaikalle mm. metsäteollisuuden organisaatio, metsänhoitoyhdistyksen tai pk-yrittäjien varaan rakennettu organisaatio. Viimeksi mainituilla tarkoitetaan metsäkoneyrittäjiä, metsäpalveluyrittäjiä ja kuljetusyrittäjiä. Näiden yrittäjien halukkuutta, kykyä ja uskottavuutta energiapuun toimittajina ei ole tiedetty, koska he ovat perinteisesti toimineet ainespuun hankinnan parissa.

2. Tavoite

Tutkimuksessa oli kolme osahanketta, joiden tavoitteet olivat seuraavat:

Osahankkeessa yksi selvitettiin metsänhoitoyhdistysten nykyistä roolia energiapuun hankinnassa. Lisäksi selvitettiin niiden mahdollisuuksia ja halukkuutta lisätä osuuttaan energiapuun hankinnassa.

Osahankkeessa kaksi selvitettiin metsäkone- ja metsäpalveluyrittäjien roolit energiapuun hankinnassa. Tässä osahankkeessa selvitettiin myös, miten energiapuun korjuu vaikuttaa metsäkoneyrityksen toimintaan yleensä.

Osahankkeessa kolme on kaksi erillistä osaa. Ensimmäisessä osassa selvitettiin, mitä vaatimuksia asiakasyritykset asettavat energiapuun toimittajille? Jälkimmäisessä osassa selvitetään, mikä olisi pienyritysten rooli ja uskottavuus energiapuun toimittajina. Selvitetään, millaiset toimintamallit ja markkinoinnin keinot voisivat lisätä pk-yritysten uskottavuutta energiapuun toimittajina. Jälkimmäinen osa toteutetaan yhteistyössä Koneyrittäjien liitto ry:n kanssa. Tästä osasta kerrotaan lisää luvussa projektin jatkosuunnitelmat.

3. Projektin toteutus

Metsänhoitoyhdistysten hankinta- ja korjuupalveluista tehtiin Metsäntutkimuslaitoksessa osittain maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella laajahko tutkimus. Tässä yhteydessä kerättiin aineisto myös yhdistysten puuenergian hankintaan liittyvistä toimista. Aineisto kerättiin haastattelemalla 34 yhdistyksen edustajat.

Metsäntutkimuslaitoksessa on tehty tutkimus myös metsäpalveluyrittäjistä. Tätä tutkimusta laajennettiin koskemaan myös metsäpalveluyrittäjien roolia puuenergian hankinnassa samalla tavalla kuin metsänhoitoyhdistysten kohdalla. Perusjoukosta otettiin 10 prosentin otos eli 32 yrittäjää. Näistä saatiin haastateltua 27.

Metsäkoneyrittäjiä koskevassa osassa selvitettiin energiapuun hankinnassa toimiva metsäkoneyrittäjäkunta. Selvitys tehtiin tiedustelemalla merkittäviltä metsähakkeen hankkijoilta heidän yrittäjäkuntansa laajuutta. Tässä tutkimuksessa merkittäviksi hakkeen hankkijoiksi laskettiin seuraavat yritykset: UPM-Kymmene Oyj, Stora-Enso Oyj, Biowatti Oy, Kotimaiset energiat ky, Metsäenergia ky ja Vapo Timber Oy. Yrittäjätiedot saatiin Vapo Timber Oy:tä lukuun ottamatta. Edellä mainittujen yritysten yrittäjäkunta muodosti tutkimuksen perusjoukon. Perusjoukko oli 94 yrittäjää. Tutkimus päätettiin toteuttaa henkilökohtaisena haastatteluna. Otanta suoritettiin systemaattisena otantana koko perusjoukosta. Haastateltavaksi valittiin perusjoukon joka neljäs yrittäjä. Otokseksi saatiin 24 yrittäjää. Otoksesta haastateltiin 20 yrittäjää.

Osahankkeessa kolme tutkimuksen aineistoksi valittiin metsähakkeen loppukäyttäjiä, hankintaorganisaatioita sekä hakeyrittäjiä. Pitäydyttiin kuitenkin käyttäjissä, joilla on asiakassuhde joihinkin toimittajiin, jolloin pienet lämpövoimat jäi-

vät tutkimuksen ulkopuolelle. Näissä loppukäyttäjät usein hoitaa myös raaka-aineen hankinnan ja haketuksen sekä kuljetuksen, joten varsinaista asiakas – toimittaja suhdetta ei synny. Loppukäyttäjät valittiin otannalla Suomen Kaukolämpöyhdistys ry:n rekisteristä. Hakeyrittäjät kerättiin Koneyrittäjien liiton rekisteristä sekä kaupparekisteristä. Hankintaorganisaatioina haastateltiin ainespuun hankintaorganisaatioita sekä energiapuun hankintaan erikoistuneet yritykset. Metsähakkeen käyttäjiä ja käyttömäärää ei ole kartoitettu pitkään aikaan, joten otannan osuutta ei voi tarkasti arvioida. Haastatellut loppukäyttäjät käyttivät vuositasolla noin 350 000 MWh metsähaketta, mikä vastaa noin 450 000 i-m³. Suomen Kaukolämpöyhdistyksen rekisterin perusteella otanta edusti suurinta osaa metsähakkeen käyttäjistä ja käyttömääristä. Tässä tutkimuksessa haastateltiin 16 metsähakkeen käyttäjää metsähakkeen hankinnan organisoimisen onnistumisesta ja heidän asettamistaan vaatimuksista metsähakkeen toimittajille. Hakeyrittäjiä haastateltiin yhdeksän, jotka edustavat suurinta osaa metsähaketta tuottavista yrittäjistä Koneyrittäjien liiton yrittäjärekisterin mukaan. Suuria metsähakkeen hankintaa harjoittavia yrityksiä haastateltiin neljä. Kaikilta haastatelluilta kysyttiin koettuja ongelmia, parannusehdotuksia sekä tulevaisuuden näkymiä. Loppukäyttäjien sekä hankintaorganisaatioiden tyytyväisyyttä metsähakkeen toimitusten nykytilaan mitattiin erilaisten ominaisuuksien parittaisella vertailulla. Haastattelut tehtiin henkilökohtaisilla haastatteluilla vuosituhannen vaihteissa. Haastatteluun pyrittiin valitsemaan jokaisesta yrityksestä metsähakkeen hankinnasta tai tuotannosta vastaava henkilö.

4. Tulokset

Osahanke 1

Isohkoja (käyttö yli 500 m³/v) energiapuuta käyttäviä laitoksia ei ollut aivan jokaisen metsänhoitoyhdistyksen alueella: kolmasosa toiminnanjohtajista kertoi, ettei heidän yhdistyksensä alueella ole isohkoja energiapuun käyttäjiä. Niiden yhdistysten alueella, joissa oli isohkoja käyttäjiä, energiapuun käyttäjiä oli yhdestä viiteen kappaletta. Lähin, isohko energiapuuta käyttävä laitos oli keskimäärin 31 kilometrin päässä yhdistyksen toimipisteestä. Edellä mainitun, lähimmän laitoksen vuotuinen energiapuun käyttö oli 20 000 m³/v (mediaani). Vaihteluväli oli suuri: 700–200 000 m³/v. Energiapuun vuotuisen käytön mukaan laitoksen hankinta-alueen säde vaihteli muutamista kilometreistä 100 kilometriin,

ollen keskimäärin 47 kilometriä. Toiminnanjohtajat arvioivat vuonna 1999 energiapuuta kerätyn 6 300 m³ yhdistyksensä alueelta.

Toiminnanjohtajat kuvasivat yhdistyksensä roolia energiapuun hankinnassa sivustaseuraajasta aktiiviseen toimijaan. *Aktiiviset toimijat* kertoivat tiedottavansa leimikoista, ohjaavansa korjuuta oikeisiin kohteisiin ja järjestävänsä rankaa tienvarteen. Yhdistyksen rooli korostui erityisesti silloin, kun puukauppa oli yhdistyksen toteuttama valtakirjakauppa. Tutkimuksessa yksikään yhdistys ei ostanut ja myynyt energiapuuta omaan lukuunsa. *Sivustaseuraajat* kertoivat, että energiapuun korjuussa mukanaolo ei kiinnosta, koska korvaus energiapuun hankintatyöstä yhdistykselle on liian pieni. Noin puolet yhdistyksistä ei saanut minkäänlaista korvausta tekemästään työstä energiapuun hankinnassa.

Yhdistysten saamat palkkiot vaihtelivat melkoisesti: vaihteluväli oli 2–11 mk/m³. Yksi yhdistys veloitti 300 mk/erä ja yhdessä yhdistyksessä palkkio oli sidottu leimikosta lähtevään ainespuumäärään: 0,50 mk/ainespuu m³. Kun yhdistys sai korvauksen energiapuun hankintatyöstään, maksaja oli yleensä energiapuun käyttäjä, esimerkiksi lämpölaitos. Hieman yli puolet toiminnanjohtajista koki, että heidän yhdistyksensä alueella toimivat suuret energiapuun hankkijat (Vapo, Biowatti, UPM-Kymmene) suhtautuvat yhdistyksen toimintaan energiapuun hankinnassa positiivisesti. Vajaa kolmannes piti energiapuun hankkijoiden suhtautumista neutraalina. Vain kaksi toiminnanjohtajaa raportoi suurten energiapuun hankkijoiden suhtautuneen negatiivisesti yhdistyksensä toimintaan energiapuun hankinnassa.

Kun energiapuun korjuumääriä tarkastellaan viisi vuotta eteenpäin, kolmea toiminnanjohtajaa lukuun ottamatta toiminnanjohtajat arvioivat energiapuun korjuumäärien kasvavan. Kun vuonna 1999 korjuumäärä oli keskimäärin 6 300 m³, vuoden 2005 korjuumääräksi arvioitiin 14 300 m³, eli toiminnanjohtajat uskoivat energiapuun korjuumäärien kaksinkertaistuvan tulevan viiden vuoden aikana.

Yhtä toiminnanjohtajaa lukuun ottamatta kaikki toiminnanjohtajat sanoivat, että metsänomistajan pitäisi saada kantohintaa korjatusta energiapuusta. Lähtökohtana pidettiin sitä, ettei kantohinta saisi olla nolla-markkaa, vaan pieni nimellinen korvaus. Toisaalta toiminnanjohtajat korostivat myös sitä, että hyöty metsänomistajalle voi tulla rahan sijaan kustannussäästöinä, maanmuokkauksen helpotumisena ja metsänviljelytyön nopeutumisena. Nuorten metsien kunnostuskoh-

teissa pidettiin hyvänä jo sitä, että kustannukset saadaan katettua. Kun toiminnanjohtajilta kysyttiin sopivaa, markkamääräistä korvausta korjatusta energiapuusta, kantohintatoiveet vaihtelivat energiapuuerittäin: matalimmat toiveet olivat uudistushakkuutähteelle (1–10 mk/m³). Ensiharvennus-, ranka- ja lahopuun kantohintatoiveet olivat 5–50 mk/m³.

Energiapuun korjuuta toiminnanjohtajat arvioivat voitavan parhaiten kehittää lisäämällä energiapuun käyttöä yhdistyksensä alueella tai sen lähiympäristössä. Kunnallisia sekä teollisuuslaitosten yhteyteen rakennettavia lämpölaitoksia olikin monen yhdistyksen alueella suunnitteilla tai jo rakenteilla. Toinen asia, johon toiminnanjohtajat kiinnittivät huomiota, oli energiapuun korjuun parempi organisointi; erityisen tärkeänä pidettiin energiapuun korjuun integrointia ainespuun korjuun yhteyteen. Myös metsänomistajien innostamista omatoimiseen korjuutyöhön pidettiin tärkeänä. Toiminnanjohtajat perustelivat, että palkkatyönä monista kohteista energiapuun teko on liian kallista. Metsänomistajien motiivointiin liittyen pidettiin myös tärkeänä sitä, että energiapuulla on reaalin hinta ja että metsänomistajille maksettaisiin kantohintaa energiapuusta. Lisäksi muutama toiminnanjohtaja mainitsi, että myös yhdistyksen olisi hyvä saada pieni korvaus energiapuun hankintatyöstä.

Osahankkeiden 2 ja 3 tulokset raportoitiin edellisessä vuosikirjassa (Mäkinen 2000).

5. Tuloksien hyödyntäminen

Tulosten hyödyntämistä ajateltaessa nousee esiin kysymys: Miten metsänhoito-yhdistysten roolia voisi hyödyntää ja lisätä energiapuun hankinnassa?

Jos ja kun energiapuun käyttö lisääntyy yhdistyksen alueella, erityisen tärkeää olisi pystyä integroimaan energiapuun korjuu ainespuun korjuuseen. Yhdistykset pystyvät käyttämään vaikutusvaltaansa erityisesti silloin, kun puukappaa tehdään valtakirjoilla. Tässä mielessä tulevaisuus näyttääkin hyvältä, sillä valtakirjakauppa on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi ja valtakirjakaupan osuus näyttäisi edelleen lisääntyvän metsänhoitoyhdistysten toiminnassa.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Nyt raportoitava projekti on jo päätynyt. Projektista on jo käynnissä jatko-
projekti nimeltään: ”Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjäverkostosta hakkeen
tuottamiseksi”. Projektia johtaa Koneyrittäjien liitto ry ja projektista on oma ku-
vaus toisaalla tässä kirjassa.

7. Julkaisut ja raportit

Jäkälä, M. 1999. Metsähake – lisäansio vaiko taakka koneyrittäjälle? Koneyrit-
tämä 7:10–11.

Jäkälä, M. 1999. Energiapuun korjuun organisointi muun puunhankinnan yhtey-
dessä ja sen vaikutus metsäkoneyrittäjän toimintaan. Metsäteknologian tutkielma
MMM-tutkintoa varten. 125 s.

Jäkälä, M. 2000. Skogflis – ger det inkomst eller börda? Svensk Skogsteknik.
1:24–25.

Jäkälä, M. & Mäkinen, P. 2000. Metsäkoneyrittäjät energiapuun korjuussa. Met-
säntutkimuslaitoksen tiedonantoja 778. 20 s.

Kärhä, K. & Aarnio, J. 2001. Metsänhoitoyhdistysten puukaupallinen toiminta.
Abstract: Timber sales services of local forest management associations.

Kärhä, K. & Aarnio, J. 2001. Metsänhoitoyhdistysten puukaupallinen toiminta.
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 797. 45 s. + liitt. 14 s.

Kärhä, K., Aarnio, J. & Mäkinen P. 2000. Metsänhoitoyhdistykset puuenergian
hankinnassa. Puuenergia 3/4: 34–35.

Kärhä, K., Aarnio, J. & Mäkinen, P. 2000. Metsänhoitoyhdistysten mielestä
energiapuun lisäkäytöllä monia etuja. Metsälehti 21:19.

Kärhä, K., Mäkinen, P. & Salo, E. 2000. Metsäpalveluyrityksen menestyminen ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Success factors of service enterprises in forestry. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 768. 55 s. + liitt.

Mäkinen, P. 2000. Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205: 55–62.

Männistö, K. 2000. Asiakasyritysten asettamat vaatimukset energiapuun toimitajille. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 780. 31 s.

Männistö, K. 2000. Laatu ja toimitusvarmuutta hakkeelle. Koneyrittäjä 6:56.

Hakkuutähteen määrän arviointi koneellisen puunkorjuun yhteydessä – PUUT03

Pertti Harstela

Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 017-5138315

email: pertti.harstela@metla.fi

Nuutti Kiljunen

Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013-2513382, faksi 013-2513590

email: nuutti.kiljunen@joensuu.fi

Abstract

Project title in English: Estimation of the amount of logging residues in a harvester's data system

A method, which operates in the data processing system of a harvester and uses data from the measuring device of the harvester as the basic material for estimation of the amount of logging residues, was developed in the project by the side of mechanical wood harvesting. Regression models, by which it is possible to evaluate separately the dry matter content of the stemwood, smaller than the diameter of pulpwood, and the branches, were developed in the project. Information obtained from the stem-curve can also be used for estimation of height of the low limit of the top of a tree and the corresponding diameter. The method was tested both in practice in harvesting of logging residues and theoretically by using cross-validation method.

1. Projektin tausta

Hakkuutähteen määrän arviointi ainespuun hankinnan yhteydessä tuottaa tietoa hakkuualoilla olevista puupolttoainereserveistä sekä helpottaa ja tehostaa yrityksen puupolttoainetoimitusten suunnittelua. Arviointimenetelmän lähtökohtana pidettiin sitä, että se pohjautuu helposti saatavissa olevaan mittaustietoon, eikä vaadi muutoksia hakkuukoneeseen lukuun ottamatta pieniä lisäyksiä harvesterin tietokoneen mittausohjelmistoon.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on luoda menetelmä ja laskentamallit hakkuutähteen määrän estimoimiseksi hakkuukonemittauksen yhteydessä. Laskentamallit käyttävät lähtötietonaan harvesterin mittalaitteelta saatavaa informaatiota ja mahdollisesti leimikkokohtaista lisäinformaatiota. Malleilla lasketaan erikseen kuitupuun latvaläpimittaa ohuemman rungonosan massa ja oksien kokonaismassa. Harvesterin tietojärjestelmään ohjelmoitujen laskentamallien avulla tietojärjestelmä tulostaa arvion hakkuutähteen määrästä mittauslistaan ainespuutavaralajien lisäksi. Luotavan arviointimenetelmän luotettavuuden selvittäminen on olennainen osa hanketta. Viime aikoina hankkeessa tehty työ on ollut nimenomaan menetelmän luotettavuuden arviointia. Menetelmän luotettavuuden arviointia on vaikeuttanut sopivan validointiaineiston puuttuminen.

3. Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa käytettävä aineisto mitattiin Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvun puolivälissä. Tarkempi selvitys aineiston keruusta on julkaisussa Folia Forestalia 773. Yksikertaisesti kuvattuna aineiston keruu tapahtui sijoittamalla ympäri Suomea valituille päätehakkuuleimikoille systemaattisesti 50 m välein koealoja, joiden keskipisteen ympäriltä valittiin 10 lähintä hakkuussa kaadettavaa puuta mitattaviksi. Mallit laadittiin 2050 puusta, jotka oli mitattu 41 leimikolta.

Hakkuutähteen määrä arvioidaan tässä menetelmässä kahdessa osassa. Oksien massana ja ainespuuta ohuemman latvapuun massana. Lisäksi ainespuun laatu-

vaatimuksia täyttämättömät välileikot muodostavat yhden hakkuutähdeositteen. Niiden massa voidaan kuitenkin laskea niiden tilavuudesta kuiva-tuoretiheyden avulla, eivätkä ne tarvitse erillisiä laskentamalleja.

Mitattua aineistoa täydennettiin sovittamalla puille runkokäyrät ja laskemalla niiden avulla runkopuun kokonaistilavuudet, sekä rungon käyttöpuuosan tilavuudet 5–9 cm latvaläpimitaan asti senttimetrin välein. Kuitupuun latvaläpimittaa ohuemman latvakappaleen tilavuus laskettiin runkopuun kokonaistilavuuden ja tiettyyn läpimitaan asti lasketun käyttöpuuosan tilavuuden erotuksena. Katkaisuläpimittoja vastaavat katkaisukorkeudet määritettiin interpoloimalla runkokäyrää lineaarisesti. Runkokäyrän lineaarisuusoletus katkaisukohtien määrittämisessä ei tässä käytetyissä lyhyissä kahden metrin mittauspätkissä aiheuta oleellista harhaa tulokseen.

Laskentamallien laadinnassa käytettiin lineaarista regressioanalyysiä. Useiden muuttujien kohdalla jouduttiin tekemään logaritminuunnoksia muuttujien välisten suhteiden epälineaarisuuden tai heteroskedastisuuden poistamiseksi. Latvakappalemalleja laadittaessa arvottiin kullekin rungolle katkaisuläpimita tasajakaumasta väliltä [5,9] cm. Aineistosta poistettiin seuraavaksi sellaiset pienet puut, joiden katkaisukorkeus arvoilla kuitupuun latvaläpimitalla oli alle 20 desimetriä. Näin kyseiset ainespuulta vaadittavan mitan reilusti alittavat puut eivät aiheuta harhaa laadittaviin malleihin. Latvakappaleiden tilavuusmitat muutettiin kappaleiden kuivamassoiksi kotimaisesta tutkimuskirjallisuudesta etsittyjen kuivatuoretiheyksien ja puun ja kuoren tilavuusosuuksien avulla (Hakkila 1967, Hakkila 1989, Kärkkäinen 1985). Mallien laadintaa yksinkertaisti harvesterin mittaustekniikasta johtuvat rajoitukset käytettävillä selittäville muuttujille. Näin voitiin oksamalleista unohtaa monia usein oksamassamalleissa käytettyjä selitysvomaisia muuttujia, kuten viiden viimeisen vuoden läpimitan kasvu, puun ikä tai latvuksen leveys.

4. Tulokset

Yksittäisten puiden hakkuutähteen kuivamassa vaihtelee samassakin leimikossa varsin paljon samankokoisten puiden välilläkin. Projektissa muodostetuilla malleilla puukohtaiset virrehajonnat ovat sängen suuret. Otettaessa tarkastelun kohteeksi kaikki leimikoilta mitatut ainespuun mitat täyttävät puut ja vertailtaes-

sa leimikoita keskenään pieneen hakkuutähteen massan virrehajonta odotusten mukaisesti huomattavasti verrattuna yksittäisten puiden väliseen virrehajontaan. Kuten ennalta on voitu jo olettaa, ainespuutavaran mittauksen mukaisiin tarkkuusvaatimuksiin ei ole tässä mahdollista päästä, mikä ei ole tarkoituksenmukaistakaan.

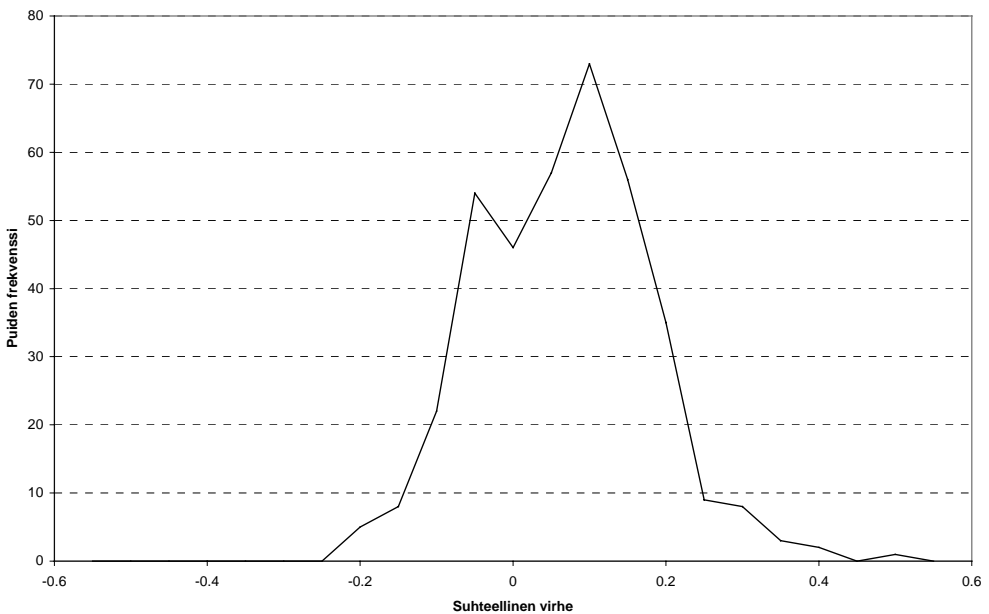
Ongelmallista hakkuutähdemallien laadinnassa on puiden runkolukusarjan leveys. Päätehakkuissakin on suurten puiden seassa runsaasti pienempiä runkoja. Tämä korostuu erityisesti kuusikoissa joihin hakkuutähteen korjuu keskittyy. Suurten puiden hakkuutähteen määrän ennustamisessa ylhäältä rungosta saatava informaatio parantaisi mallien puukohtaista ennustetarkkuutta jonkin verran. Pienistä puista vastaavilta absoluuttisilta korkeuksilta läpimittatietoa ei voida saada, joten käyttöön jouduttaisiin ottamaan useampia, erikokoisille puille tarkoitettuja malleja. Mallinnuksessa päädyttiin vain 1m tai 2m korkeudelta mitattuihin läpimittoihin.

Hakkuutähdemalleja tehtiin kahden tasoisia. Alemman tason malleissa selittävinä muuttujina käytettiin ainoastaan rungosta mitattavissa olevia tunnuksia. Ylemmän tason malleissa otettiin lisävuoksi latvuksen alarajan korkeus ja sitä vastaava rungon läpimitta. Latvuksen alarajan määrittäminen vaatii harvesterin kuljettajalta entistäkin tarkempaa keskittymistä apterauksen yhteydessä ja se lisää kuljettajaan kohdistuvaa informaatiostressiä ainakin jonkin verran. Eri tasoisten mallien keskinäistä luotettavuuseroa on tarkasteltu Puuenergian teknologian vuosikirjassa 2000. Nyt tarkempiin luotettavuustarkasteluihin otettiin ainoastaan alemman tason mallit. Latvakappalemallit puolestaan tehtiin alun perinkin pohjautuen ainoastaan rungosta saatavaan informaatioon. Selittävinä muuttujina olivat läpimitta kahden metrin korkeudella kannonkorkeudesta, ohuimman kuitupuupölkyn latvapään etäisyys kannonkorkeudesta, ohuimman kuitupuupölkyn latvaläpimitta, sekä kapenema viimeisen metrin matkalla ennen ohuimman kuitupuupölkyn latvankatkaisua.

Tarkkaan mitatun, tässä käytettyä aineistoa vastaavan validointiaineiston puuttuminen johti siihen, että oli etsittävä muita menetelmiä mittausten luotettavuuden testaamiseen. Tässä sovellettiin ristiinvalidointia ("cross-validation") (Efron 1982), eli data jaettiin leimikoittain satunnaisesti kahteen osaan. Yksittäisen leimikon kuulumisen jompaankumpaan osaan toteutettiin arpomalla.

Todennäköisyys leimikon kuulumiselle suurempaan osataan oli 0,67 ja vastavasti pienempään osataan 0,33.

Suuremmasta osasta tehtiin vastaavilla selittäjillä mallit samalla tavalla kuin varsinaiset mallit koko aineistostakin. Suuremmasta osadastasta muodostetuilla malleilla laskettiin loppuosan puille hakkuutähteen massat, joita verrattiin sitten alkuperäisen datan mitattuihin massoihin. Tätä mallinnus- ja vertailuprosessia iteroitiin 40 kertaa, jolloin saatiin todenmukaisempi kuva menetelmän luotavuudesta, kuin vertaamalla koko aineistosta laadittuja malleja saman aineiston oikeisiin kuivamassoihin. Ristiinvalidioinnin perusteella laskettu virhejakauma on kuvassa 1.



Kuva 1. Virhejakauma ristiinvalidioinnissa.

Menetelmällä päästään ristiinvalidioinnin perusteella harhakorjausta käyttäen noin 12 % leimikkokohtaiseen keskivirheeseen. Mittaukseen sisältyvä harha aiheutuu käytetyn logaritmuunnoksen oikaisusta takaisin antilogaritmiseen muotoon. Perinteisen puulajeittaiseen ainespuu-hakkuutähte -suhteeseen perustuvan estimaattorin keskivirhe leimikkotasolla on noin 28 %. Hakkuutähteen korjuussa kokonaisvirhe leimikolta saatavan hakkuutähteen määrässä muodostuu sekä kokonaismäärän arviointivirheestä sekä saanto-osuuden arviointivirheestä.

Saanto-osuudella tarkoitetaan tässä käyttöpaikalla määritetyn kuivamassan ja hakkuukoneella mitatun kuivamassan suhdetta.

Menetelmää testattiin UPM-Kymmenen työmailla Keski-Suomessa. Leimikkoaineisto kerättiin alkutalvella kosteiden säiden vallitessa, joten hakkuutähteen kuivuminen ja neulasten variseminen hakkuun ja hakkuutähteen korjuun välissä ei ainakaan päässyt vaikuttamaan saanto-osuuteen.

Taulukko 1. Esimerkkejä puupolttoaineen saanto-osuuksista erilaisissa leimikoissa.

Kasvupaikka ja puulaji	Ikä	Puupolttoaine ja sen määrä käyttöpaikalla	Saanto-osuus
MT, kuusi	100 v.	murske 210 i-m ³	81,3 %
MT, kuusi	80 v.	hake 527 i-m ³	55,2 %
MT, kuusi	85 v.	hake 496 i-m ³	60,8 %

Menetelmä on toiminut koekäytössä varsin hyvin. Sillä saadaan varsin hyvä ja edullinen arvio leimikon hakkuutähteen kokonaismäärästä. Saantovaihtelu aiheuttaa suuret 'heitot', jos tämän menetelmän avulla yritetään täsmällisesti määrittää käyttöpaikalle saatavaa polttoainemäärää. Vaihteluja on hankala selittää leimikkotekijöillä näin pienellä kokeiluaineistolla. Puuenergian teknologiaohjelman tutkijaseminaarissa 3.–4.4.2001 heräsi yleisössä kysymys, onko hakkuukoneeseen liitetty mittausmenetelmä sitten lopulta tarkempi kuin suhde-estimointi, jos virrehajonnat on kovin suuria. Käytettäessä kumpaa menetelmää tahansa joudutaan joka tapauksessa arvioimaan kokonaismäärä ja saanto-osuus. Tätä voidaan lähestyä karkeasti yksinkertaistaen varianssin yhteenlaskukaavan avulla. Käytetään kokonaismäärän mittausvirheestä merkintää e_m ja saantoarviovirheestä merkintää e_s . Tällöin näiden virheiden summan varianssi on silloin:

$$\text{Var}(e_m + e_s) = \text{Var}(e_m) + \text{Var}(e_s) + 2\text{Cov}(e_m, e_s)$$

Kuten aiemmin on jo mainittu, mittausvirheen varianssi on suhde-estimaattorimenetelmässä huomattavasti suurempi kuin tässä esitetyssä hakkuukonemittausmenetelmässä. Saanto-arviovirhe on molemmissa tapauksissa yhtäsuuri. Näin

ollen ratkaisevaan asemaan jää virheiden yhteisvaihtelua kuvaava kovarianssitermi, mikä käytännössä lienee lähellä nollaa, vaikkakin se on lähes mahdoton todistaa. Jotta hakkuukonemittaus olisi yhtä epätarkka kuin suhde-estimointi, virheiden yhteisvaihtelua kuvaavan kovarianssitermin $2\text{Cov}(e_m, e_s)$ olisi oltava hakkuukonemittauksessa huomattavasti suurempi kuin suhde-estimoinnissa. Mitään perusteltua syytä tällaiseen oletukseen ei ole.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Projektissa luotu menetelmä on ollut koekäytössä yhdessä sen mahdollisista tulevaisuuden käyttökohteista. Tällä hetkellä hakkuutähteen määrän arviointi tapahtuu Ponsse-harvesterin tulostaman STM-runkotiedoston avulla. Muilla metsäkonenevalmistajilla on mahdollisuus käyttää samoja malleja niiden tieteellisessä julkaisusarjassa julkaisemisen jälkeen. Mittausmenetelmä tarjoaa se käyttökelpoisen työkalun hakkuutähdehakkeen hankinnan logistiikan suunnitteluun ja tehostamiseen.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Leimikolta saatavan hakkuutähteen kokonaismäärän lisäksi on yhtä tärkeää tietää mikä osuus kokonaismäärästä on saatavissa talteen polttoaineena. Saanto-osuuden selvittäminen on luonteva jatko meneillään olevalle tutkimukselle. Saanto-osuuden arviointi on kuitenkin osoittautunut sangen hankalaksi, koska mittausmenetelmään sisältyvä virhe on sen verran suuri että se edellyttää suurehkon koeaineiston keruuta. Koeaineiston keruu olisi kuitenkin kohtuullisen helppo toteuttaa varsinaisen hakkuutähteen korjuun yhteydessä.

Sopivia vuodenaikaan ja hakkuutähteen varastointiaikaan pohjautuvia saantoker-toimia apuna käyttäen tällä menetelmällä saadaan erittäin edullinen ja kohtuullisen hyvä arvio hakkuutähdereserveistä, kunhan sovellus sisältyy hakkuukoneen tietojärjestelmään. Hanke päättyy elokuun lopussa 2001.

7. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Harstela, P. & Kiljunen, N. 2000. Hakkuutähteen tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205.

Kiljunen, N. 2000. Functions for estimation of the dry mass of logging residues in a harvester's data system. 16 s. Käsikirjoitus referoitavana.

8. Lähteet

Efron, B. 1982. The jackknife, the bootstrap and other resampling plans. Regional Conference Series in Applied Mathematics 38. Society for Industrial and applied mathematics. Philadelphia. 92 s.

Hakkila, P. 1967. Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 62(5):1–37.

Hakkila, P. 1989. Utilization of Residual Forest Biomass. Springer Series in Wood Science. New York. 568 s. ISBN 0-387-50299-8

Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus, Sotkamo. 415 s. ISBN 951-99628-2-4.

Metsähakkeen korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet ensiharvennuksissa – PUUT04

Matti Sirén, Vesa Tantt & Hannu Aaltio
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 Vantaa
Puh. 09-857051, faksi 09-85705361
e-mail: etunimi.sukunimi@metla.fi

Abstract

Project title in English: Wood energy harvesting conditions and their improving possibilities in first thinnings

Harvesting conditions of first thinning and their improving possibilities were studied in the project. Stem frequency distribution and harvesting conditions of first thinning stands were studied by using three different information sources: sample plot measurements, district forestry plans and National forest survey data. Amount and distribution of removal with different bucking alternatives was studied. The second research area studied the possibility of improving wood energy harvesting conditions.

Removal estimates from district forestry plans, National forest survey data and sample plot measurements differed a lot from each other. Removal estimates from sample plots were highest giving the average removal of 75.9 m³/ha of more than 7 cm stemwood. Of this removal near 40 % came from strip roads. The high removal was partly explained by heavy quality thinning including strip roads.

Possibilities to improve the harvesting conditions of forest fuel were investigated on a forestry district consisting of 3720 ha. The study was conducted on sites suitable for forest fuel recovery i.e. final fellings, first thinnings and pre-commercial thinnings. The harvestable energy wood potential and harvesting

costs were estimated by logging sites. According to results, the forest fuel output (m^3) of a supply chain based on chipping done at landing increased by 8 % and the harvesting costs (FIM/MWh) decreased by 5 %. This resulted from the centralisation of energy wood recovery in the batches of sites consisting of proprietaries of several forest owners instead of conventional recovery of separate sites.

1. Johdanto

Ensiharvennus on pitkälti metsänhoidollinen toimenpide laadukkaan sahapuun tuotantoon tähtäävässä puunkasvatuksessa. Ensiharvennuksen korjuuolot nostavat korjuukustannukset korkeiksi. Ensiharvennuksia tulisi Suomen eteläpuoliskossa tehdä noin 160 000 ha:n ja pohjoispuoliskossa noin 50 000 ha:n alalla vuosittain (Hakkila & Fredriksson 1996). Pelkästään suometsien harvennustarve seuraavan 10-vuotiskauden aikana on yli miljoona hehtaaria (Nuutinen 2000). Ensiharvennusten korjuuolot suometsissä ovat vieläkin vaikeammat kuin kivennäismailla. Ylimartimo ym. (2001) selvittivät VMI:ssä ensiharvennettaviksi ehdotettujen kohteiden korjuukelpoisuutta ojitetuilla turvemailla Pohjois-Savossa. Kohteiden korjuukelpoisuus osoittautui heikoksi. Koneellisessa korjuussa 4 % ja moto-manuaalisessa korjuussa 9 % alitti annetun korjuukustannusrajan. Ainespuukertymärajaksi asetetun $35 \text{ m}^3/\text{ha}$ täytti 38 % kohteista. Tulos osoittaa ongelmien suuruuden. Ensiharvennukset ovat paitsi haaste myös mahdollisuus. Hakkilan & Fredrikssonin (1996) mukaan ensiharvennustarvetta vastaava biomassa on $12,7 \text{ milj. m}^3/\text{a}$, josta ensisijaista energiapuuta on noin neljännes.

Esiteltävällä tutkimushankkeella oli kaksi päätehtävää. Ensiharvennusten korjuu-oloja selvitettiin aluesuunnitelmista, VMI-aineistoista ja koealamittauksin. Näin etsittiin tietoa ensiharvennusleimikoiden rakenteesta, runkolukusarjoista sekä harvennuspoistumasta erilaisilla pölytysvaihtoehdoilla. Toisena päätehtävänä oli selvittää tilakohtaisen keskittämisen ja metsänomistajien välisen yhteistyön vaikutusta nuorten metsien energiapuun korjuuseen Tarkasteluun sisällytettiin myös päätehakkuaaloilta saatava hakkuutähde ja taimikonhoitokohteiden energiapuuta.

Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaarissa vuonna 2000 esitettiin tuloksia ensiharvennusleimikoiden jakautumisesta tilavuusluokkiin (m^3/ha) pinta-alan, puuston ja hakkuukertymän suhteen sekä hehtaarikohtaiset kertymät tila-

vuusluokittain. Myös ennustemallit ensiharvennumänniköiden lähtöpuuston ja poistuman rakenteesta esitettiin (Sirén ym. 2000). Käsillä olevassa esityksessä pääpaino on harvennuskertymän rakenteessa erilaisilla pölkytysvaihtoehdoilla sekä korjuuolojen parantamismahdollisuuksia käsittelevillä tuloksilla.

2. Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

2.1 Ensiharvennusten korjuuolot

Ensiharvennusten korjuuoloja selvitettiin kolmesta lähteestä. Aluesuunnitelmien ajot tehtiin Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilta. Ajoihin otettiin mukaan kuviot, joille on ehdotettu hakkuuta seuraavalla 5- tai 10-vuotiskaudella.

Ensiharvennumänniköiden koealamittaukset tehtiin Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla. Otantakehikko olivat metsäsuunnitelmätiedoissa kiireellisesti (välittömästi tai viimeistään seuraavan viisivuotiskauden aikana) ensiharvennettaviksi merkityt mäntyvaltaiset kuviot. Leimikot valittiin paikallisilta metsänhoitoyhdistyksiltä ja metsäkeskuksilta saatujen tietojen perusteella. Mitattaviksi hyväksytyiltä kohteilta mitattiin yksi 10 m x 20 m koeala (Sirén ym. 2000).

Koealan rajaamisen jälkeen koealan keskelle leimattiin noin neljän metrin levyinen ajoura, jonka leveys mitattiin SLU-menetelmällä (Björheden & Fröding 1986). Ajourapuut jaettiin harvennuksessa poistettaviin ja ajouran takia poistettaviin puihin. Ajouran ulkopuoliselle alueelle tehtiin jäävän puuston lukumäärään ja rinnankorkeusläpimittaan perustuva laatuharvennuksen mallileimaus. Kaikista ainespuurungon mitat täyttävistä rungoista mitattiin pituus-, läpimittaja laatutiedot. Ainespuurungon mitat täyttämättömistä, mutta yli 1,3 metrin pituisista rungoista mitattiin rinnankorkeusläpimitta. Pituudeltaan 0,5–1,3 metrin puiden lukumäärä laskettiin puulajeittain. Turvemailla mitattiin myös puiden etäisyys ojan keskeltä. Mittausleimikoita oli yhteensä 66, joilta mitattiin 10 441 puuta. Näistä 5 721 oli pituudeltaan yli 1,3 metriä ja 4 723 pituudeltaan 0,5–1,3 metriä.

Koealoilta mitattujen runkojen ainespuu- ja energiapuuositteiden tilavuudet laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen Koealojen puu- ja puustotunnusten laskenta-ohjelmalla (KPL-ohjelma) (Heinonen 1994). Puuston tilavuuden laskennassa ohjelmassa käytettiin Laasasenahon (1982) simultaaniyhtälöillä laadittuja runkokäyriä. Laskenta tehtiin 5–15 cm:n ainespuuminimiläpimitalle. Pölkyn pituus oli 2,7–5,0 metriä.

Hakkuupoistuman ja kasvatettavan puuston puukohtaiset oksamassat laskettiin Hakkilan (1991) latvusmassayhtälöillä. Oksamassaan sisältyi puiden kaikkien elävien ja kuolleitten oksien massa lukuunottamatta lehtipuiden lehtiä. Latvusten puukohtaiset energiapuumassat (kg/puu) muutettiin energiapuutilavuudeksi (m³/puu) jakamalla massa puuaineen kuivatuoretiheydellä

Aluesuunnitelma- ja koalamittauksen aineistoa täydennettiin VMI 9 -aineistolla, josta laskettiin pinta-ala-, runkolukusarja- ja hakkuukertymätuloksia metsiköistä, joihin oli ehdotettu ensiharvennusta ensimmäisen viisivuotiskauden aikana. Tulokset laskettiin Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskuksien alueille. VMI-aineiston keruu, mitattavat muuttujat ja tuloslaskennan periaatteet on kuvattu inventoinnin maastotyön ohjeissa ja tulosjulkaisuissa (esim. Korhonen ym. 2000).

Laskenta-aineisto sisälsi koealoja metsäkeskuksittain seuraavasti:

	Mäntyvaltaiset	Kuusivaltaiset	Lehtipuuvallat
Häme-Uusimaa	115	122	72
Etelä-Pohjanmaa	260	25	71
Keski-Suomi	232	79	70

2.2 Korjuulojen parantamismahdollisuudet metsätalosaluetasolla

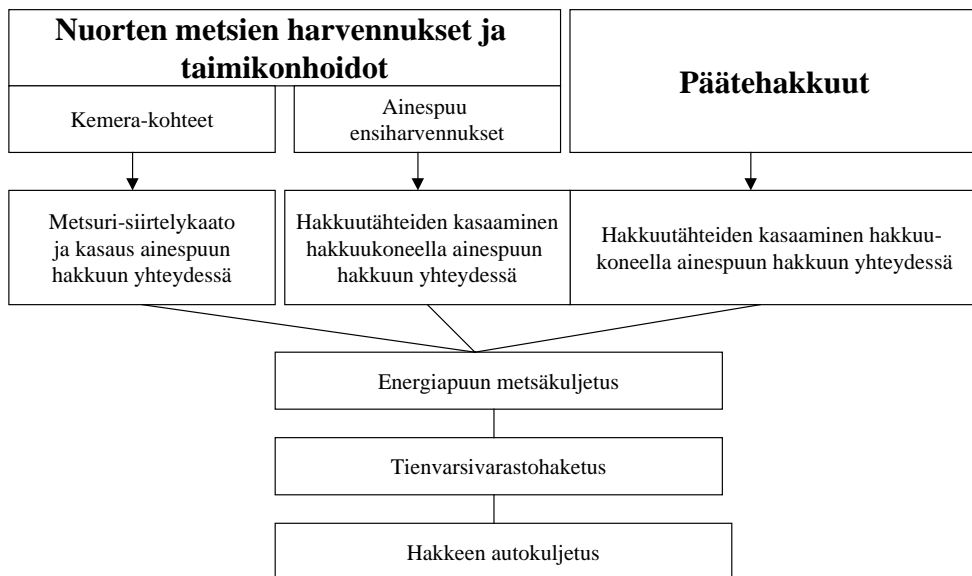
Laskenta-aineiston muodostivat Orimattilassa sijaitsevan kolmen metsätalousalueen metsäsuunnitelma- ja karttatiedot. Tarkastelualueen pinta-ala välialueineen oli noin 15 000 ha. Vuoden 1999 lopun tasolle päivitetty TASO-alueun-

nitelmatietojen metsäkuviot kattoivat alueesta 3720 ha. Tarkasteluun kuuluvien 101 tilan keskimääräinen metsäpinta-ala oli 36,9 ha ja kuvioiden keskikoko 1,4 ha.

Seuraavina 5- ja 10-vuotiskausina alueelle oli ehdotettu hakkuita 1703 kuviolle 2509 hehtaarin alalle, joka oli 67 % suunnittelualueen metsämaa-alasta. Harvennushakkuuta oli ehdotettu yhteensä 1056 kuviolle ja 1481 hehtaarille. Tästä ensiharvennuksia oli 560 kuviota ja 797 hehtaaria. Ehdotettu päätehakkua käsitte 398 kuviota ja 637 hehtaaria. Taimikonhoitoa oli ehdotettu 258 kuviolle ja 432 hehtaarille. Puulajivaltaisuuden perusteella tarkastelualueen metsiköt soveltuivat hyvin sekä päätehakkuiden hakkuutähdepuun että harvennuskuvien pienpuun korjuuseen, sillä päätehakkupinta-alasta kuusivaltaisia oli 81 % ja mäntyvaltaisia 19 %. Ensiharvennuspinta-alasta mäntyvaltaisia oli 57 %, kuusivaltaisia 21 % ja lehtipuuvallaisia 22 %.

Kuvioista valittiin potentiaaliset energiapuunkorjuuseen soveltuvat kohteet; päätehakkua-, ensiharvennus- ja taimikonhoitokuviot. Ensiharvennuskuvioista poimittiin puuston keskiläpimitta-, runkoluku- ja hakkuukertymätietojen avulla kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisen 2-kehitysluokan nuoren metsän harvennuksen tukiehdot täyttävät kohteet. Tukiehdot täyttäviä kuvioita alueella oli 174 ja ne kattoivat 29 % ensiharvennusalasta. Taimikonhoitokuvioista tarkasteluun poimittiin kuviot, joille oli annettu toimenpide-ehdotuksena MPL-taimikonhoito. Näitä oli 258 kappaletta ja 432 hehtaaria.

Alueen energiapuuvarojen hyödyntämistä tarkasteltiin eri leimikkovaihtoehtoilta, joissa korjattavat leimikot muodostuivat yksittäisistä korjuukuvioista, tilakohtaisista kuvioista ja useamman tilan korjuukuvioista muodostetuista yhteisleimikoista. Suunnitelmakauden molemmille viisivuotiskausille laadittiin leimikkovaihtoehdot. Energiapuunkorjuuta tarkasteltiin kuvassa 1 esitettävällä välivarastohaketukseen perustuvalla korjuuketjulla.



Kuva 1. Välivarastohaketuksen perustuva metsähakkeen toimitusketju. Kemera-kohteet = kestävän metsätalouden rahoituslain nuoren metsän harvennuksen tukiehdot täyttävät ensiharvennukset ja taimikon hoidot. Ainespuu ensiharvennukset = muut ensiharvennukset.

Tarkastelualueelta laskettiin korjattavissa oleva energiapuureservi. Tällä tarkoitettiin energiapuun korjuussa talteen saatavaa mitta- tai laatuvaatimusten vuoksi teollisuuden ainespuuraaka-aineeksi kelpaamatonta puumäärää, jossa on otettu huomioon energiapuun talteenoton teknilliset (korjuussa talteen saatava osa energiapuusta) ja ekologiset rajoitteet. Päätihakkuuvioiden energiapuureservi käsitti tarkasteluun poimittujen päätihakkuuiden hakkuupoistuman latvusmassan (Hakkila 1991), hukkarunkopuun sekä kuviotietojen energia- ja polttopuuosuu- den. Ensiharvennus- sekä taimikonhoitokohteiden energiapuureservi laskettiin Rantalan (1997) esittämällä malleilla. Energiapuupotentiaalista määritettiin eri leimikkovaihtoehtojen korjuukelpoinen energiapuureservi asettamalla korjuulle leimikkokohtaiset (35 m³/leimikko) ja hehtaarikohtaiset (päätihakkuut 35 m³/ha, harvennukset 25 m³/ha ja taimikonhoidot 20 m³/ha) minimikertymärajoitteet.

Energiapuun korjuulle laadittiin kustannusmalli, joka sisälsi metsähakkeen käyttöpaikalle toimittamisen osavaiheet (kaava 1). Mallissa otettiin huomioon leimi-

koiden välisistä siirroista ja työmaiden aloittamisesta sekä lopettamisesta syntyvät kustannukset erillisinä erinä. Oletuksena oli biomassan korjuu vihreänä 45 % kosteudessa. Lähtökohtana korjuukustannusten energiapuuositteelle kohdentamisessa pidettiin toimintatapaa, jossa energiapuu korjataan hakkuuta lukuunottamatta ainespuun korjuusta erillään. Hakkuuvaiheen kustannukset muodostuivat ainespuun hakkuun yhteydessä tehtävän energiapuun kaadon ja kasauksen kustannuksista. Keskimääräisenä hakkuutähteen sekä osapuun metsäkuljetusmatkana oli 200 metriä, hakkeen autokuljetusmatkana 40 kilometriä ja leimikkoetäisyytenä (leimikkojen välinen etäisyys toisiinsa nähden) 10 kilometriä. Leimikkovaihtoehtojen keskimääräinen energiapuukertymä oli päätehakuissa 62 m³/ha, ainespuu ensiharvennuksissa 40 m³/ha, kemera-harvennuksissa 38 m³/ha ja taimikonhoidoissa 26 m³/ha.

$$k = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 - y_7 \quad (1)$$

missä

k = välivarastohaketukseen perustuvan toimitusketjun kustannukset, mk

y₁ = energiapuun talteenoton hakkuukustannukset, mk

y₂ = energiapuun metsäkuljetuskustannukset, mk

y₃ = koneiden ja laitteiden siirtokustannukset, mk

y₄ = välivarastohaketuskustannukset, mk

y₅ = hakkeen kaukokuljetuskustannukset, mk

y₆ = hankinnan yleiskulut, mk

y₇ = kestävän metsätalouden rahoituslain mukainen energiapuun korjuun ja haketuksen tuki, mk.

Korjattavalle energiapuulle laskettiin kustannukset korjattua energiayksikköä (mk/MWh) kohti korjuukohteittain (kaava 2) ja koko toimitusketjun kustannukset, kun kiintokuutiometristä mäntyä saadaan 2,0 MWh, kiintokuutiometristä kuusta 2,1 MWh ja kiintokuutiometristä lehtipuuta 2,45 MWh energiaa kosteuden ollessa 45 %.

Energiapuun korjuukustannukset (mk/MWh) korjuukohteittain.

$$Mk_{MWh} = k / (z_{ma} \times 2 + z_{ku} \times 2,1 + z_{lp} \times 2,45) \quad (2)$$

missä

Mk_{MWh} = kustannukset käyttöpaikalla, mk/MWh

k = välivarastohakemukseen perustuvan toimitusketjun kustannukset, mk

z_{ma} = männyn energiapuukertymä, m^3

z_{ku} = kuusen energiapuukertymä, m^3

z_{lp} = lehtipuun energiapuukertymä, m^3 .

3. Tutkimustulokset

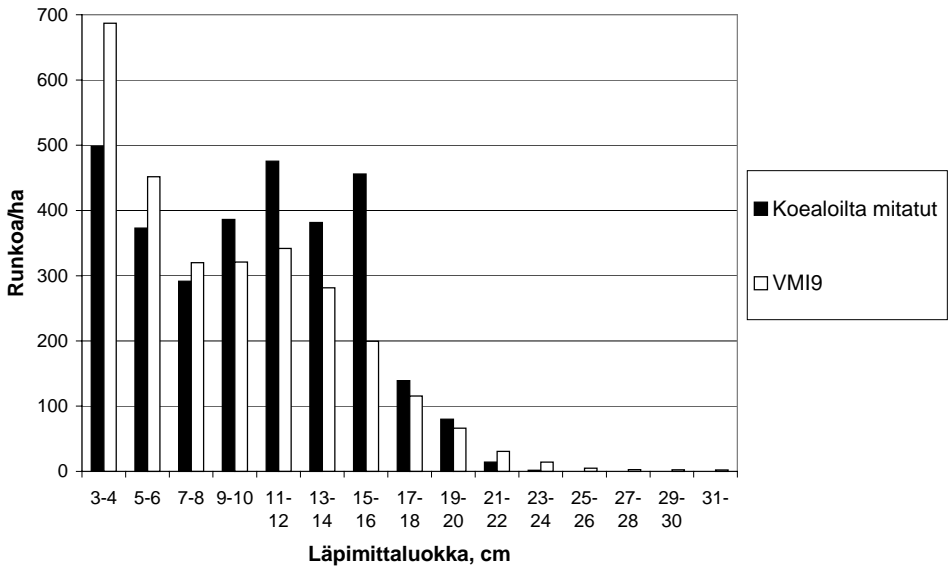
3.1 Ensiharvennusleimikoiden rakenne Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueella

Ensiharvennusleimikoiden kiireellisyysluokkaan 0–5 vuotta kuuluvilla kuvioilla keskimääräinen tilavuus Pohjois-Pohjanmaalla oli turvemaiilla $85,9 \text{ m}^3$ ja kivennäismailla $91,9 \text{ m}^3$ hehtaarilla. Keski-Suomessa vastaavat tilavuudet olivat $108,7 \text{ m}^3$ ja $116,7 \text{ m}^3$. Hehtaarikohtainen kertymä Pohjois-Pohjanmaan turvemaiilla oli keskimäärin $22,6 \text{ m}^3$ ja kivennäismailla $24,0 \text{ m}^3$, Keski-Suomessa vastaavasti $31,1 \text{ m}^3$ ja $34,7 \text{ m}^3$.

Pohjois-Pohjanmaalla kuvioiden keskikoko turvemaiilla 1,63 ha ja kivennäismailla 1,43 ha, Keski-Suomessa vastaavasti 1,59 ha ja 1,55 ha. Alle hehtaarin leimikoiden osuus kokonaispinta-alasta oli Pohjois-Pohjanmaan turvemaiilla 18,9 % ja kivennäismailla 22,8 %, Keski-Suomessa vastaavasti 18,8 % ja 19,0 %. Kokoluokan osuus kuvioiden kokonaismäärästä kuvaa pinta-alaosuuttakin paremmin leimikoiden kokojakaamaa. Alle hehtaarin kokoisten kuvioiden osuus kuvioiden kokonaismäärästä Pohjois-Pohjanmaan turvemaiilla 49,5 % ja kivennäismailla 56,1 %, Keski-Suomessa vastaavasti 48,5 % ja 50,6 % ja. Yli 5 hehtaarin kuvioita oli eniten Keski-Suomen turvemaamänniköissä, joissa osuus kuvioiden kokonaismäärästä oli 5,3 %.

3.2 Ensiharvennuskertymän runkolukusarjat

Koealamittauksiin perustuva ja vertailuna VMI-aineistoihin perustuva ensiharvennuskertymän runkolukusarja Keski-Suomen kivennäismailla esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Koealoilta mitatun ja VMI 9:n aineistosta laskettujen runkolukusarjojen vertailu Keski-Suomen metsäkeskuksen kivennäismailla. Runkoluku koealoilla oli keskimäärin 3098 ja VMI 9:n aineistossa 2 842 runkoa hehtaarilla.

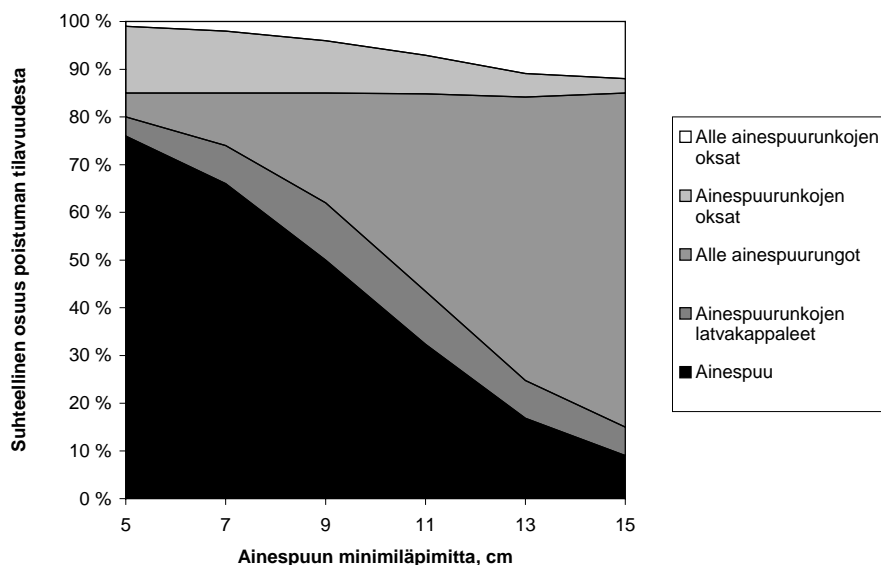
3.3 Harvennuskertymän rakenne

Koealoilta mitatut harvennuskertymät esitetään taulukossa 1. Ainespuun minimiläpimittana oli 7 cm. Käytettävän ainespuun minimiläpimitan vaikutus aines- ja energiapuuositteisiin esitetään kuvassa 3.

Harvennuskertymä oli kaikki puut mukaan lukien 3 474 runkoa/ha, josta ainespuurunkoja oli 1 118 runkoa/ha. Poistettavia alle ainespuumitan mutta yli 1,3 metrin runkoja oli keskimäärin 2 356 hehtaarilla.

Taulukko 1. Harvennuskertymä ja sen jakautuminen.

	Häme- Uusimaa	Etelä- Pohjanmaa	Keski-Suomi	Koko aineisto
	Kertymä, m ³			
Ainespuu	87,0	67,8	71,8	75,9
Energiapuu	42,5	39,8	35,9	40,0
Yhteensä	129,5	107,8	107,7	115,9



Kuva 3. Ainespuun minimiläpimitan vaikutus aines- ja energiapuuositteiden suhteelliseen määrään. Oksat sisältävät neulasten biomassan.

Korjuuteknisesti mielenkiintoinen kysymys on kertymän jakautuminen ajourille ja palstalle. Kun ajouraväli oli 20 metriä ja ajouraveveys SLU-menetelmällä (Björheden & Fröding 1986) 4,3 metriä, kertymä jakautui leimikolla taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Kertymän jakautuminen ajourille ja palstalle.

	Ajourilla		Palstalla	
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
Ainespuu	27,9	36,8	48,0	63,2
Energiapuu	10,9	27,3	29,1	72,7
Koko biomassa	38,8	33,5	77,1	66,5

Ajouraleveys vaikutti ainespuukertymän määrään voimakkaasti, sillä käytetyllä leimaustavalla lähes 40 % ainespuukertymästä saatiin ajourilta. Ajourien vaikutusta kertymään tarkasteltiin vakioimalla kaikilla koealoilla ajouraleveydeksi 3,7 metriä. Toisena vaihtoehtona laskettiin kertymä puhtaalla laatuharvennuksella ilman ajouria. Ajouraleveyden vakioimisessa toimittiin jakamalla 3,7 metriä mitatulla leveydellä. Näin saadulla luvulla kerrottiin niiden puiden lukumäärä ja kertymäositteet, jotka sisältyivät puuluokkaan ajouran takia poistetut, laatuharvennuksessa kasvatettavaan jaksoon kuuluvat puut. Taulukossa 3 esitetään harvennuskertymä ja sen jakautuminen ajouraleveyden ollessa 3,7 metriä ja toisena vaihtoehtona puhtaassa laatuharvennuksessa ilman ajouria.

Taulukko 3. Ajourien vaikutus harvennuskertymään. Vaihtoehtoina uraleveys 3,7 metriä ja puhdas laatuharvennus ilman ajouria.

	Uraleveys 3,7 m	Ei ajouria
	Kertymä, m ³ /ha	
Ainespuuta	74,0	60,7
Energiapuuta	39,5	36,3
Yhteensä	113,5	97,0

Harvennusvoimakkuus määritettiin kasvatettavan puuston runkolukuun perustuvan harvennusohjeen mukaan. Puustoltaan pienemmissä (rinnankorkeus-läpimitaluokat 13 cm ja 15 cm) leimikoissa käytetty mallileimaus oli varsin voimakas ja kasvatettavia puita jäi 10–20 % Tapion harvennusohjetta (Hyvän... 2001) vähemmän (taulukko 4). Kasvamaan jätettävien puiden keskimääräinen rinnankor-

keusläpimittaa määritettiin koealan rinnankorkeusläpimitaltaan toiseksi suurimman ja toiseksi pienimmän puun aritmeettisena keskiarvona. Laatuharvennuksesta johtuen uran ulkopuolelta poistettiin paljon myös suurempia puita.

Taulukko 4. Laatuharvennukseen perustuvan mallileimauksen ja Tapion harvennusmallien (Hyvän...2001) mukainen männikön runkolukuohje. Tapion mallin runkoluku on johdettu pohjapinta-alasta.

Kasvamaan jätettäviä puita runkoa/ha					
	Rinnan- korkeuslpm	13 cm	15 cm	17 cm	19 cm
	Valtappituus	13 m	14 m	15 m	16 m
Mallileimaus	MT, VT	950	850	750	650
Tapion malli	MT	1150–1370	900–1100	730–860	600–720
	VT	1070–1300	850–1010	690–810	560–670

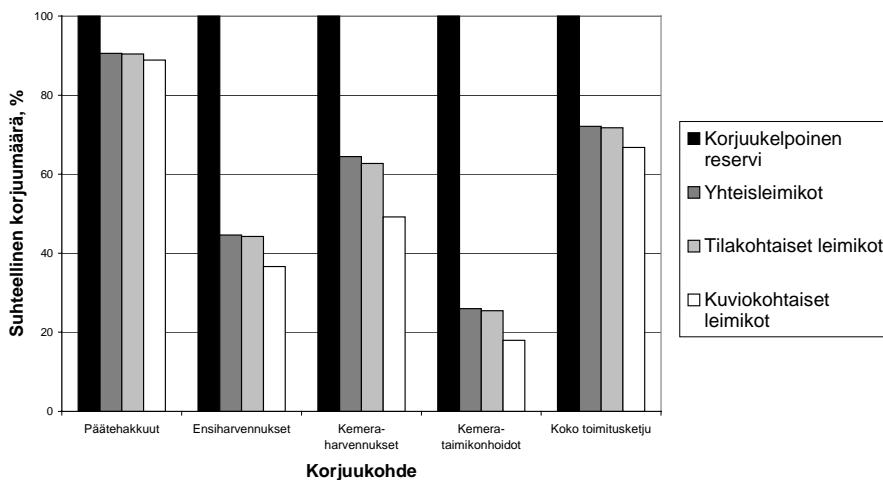
Ajourien huomioon ottaminen mallileimauksessa oli myös osasyynä alhaiseen jäävään puustoon. Ajourien vaikutusta kuvaa ajouran takia poistettujen, metsänhoidollisesti kasvatettaviin kuuluneiden puiden määrä. Taulukossa 5 esitetään ainespuiden määrä ennen harvennusta, poistuman runkoluku sekä ajouralta poistettujen, kasvatettaviksi arvioitujen puiden lukumäärä kivennäismailla.

Taulukko 5. Ainespuiden lukumäärä ennen harvennusta, poistuman runkoluku sekä ajouralta poistettujen, kasvatettaviksi arvioitujen puiden lukumäärä kivennäismailla.

Ainespuita/ha	Häme-Uusimaa	Etelä-Pohjanmaa	Keski-Suomi	Kaikki
Lähtöpuusto	2098	2071	1973	2059
Poistuma	1229	1225	1096	1194
Jäävä puusto	869	846	877	865
Ajouran takia poistetut	144	157	154	150

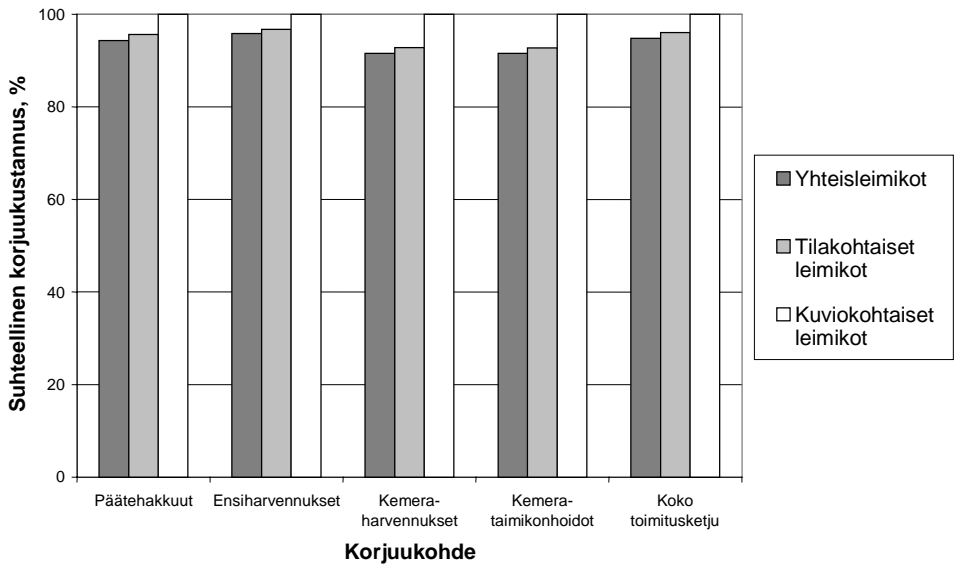
3.4 Korjuulojen parantamismahdollisuudet

Tarkastelualueen energiapuureserviksi saatiin 59370 m³, joka koostui päätehakkuiden hakkuutähteestä (33480 m³), ensiharvennuksista (14740 m³), kemera-kohteiden nuoren metsän harvennuksista (7880 m³) ja taimikonhoitokohteista (3270 m³). Eri leimikkovaihtoehtojen korjuukelpoinen energiapuumäärä vaihteli kuvan 4 mukaisesti.



Kuva 4. Eri leimikkovaihtoehtojen suhteellinen korjuukelpoinen energiapuumäärä. Korjuukelpoinen energiapuureservi = 100.

Yhteisleimikkovaihtoehdossa keskimääräiseksi metsähakkeen toimituskustannukseksi saatiin 46 mk/MWh, kun tilakohtaisessa leimikkovaihtoehdossa kustannukset olivat 47 mk/MWh ja kuviokohtaisessa vaihtoehdossa 49 mk/MWh. Päätehakkuissa kustannukset olivat 43–46 mk/MWh, ensiharvennuksissa 68–71 mk/MWh, kemera-kohteiden nuorten metsien harvennuksissa 44–48 mk/MWh (ilman kemera-tukea 74–78 mk/MWh) ja kemera-kohteiden taimikonhoidoissa 47–52 mk/MWh (ilman tukea 77–82 mk/MWh) leimikkovaihtoehdosta riippuen. Kuvassa 5 esitetään suhteelliset korjuukustannukset korjuukohteittain.



Kuva 5. Leimikkovaihtoehtojesuhteelliset metsähakkeen toimituskustannukset eri leimikkovaihtoehdoilla. Kuviokohtaiset leimikot = 100.

4. Tulosten tarkastelu

Aluesuunnitelmatietojen perusteella laskettu seuraavan viisivuotiskauden ensiharvennuskohteiden kertymä oli Pohjois-Pohjanmaalla keskimäärin 23,3 m³/ha ja Keski-Suomessa 33,9 m³/ha. Turvemaiden keskimääräiset kertymät olivat jonkin verran pienemmät kuin kivennäismailla. Puunhankintayritysten käyttämän ”nyrkkisäännön” mukaan korjuukelpoiselta kohteelta vaaditaan vähintään 30–40 m³:n ainespuukertymää hehtaarilta.

Aluesuunnitelmätietojen perusteella lasketut kertymät olivat pieniä verrattuna koealoilta mitattuihin. Ensiharvennusmänniköissä ajouran sisältämä laatuharvennus antoi ainespuukertymäksi Häme-Uusimaan metsäkeskuksen alueella keskimäärin 87,0 m³, Etelä-Pohjanmaalla 67,8 m³, Keski-Suomessa 71,8 m³ ja koko aineistossa 75,9 m³ hehtaarilla. Laatuharvennuksessa ilman ajouria koko aineiston keskimääräisen kertymä 60,7 m³. Myös VMI-aineistosta ja koeala-aineistosta lasketut runkolukusarjat erosivat toisistaan.

Kertymien eroa voidaan selittää usealla tekijällä. Mittauskoealojen otantakehikona olivat kiireellisiksi hakkuukohteiksi arvioidut ensiharvennusmänniköt. Mallileimaus tehtiin laatuharvennuksena, jossa poistettiin myös suurempia puita. Koealalle leimattiin ajoura, jolta saatiin yli kolmannes ainespuukertymästä. Tehy mallileimaus oli voimakas. Erityisesti rinnankorkeusläpimitaltaan pienemmissä kohteissa mallileimaus johti 10–20 % Tapion harvennusohjetta (Hyvän... 2001) alhaisempaan runkolukuun.

Keskittämällä energiapuun korjuuta kuviokohtaisista leimikoista tilakohtaisiin ja yhteisleimikoihin on mahdollista saada suurempi osa energiapuureservistä kannattavan korjuun piiriin ja samalla laskea korjuukustannuksia. Esimerkkilaskelman olosuhteissa välivarastohaketuksen perustuvalla korjuuketjulla metsähakkeen toimitusmäärä kasvoi 8 % ja korjuukustannukset laskivat 5 %.

Päätehakkuiden energiapuureservistä korjuukelpoista oli 90 %, ainespuuensiharvennuksista 40 %, kemera-harvennuksista 60 % ja taimikonhoitokohteista 20 %. Korjuumäärän kasvu toimintaa keskitettäessä johtui sellaisista korjuukelpoisiksi tulevista kuvioista, jotka eivät kuviotasolla täyttäneet leimikolle asetettua minimikertymää. Harvennuksissa ja taimikonhoitokohteissa yhteistyön hyödyt olivat suuremmat kuin päätehakkuaaloilla.

Kustannussäästöt syntyivät koneiden ja laitteiden pienemmistä siirtokustannuksista ja työmaiden koon vaikutuksesta työn aloittamisesta ja lopettamisesta aiheutuviin kustannuksiin. Toiminnan tehostuessa myös hankinnan yleiskulut laskivat. Korjuumäärää ja -kustannuksia tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon, että kokonaiskertymältään pienissä kuvioissa leimikkokohtaiset kustannustekijät ovat usein suuria kuvioita epäedullisemmat. Tämä saattaa hehtaari-kohtaista kertymää laskemalla pienentää leimikkokeskityksestä saatavaa etua.

Toiminnan mittakaava vaikuttaa kustannuksiin monella tavalla. Nuorten metsien pienpuuhakkeen korjuun kustannustehokkuutta voidaan parantaa keskittämällä ja yhdistämällä korjuu päätehakkuualoilla tehtävän hakkuutähteen korjuun yhteyteen. Energiapuun korjuun huomioon ottaminen jo ainespuun korjuuta suunniteltaessa mahdollistaa tehokkaan toiminnan ja korjuun organisointi sekä resurssien kohdentaminen helpottuu.

5. Lähteet

Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. In: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 52:71–76.

Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. *Folia Forestalia* 773. 24 s.

Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähteen energialähteenä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 684. 68 s.

Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 613. 92 s.

Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 504. 79 s.

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.

Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., & Tonteri, T. 2000. Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1965–99. Julkaisussa: Häme-Uusimaa. Metsävarat 1965–99, hakkuumahdollisuudet 1999–2028. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2000:489–566.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume for pine spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109. 74 s.

Nuutinen, T. 2000. Suometsät osana metsätalouden kestävyyttä. Metsätieteen aikakauskirja 2. Tieteen tori: 282–285.

Rantala, J. 1997. Havupuuvältaisten varttuneiden taimikoiden ja nuorien kasvatusemetsien energiapuun kokonaiskertymät Mikkelin ympäristössä. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. 66 s.

Sirén, M., Tantt, V., Siipilehto, J., Aaltio, H. & Mäntynen, E. 2000. Ensiharvennusleimikot metsähakkeen korjuukohteina. Abstract: Wood energy harvesting conditions in first thinnings. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205:69–85.

Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K. T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemailla. Käsikirjoitus. Hyväksytty painettavaksi Metsätieteen aikakauskirjassa. 22 s.

Rajanveto aines- ja energiapuun välillä – PUUY11

Hannu Kivelä
JP Management Consulting (Europe)
PL 4, 01621 Vantaa
Puh. 09-894 71 tai 014-339 4426,
faksi 09-879 7031 tai 014-339 4444
e-mail: hannu.kivela@poyry.fi

Abstract

Project title in English: Distinction between energy wood and industrial wood

JP Management Consulting has studied the distinction between energy wood and industrial wood based on residual value calculations. Residual value means the value that the forest product (or the industry process) can "pay" after all other costs than wood have been deducted from sales price. Residual value calculations are based on best available technology. The residual value in energy calculations is so called equivalent price, where wood is compared to corresponding solution in combustion of other fuels.

The final analysis of the data is under process. According to the preliminary results, the residual value of wood at mill/plant site in energy industry can compete with forest industry when wood is compared to heavy fuel oil. If wood is compared to peat, forest industry has clearly a better residual value than energy industry.

When residual values are studied at stump level, forest industry has a better residual value than energy industry. However, the situation might change when the subsidies paid for energy wood will be included to the analysis.

1. Tausta

Pieniläpimittaisen ja nuoren harvennuspuun käytön lisääminen on tällä hetkellä yksi tärkeimmistä metsätalouden kehittämistavoitteista Suomessa. Käytön rajoitteena on päätehakkuu- ja varttuneiden metsien harvennuspuusta poikkeavat käyttö- ja kuituominaisuudet sekä arvoketju. Nykyinen ensiharvennuspuun heikko kysyntä aiheuttaa nuoren metsän kunnostuksen sekä ensiharvennusten lykkäämistä ja laiminlyöntejä, mikä alentaa metsiemme tuotantokykyä.

Nuoren metsän kunnostuksista ja harvennuksista saatavan puun kysynnän kasvaessa puuaineksen optimaalioika energia- ja ainespuuositteiden välillä muodostuu yksityis- ja kansantaloudellisesti yhä tärkeämmäksi. Ainespuun ja energiapuun välinen rajanveto määritettiin yhdeksi lisätutkimuksia vaativaksi avainalueeksi energiapuukysymyksiä pohtineen asiantuntijaryhmän toimesta Metsäalan tutkimusohjelman (Wood Wisdom) seminaarissa elokuussa 1999.

2. Tavoite

Selvityksen tarkoituksena on jäännösarvoanalyysin pohjalta määrittää kuinka harvennushakkuista (ml. ensi- ja myöhemmät harvennukset) ja nuoren metsän kunnostuksista saatava puuainekes tulisi jakaa ainespuun ja energiapuun kesken ottaen huomioon pienpuun tekniset ja kuituominaisuudet, eri käyttökohteiden maksukyky sekä puun hankintakustannukset.

Selvityksen tavoitteena on

- määrittää sellu-, paperi- ja sahatteollisuuden sekä energiantuotannon jäännösarvo harvennushakkuista (ensi- ja myöhemmät harvennukset) ja nuoren metsän kunnostuksista saatavalle puulle
- arvioida, kuinka ainespuun minimiläpimittaan muuttaminen vaikuttaisi aines- ja energiapuun laatuun ja korjuuekonomiaan
- arvioida puun laatuun ja täsmäraaka-aineen tuotantoon perustuvat hinnoittelumahdollisuudet harvennuksista ja nuoren metsän kunnostuksista saatavan puun optimaaliseksi allokoimiseksi

- arvioida, kuinka puun optimiallokaatiota teollisuus- ja energiapuun välillä voitaisiin kehittää
- arvioida, mitkä tekijät nykylainsäädännön ja tukipolitiikan vallitessa vaikuttavat puun optimiallokaation toteutumiseen.

3. Toteutus

Projekti toteutetaan yhteistyössä Joensuun yliopiston kanssa.

Ainespuun ja energiapuun välistä rajanvetoa on tutkittu metsäteollisuuden ja energiakäytön jäännösarvoanalyysin avulla. Minimiläpimitan lisäksi on selvitetty leimikkotekijöiden ja kuljetusetäisyyden vaikutusta puustamaksukykyyn. Läpimitan vaikutus ainespuun saantoon; korjuu-, kuljetus-, kuorinta- ja haketuskuuluihin; prosessihävikkiin ja sellunsaantoon on määritetty olemassa olevien tutkimuksen valossa ja otettu huomioon jäännösarvolaskelmissa.

Jäännösarvo määrittelee sen maksimihinnan, minkä jalostaja voi puuraaka-aineestaan maksaa sen jälkeen kun muut kustannustekijät (ml. pääoma) on vähennetty lopputuotteiden pitkän aikavälin trendihinnalla. Jäännösarvo soveltuu eri teollisuuden alojen puuraaka-aineen hintatason/maksukykyyn määrittelyyn. Se antaa kuvan eri teollisuuden alojen ja lopputuotteiden kilpailukykyistä raaka-aineen suhteen.

Jäännösarvolaskelmat perustuvat tämän hetken parhaaseen teknologiaan. Pääomakustannukset on laskettu 20 vuoden pitoajalle, ja pääoman tuottoasteena (ROCE) on käytetty metsäteollisuudessa 13 % ja energiantuotannossa 8 %. Energiantuotannon jäännösarvo on ns. ekvivalenttihinna kilpailevan polttoaineen käyttöratkaisuun nähden. Kaikkien energiantuotantolaitosten on oletettu olevan suunniteltuja kiinteän polttoaineen polttoon (ml. puu).

Tuotteiden myyntihinta

- alennus
- myyntipalkkio
- kuljetus

= Tuotteen nettohinta tehtaalla

- muuttuvat kustannukset (paitsi puukustannukset)
- kiinteät kustannukset
- pääomakustannukset

= Jäännösarvo tehtaalla

- kaukokuljetuskustannus
- energiaositteiden valmistus- ja keräilykustannus
- hakkuukustannus

= Jäännösarvo kannolla

Kuva 1. Jäännösarvon laskentamalli.

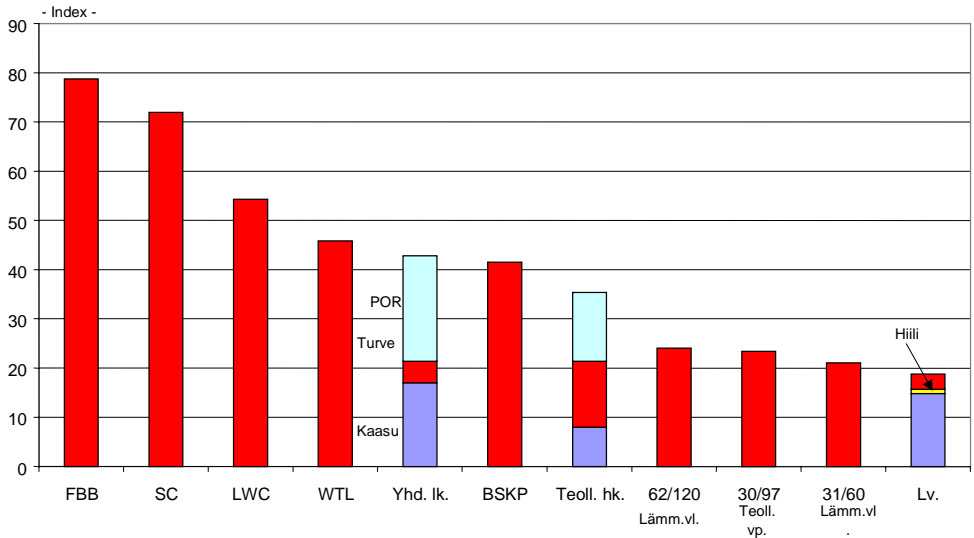
Leimikkotieto perustuu VMI aineistoon. Hakkuu, haketus- ja kuljetuskustannukset sekä leimikosta saatavan puuaineksen jakaantuminen tavaralajeihin perustuvat Joensuun yliopiston tekemiin laskelmiin.

4. Tulokset

Projektin tuottama aineisto on vielä osittain analysoimatta. Analyyseissä energiantuotannon jäännösarvo on laskettu vertailuhintana eri polttoaineisiin nähden. Tuloksia tulkittaessa on muistettava, että raskaaseen polttoöljyyn verrattaessa laskelma koskee tilannetta jossa harkitaan investoimista uuteen kapasiteettiin. Turvelaitosten kohdalla jäännösarvoa voidaan soveltaa varauksin myös olemassa oleviin laitoksiin.

Alustavien tulosten mukaan energiakäyttö kilpailee jäännösarvoanalyysin perusteella männyn harvennushakkuista saatavasta ainespuusta raskaaseen polttoöljyyn verrattaessa. BSKP:llä on laitoksen pihassa alhaisempi jäännösarvo kuin parhaalla energiantuotantovaihtoehdolla, yhdyskuntien lämpökeskuksella (vertailu-

polttoaine raskas polttoöljy POR). Turpeeseen verrattaessa metsäteollisuudella on selkeästi korkeampi jäännösarvo laitoksen pihassa kuin energian tuotannolla.

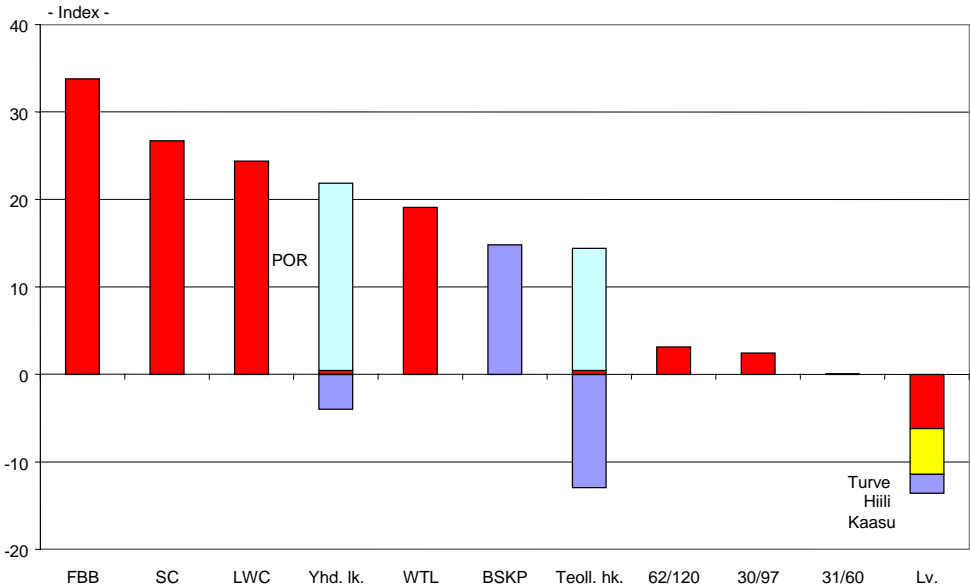


Kuva 2. Aines- ja energiapuun jäännösarvo laitoksen pihassa. Kuorellinen puu, mixed kuorinta. Laskettu männyn ja kuusen ensiharvennuksilta saatavalle kuitupuosuudelle 7 cm minimilatvaläpimitalla.

Ensiharvennuksista saatavan kuidun jäännösarvo on kuiduttavassa teollisuudessa alhaisempi kuin muista harvennuksista saatavan puun jäännösarvo. BSKP:ssä ero on sekä kuusella että männyllä suurin, ensiharvennuskuidun jäännösarvo on noin 14 % alhaisempi kuin muista harvennuksista saatavan kuidun jäännösarvo. Muissa tuotteissa ero on männyllä noin 9 % ja kuusella noin 3 %.

Tarkasteltaessa tilannetta kannolla, ainespuun jalostuskäytöllä on selkeästi parempi jäännösarvo kuin energiakäytöllä. Kuusiharvennuksilta saatavan puun jäännösarvo on energiakäytössä pienempi kuin mäntyensiharvennuksilta tulevan puun, koska kuusikossa energiaositteiden korjuukustannukset ovat suuremmat. Energiakäytön jäännösarvon pienuus kannolla johtuu haketus-kustannuksesta, joka on suurempi kuin sellupuuhun verrattuna lyhyemmän keskimääräisen kaukokuljetusetäisyyden tuoma kustannusetu.

Analyseissä ei ole huomioitu energiapuulle maksettavia tukia, mikä saattaa muuttaa tilannetta olennaisesti.



Kuva 3. Aines- ja energiapuun jäännösarvo kannolla. Kuorellinen puu, mixed kuorinta. Laskettu männyn ja kuusen ensiharvennuksilta saatavalle kuitupuosuudelle 7 cm minimilatvaläpimitalla. Energiapuun tukia ei ole sisällytetty laskelmaan.

Minimilatvaläpimitan vaikutus aines- ja energiapuun jäännösarvoon on kaikissa tutkituissa leimikkotyypeissä varsin pieni. Alustavien analyysien mukaan minimilatvaläpimitan muuttamisella on suurempi vaikutus leimikosta kertyvän aines- ja energiapuun määrään ja sitä kautta koko leimikon jäännösarvoon kuin puun laatuun ja jäännösarvoon/m³.

5. Jatkosuunnitelmat

Energiapuun tukien vaikutuksen analysointi saatetaan loppuun kesäkuussa 2001. Hankkeen aikana tuotettu materiaali ja laskentatulokset analysoidaan ja jäsenläään kesän 2001 aikana loppuraportiksi. Projekti päättyy elokuussa 2001.

6. Julkaisut ja raportit

Ohjausryhmätyöskentelyn yhteydessä projektin tuloksista on tehty useita väliraportteja. Projekti on yrityshanke, ja väliraportit ovat luottamuksellisia. Hankkeen yleisen kiinnostavuuden takia hankkeesta tehdään myös julkinen raportti. Julkinen raportti valmistuu elo–syyskuussa 2001.

Työsuorituksen määrittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksessa – PUUY22

Kaarlo Rieppo
Metsäteho Oy
PL 194, 00131 Helsinki
Puh. 09-132 5237, faksi 09-659 202
e-mail: kaarlo.rieppo@metsateho.fi

Abstract

Project title in English: Determining the output and performance in forest haulage of logging residues

The goal of the project is to develop a practicable method of determining the output of forest haulage of logging residues and find out the performance of forest haulage of logging residues. Alternative ways of determining the output are described and evaluated. The most promising method for trying out in practise has been chosen. The collections of data for testing this method and time and follow-up studies for determining the performance of forest haulage are ongoing and will be finished in September. The analyses and calculations will be ready at the end of year 2000. The project ends at January 2002.

1. Tausta

Puuenergian käyttöä pyritään voimakkaasti lisäämään. Hankinta- ja tuotantomenetelmät ovat vielä kehittyviä. Tällä hetkellä yleisintä on hakkuutähteen keruu ja kuljetus palstalta välivarastoon tienvarsihaketusta tai käyttöpaikalle kuljetusta varten. Työ tehdään perinteisellä tai laajennetulla kuormatilalla varustetulla kuormatraktorilla ja tavallisella tai tähän tarkoitukseen suunnitellulla hakkuutähdekouralla.

Menetelmän ongelmana on kuljetusmäärän arvioinnin epätarkkuus hakkuutähteen metsäkuljetuksen maksatuksen perusteeksi. Nykykäytännössä arvioidaan yrittäjittäin kuorman keskikoko ja yrittäjä ilmoittaa leimikoittain ajettut kuormat. Näin saadaan arvio leimikoittain kuljetetusta hakkuutähteen määrästä. Tämän määrän perusteella maksetaan yrittäjälle ennakkomaksu. Haketuksen jälkeen määritetyn määrän perusteella tehdään tasauslasku.

Nykyisessä menettelytavassa on ongelmana se, että joudutaan tekemään kaksi maksatusta. Tämän vuoksi leimikkotiedot on pidettävä erillään. Toisena ongelmana on maksatusten välinen aikajänne, jonka pituus vaihtelee ja on joskus jopa vuosi. Pitkän varastointiajan aikana hakkuutähdevarastossa ehtii tapahtua muutoksia, jonka vuoksi kuljetetun ja haketetun hakkuutähteen määräero voi olla jopa kymmeniä prosentteja.

Puuenergian käytön ja sitä tekevien yrittäjien lisääntyessä tarvitaan täsmällisempää tietoa hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuudesta. Tätä tietoa ei ole vielä riittävästi saatavilla.

2. Tavoite

Projektin alkuperäiseksi tavoitteeksi asetettiin käytäntöön soveltuvan hakkuutähteen metsäkuljetuksen työsuorituksen määrittämenetelmän kehittäminen. Menetelmän tulisi perustua kertamaksatukseen, ja se ei saisi sisältää pitkää viivettä työn suorituksen ja maksun määrittämisen välillä. Lisäksi menetelmän olisi sovellettava urakkatyöhön ja oltava oikeudenmukainen.

Projektin johtoryhmä laajensi myöhemmin projektin tavoitteeksi myös alustavien hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuotosperusteiden määrittämisen.

3. Toteutus

Projektin aluksi kuvattiin vaihtoehtoisia hakkuutähteen metsäkuljetuksen työsuorituksen määrittäystapoja ja tarkasteltiin niiden soveltuvuutta hakkuutähteen kuljetusurakointiin.

Edellisen perusteella kehitettiin menetelmä, jonka projektin johtoryhmä hyväksyi testattavaksi. Menetelmän testausta varten kerätään seuranta-aineistoa kesän ja alkusyksyn 2001 aikana.

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuotosperusteiden määrittämiseksi on aloitettu aika- ja seurantatutkimusaineiston keruu toukokuun lopulla 2001. Aikatutkimusaineistoa kerätään neljältä koneelta noin parilta kymmeneltä työmaalta. Aineiston keruu päättyy aikatutkimusten osalta elo-syyskuun vaihteessa ja seurantatutkimuksen osalta syys-lokakuussa.

4. Tulokset

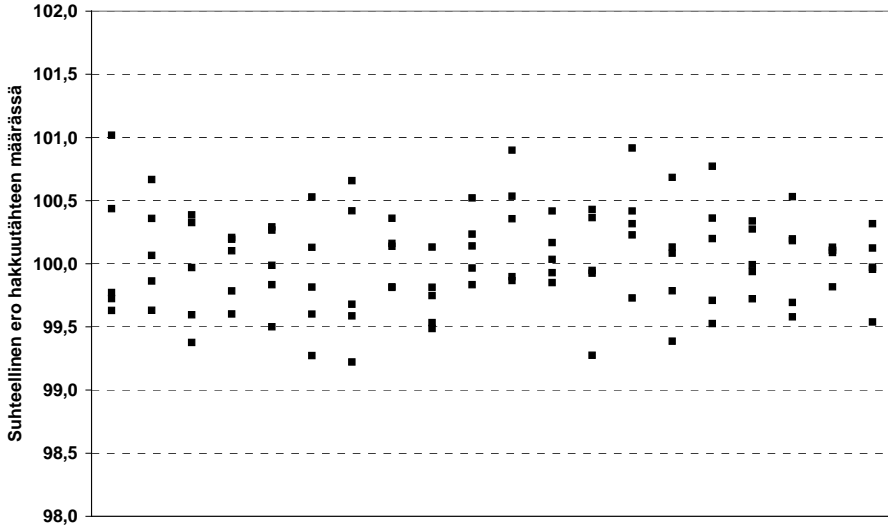
Hakkuutähteen työsuorite voidaan määrittää ainakin seuraavin menetelmin:

- Nykyinen käytössä oleva menetelmä eli arvioidaan kuorman keskikoko, joka kerrotaan yrittäjän ilmoittamalla kuormien lukumäärällä. Lopullinen laskutus tehdään haketuksen jälkeen mitatun/arvioidun hakemäärän perusteella.
- Ainespuumäärän perusteella arvioidaan hakkuutähteen määrä leimikolla. Tämä edellyttää puulajeittaista määrän arviointia. Tulosta voitaisiin korjata järjeyden mukaisella kertoimella. Hakkuutähteen saantoprosenttia on seurattava. Saantoon vaikuttaa myös hakkuujälki eli miten hyvin hakkuutähdekasat on tehty.
- Hakkuutähteen tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä (JoY:n kehittämä menetelmä). Edellyttää myös hakkuutähteen saantoprosentin selvittämistä/seurantaa.
- Hakkuutähteen punnitseminen kuormauksen yhteydessä kuormainvaa'alla tai kuormatilaan asennetulla vaa'alla. Lisäksi tarvitaan tieto tai ainakin arvio hakkuutähteen kosteudesta.
- Hakkuutähdekasan tilavuuden määrittäminen välivarastokasalla pinomitalla.
- Aikapalkkaus, joka perustuu joutuisuuteen.
- Hehtaariohtainen taksa.

Hankkeessa päädyttiin kokeilemaan nykyisestä menetelmästä edelleen kehitettyä menetelmää. Menetelmä perustuu kuljettajan ilmoittamaan kuormalukuun ja liukuvaan keskikuormakokoon ($i\text{-m}^3$). Maksatus tehdään kerralla hakkuutähteen metsäkuljetuksen päätyttyä. Maksatuksen perusteena oleva määrä saadaan kertomalla kuljettajan ilmoittama kohteelta ajettu hakkuutähteen kuormaluku konekohtaisella keskikuormakoolla. Keskikuormakoko määritetään liukuvana keskiarvona viimeisiin kontrollihaketuksiin perustuen. Kontrollihaketus on haketus, joka tehdään satunnaisesti maksimissaan tietyn kohdemäärän jälkeen heti hakkuutähteen metsäkuljetuksen päätyttyä. Kontrollihaketuksen kuormakoko on hakemäärän ja kuljettajan ilmoittaman kuormaluvun osamäärä.

Menetelmän etuja ovat yksinkertaisuus, urakkaperusteisuus ja kertamaksuluonteisuus. Liukuvaan keskiarvokuormaan perustuva menetelmä seuraa myös olosuhdemuutoksia – tosin viiveellä. Menetelmän soveltaminen ei vaadi myöskään lisäinvestointeja, joten se ei rajoita käytettävää kalustoa. Näin on helppo ottaa uusia yrittäjiä ja lisäkalustoa mukaan hakkuutähteen metsäkuljetukseen kulloisenkin tarpeen mukaan. Menetelmän etu on myös se, että se ei ole herkkä ilmoitetun kuormaluvun oikeellisuudelle, jonka vuoksi kuormamäärää ei tarvitse kontrolloida. Oheisessa kuvassa on simuloitu kuormaluvun oikeellisuuden merkitystä kehitettävässä menetelmässä. Kukin piste kuvassa tarkoittaa hakkuutähteen määränä reilua 100 000 $i\text{-m}^3$:ä (kuva 1).

Kehitetyn työsuorituksen määrittämenetelmän heikkoutena voi olla se, että keskikuormakoko vaihtelee työmaalta toiselle paljon, ts. keskikuormakoon hajonta on suuri. Tämä hajonta vaikuttaa siihen, kuinka usein on tehtävä kontrollihaketuksia keskikuormakoon määrittämiseksi, jotta saavutetaan hakkuutähteen kokonaismäärässä riittävä tarkkuus.



Kuva 1. Kuormaluvun oikeellisuuden vaikutus ilmoitettuun kuormalukuun ja liukuvaan keskikuormakokoon perustuvassa hakkuutähteen työsuorituksen määrittämisessä. Kuvan tilanteessa on oletettu, että ilmoitettu kuormaluku on satunnaisesti todellista 0–10 % suurempi. Vertailukohtana on oikeaan kuormalukuun perustuva hakkuutähteen määrä.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Sekä tuotantoketjuun että urakointiin sopiva hakkuutähteen työsuorituksen määrittäminen menetelmä poistaa tuotantoketjussa nykyiset maksatukseen ja eräkohtaiseen seurantaan liittyvät hankaluudet. Ratkaisulla olisi tuotantotaloudellisen merkityksen lisäksi positiivinen vaikutus urakoinnin ilmapiiriin ja lämpölaitosten polttoainetoimitusten ohjaukseen.

Projektissa tuotettavia hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuotosperusteita voidaan hyödyntää urakointimaksuja määrittäessä.

6. Jatkotoimet

Saatetaan aika- ja seuranta tutkimusaineistojen keruu päätökseen. Alkusyksystä 2001 tehdään kehitetyn työsuoritteiden määritysmenetelmän testaukset kerättyyn aineistoon perustuen. Määritetään hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset ja laaditaan loppuraportti. Projekti päättyy tammikuun 2002 loppuun mennessä.

Esiselvitys verkkoliiketoiminnan mahdollisuuksista Suomen energiapuu-markkinoilla – PUUY23

Jaakko Jokinen, Anna Malkönen & Hannu Kivelä
JP Management Consulting (Europe)
PL 4, 01621 Vantaa
Puh. 09-894 71, faksi 09-879 7031
e-mail: jaakko.jokinen@poyry.fi, anna.malkonen@poyry.fi,
hannu.kivela@poyry.fi

Abstract

Project title in English: Prefeasibility study of a e-business application for the energy wood markets

Finland has a national target to increase the use of forest based energy from current 0.8 million m³/a to 5 million m³/a by 2010. Realisation of the target will depend on the functionality of the energy wood markets. The objective of the prefeasibility study is to identify the best e-business applications for energy wood markets in order to achieve the targeted forest energy level by 2010.

The prefeasibility study will be ready in November, 2001.

1. Tausta

Kansallisen metsäohjelman tavoitteena on lisätä metsäenergian käyttöä nykyisestä noin 800 000 m³/v tasosta noin 5 miljoonaan m³/v tasolle vuoteen 2010 mennessä. Puupolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäystavoitteiden saavuttaminen riippuu suuresti puupolttoainemarkkinoiden toimivuudesta.

Metsähakkeen tuotannossa kriittisiä tekijöitä ovat mm. yrittäjien verkottuminen riittävän toimitusvarmuuden takaamiseksi, yrittäjien puunhankinnan toimivuus,

pienerien ja ensiharvennuspuun saanti markkinoille sekä kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen paikallistasolla. Näiden toimintojen sujuva yhteenliittäminen asettaa suuret vaatimukset informaation kululle ja jakamiselle.

Verkkoliiketoimintamallien odotetaan mullistavan kaupankäynnin tekniikan ja lisäävän asiakaslähtöisyyttä, kustannustehokkuutta sekä kysynnän ja tarjonnan kohtaamista. Uusimmat verkkoliiketoimintamallit tarjoavat paljon mahdollisuuksia nimenomaan (pien)yrityksien väliseen verkottumiseen, leimikoiden hankinnan sekä kysynnän ja tarjonnan kohtaamisen tehostamiseksi. Verkkoliiketoimintamallien soveltaminen puupolttoaineiden markkinointiin saattaisi tarjota osaratkaisun myös energiapuun käyttötavoitteiden saavuttamiseen.

2. Tavoite

Esiselvityksen tavoitteena on tutkia verkkoliiketoiminnan mahdollisuuksia edistää puuenergian käyttöä sekä lisätä kustannustehokkuutta ja kilpailua Suomen energiapuumarkkinoilla.

Työssä selvitetään verkkoliiketoiminnan vaikutusta energiapuumarkkinoiden toimintaan ja arvioidaan vaihtoehtoisten kaupankäyntimallien käyttökelpoisuutta ja toteuttamisen kannattavuutta Suomen energiapuumarkkinoilla.

Työn tavoitteet ovat

- määrittää energiapuumarkkinoiden nykyinen rakenne ja toimijat sekä arvioida tulevaisuuden markkinarakennetta eri skenaarioissa
- arvioida verkkoliiketoiminnan vaikutusta puupolttoaine-markkinoihin ja markkinoiden kehitykseen
 - analysoida verkkoliiketoiminnan vaikutuksia ja mahdollisuuksia puupolttoaineiden hankinnan arvoketjun tehostamisessa
 - arvioida verkkoliiketoiminnan vaikutuksia ja mahdollisuuksia kuljetusmatkojen ja kuljetuskustannusten optimoinnissa
 - arvioida verkkoliiketoiminnan vaikutusta toisaalta urakoitsijoiden toimintaympäristöön ja heidän toimintansa tehostamiseen sekä toisaalta energiapuun käyttäjien puunhankintaan

- määrittää energiapuumarkkinoille parhaiten soveltuva verkkoliiketoimintamalli(t) ja malli(e)n toimintaedellytykset
 - vertailla vaihtoehtoisia verkkoliiketoimintamalleja keskenään ja arvioida niiden toimivuutta energiapuumarkkinoilla
 - arvioida vaihtoehtoisten verkkoliiketoimintamallien vuosikustannukset (esimerkiksi alku- ja ylläpito-kustannukset) absoluuttisesti ja suhteessa arviolta saavutettavan toiminnan volyymiin
- kartoittaa potentiaalisia verkkoliiketoimintamallin rakentamiseen ja ylläpitoon osallistuvia partnereita ja sponsoreita.

3. Toteutus

Projekti toteutetaan JP Management Consultingin toimesta läheisessä yhteistyössä Suomen Kaukolämpöyhdistyksen, Suomen Kuntaliiton ja Koneyrittäjien liiton kanssa.

Esiselvityksessä sovelletaan pääosin jo tehtyjä tutkimuksia mm. energiapuumarkkinoiden rakenteen, eri käyttäjäryhmien (pienkäyttö, energiayrittäjät, energiantuotanto, kilpaileva käyttö), käyttäjäryhmien erityisvaatimuksien, käyttömäärien sekä todennäköisen energiapuulähteen määrittämiseen. Tulevaisuuden skenaariot määritetään uusiutuvien energialähteiden tavoiteohjelman sekä Kansallisen metsäohjelman perusteella.

Verkkoliiketoiminnan vaikutusta puupolttoainemarkkinoiden kehitykseen tarkastellaan eri skenaarioissa esim. paikkatietojärjestelmä -sovelluksen avulla. Markkinavaikutuksia tarkastellaan hankinnan arvoketjun, kuljetusmatkojen ja -kustannusten avulla. Lisäksi arvioidaan verkkoliiketoiminnan vaikutusta urakoitsijoiden toimintaympäristöön (toimituskohteiden sijainti suhteessa lähteisiin, lisääntyvät toimintamahdollisuudet, toiminnan tehostuminen). Vaikutusta energiapuun käyttäjien puunhankintaan arvioidaan hankinnan lisääntymispotentiaalin, kuljetusoptimoinnin ja kilpailun lisääntymisen kannalta.

Lyhyen historiansa aikana verkkoliiketoiminta on ehtinyt vaihtaa liiketoimintamallia useita kertoja, eikä mitään 'oikeata' ratkaisua ole olemassa. Esiselvityk-

sessä arvioidaan jo kokeiltujen ja mahdollisesti kokeilemisen arvoisien mallien soveltuvuutta ja toimivuutta Suomen energiapuumarkkinoilla.

4. Tulokset

Projekti käynnistyi kesäkuussa 2001, joten varsinaisia tuloksia ei ole vielä saatavilla.

5. Tulosten hyödyntäminen

Esiselvityksen tuloksia hyödynnetään JP Management Consultingin osaamisen kehittämisessä sekä uusien työtehtävien hankinnassa. Energiapuualalle soveltuvaan verkkosovellusmalliin liittyvää osaamista hyödynnetään mm. Euroopan markkinoille suuntautuvassa markkinoinnissa.

6. Jatkosuunnitelmat

Esiselvitys valmistuu marraskuussa 2001. Jos toimiva malli löytyy, mallin implementoimiseksi tehdään jatkoprojekti ja haetaan sille rahoitus.

7. Julkaisut ja raportit

Projektista tehdään julkinen raportti, joka valmistuu marraskuussa 2001.

Tuotanto

Kaksivaiheisen murskaimen kehittäminen puun energiajakeen tuottamiseksi – PUUT12

Arvo Leinonen, Jouko Aalto & Juha Korpi
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 611, faksi 014-672 597
e-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Development of two-stage crusher for production of wood energy fraction

The objective of the project was to investigate and develop a two-stage crusher line, which is suitable for production of energy fraction from logging residues. The crusher line consists of pre- and additional crushers. Logging residues are crushed into grain-size of 100–150 mm in the pre-crusher. Energy fraction is formed in the additional crusher. Compared with the traditional single-stage crushing and chipping the advantage of the two-stage crushing is the higher capacity and lower power demand, as well as the higher tolerance of impurities. The pre-crusher and the additional crusher of the crushing line have been acquired in the project. Test runs have been carried out with both dry and fresh spruce logging residues. The output of the two-stage crusher is high enough and the power demand low enough to reduce the crushing costs of the logging residue chips. The project has started in October 1999 and it has ended in February 2001.

1. Tausta

Haketuksen osuus hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksista on suuri. Bioenergian ohjelman mukaan Evolution-hakkuriin perustuvassa hakkuutähdehakkeen tuotantoketjussa haketuksen osuus on 33 % hakkeen kokonaistuotantokus-

tannuksista, jotka on arvioitu olevan 46 mk/MWh (autokuljetusmatka 100 km). Hakkeen tuotantokustannuksia on mahdollista eniten alentaa kehittämällä juuri haketusta.

Metsähakkeen hankinnassa on käytetty sekä haketukseen että murskaukseen perustuvia hankintaketjuja. Haketus tai murskaus voidaan tehdä joko palstalla, välivarastolla, terminaalissa tai käyttöpaikalla. Hakkureita ja murskaimia on tällä hetkellä markkinoilla suuri määrä.

Bioenergian ohjelmassa eri välivarastohakkureiden ja -murskaimien tuotos on tutkimusten mukaan vaihdellut välillä 20–80 i-m³ haketta tehotyötunnissa. Välivarastohakkureiden ja murskaimien tehontarve on suuri. 250–300 kW.

Energiapuun murskausta on mahdollista tehostaa käyttämällä esimurskainta. Esimurskaimella energiapuu esimurskataan, jonka jälkeen suoritetaan varsinainen jälkimurskaus energiajakkeen tuottamiseksi. Esimurskauksen etuna on mm. syötön tehokkuus. Tämä perustuu siihen, että murskaimen syöttöaukko saadaan esimurskaimessa isommaksi kuin yksivaihemurskauksessa. Toisaalta esimurskaimen terästä on niin väljä, että epäpuhtaudet kuten kivet ja metalliesineet eivät vaurioita murskainta. Lisäksi Paperville Oy:n kehittämässä esimurskaimessa tehontarve on saatu pieneksi uudella terätkaisulla. VTT Energian Jyväskylässä WM Ympäristöpalvelulla käytössä olevalla esimurskaimella tehontarve rakennuspuujätteen murskauksessa on ollut 16–20 kW. Tuntituotos kokeissa on ollut 10 tonnia rakennuspuujätettä. Tuntituotokseksi saadaan 50 i-m³ haketta murskeen irtotiheyden ollessa 200 kg/m³. Esimurskaimen pohjalta on mahdollista kehittää myös tehontarpeeltaan edullinen jälkimurskain. Esi- ja jälkimurskaimen väliin on lisäksi mahdollista liittää kivien ja metalliesineiden poisto. Tällöin jälkimurskaimen toiminta tulee häiriöttömämmäksi.

Alustavan kustannustarkastelun mukaan kaksivaihemurskauksella on mahdollista alentaa energiajakkeen murskaukustannuksia yli 30 %.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena oli tutkia ja kehittää kaksivaiheinen murskainlinja, joka soveltuu ensisijaisesti energiajakkeen tuottamiseen hakkuutähteestä, ensiharvennus-

puusta ja suokannoista. Murskaimen tulee soveltua myös erilaisten rakennusjätepuun ja myös muiden kuivajätteiden murskaukseen energiakäyttöön.

Kaksivaiheisella murskauksella tavoitteena oli alentaa noin 30 % metsähakkeen murskauskustannuksia. Murskauskustannus alenee uudella murskaimella pienemmän tehontarpeen, suuremman tuotoksen ja pienempien pääoma- ja huoltokustannusten avulla verrattuna perinteisiin murskaimiin ja hakkureihin nähden.

Kehittämisen lähtökohtana on Paperville Oy:n kehittämä esimurskainkonsepti, jonka pohjalta suunnitellaan myös jälkimurskain.

Kehitettävä laitteisto on mahdollista rakentaa joko ajoneuvosovitteiseksi tai kiinteäksi. Kiinteänä laitteistona sitä voidaan käyttää käyttöpaikalla. Ajoneuvokäyttöisenä sitä voidaan käyttää tienvarsi- tai terminaalimurskauksessa. Ajoneuvokäyttöisenä sitä voidaan käyttää myös hakettaessa turvesuolta nostettavat kannot suoraan tuotantokentällä.

3. Kustannusarvio ja rahoitus

Projektin kokonaiskustannusarvio oli 1 060 000 mk. Projektin rahoittivat Tekes, Biowatti Oy, Tikomet Oy, Jyväskylän Teknoliakeskus Oy ja VTT Energia. VTT rahoitti erikseen esi- ja jälkimurskaimen hankinnan, joiden arvo oli noin 600 000 mk.

4. Toimenpiteet ja aikataulu

Tutkimuksessa vuonna 1999 rakennettiin esimurskain, jolla tehtiin kokeet hakkuutähteellä ja suokannoilla. Vuonna 2000 rakennettiin jälkimurskain, joka kytkettiin esimurskaimeen. Laitteistolla tehtiin sitten kokeet hakkuutähteellä. Tutkimuksesta tehtiin loppuraportti vuoden 2001 helmikuun loppuun mennessä.

Tutkimuksen sisältö oli jaettu viiteen tehtävään:

1. Esimurskaimen hankinta ja koekäyttö 1.10.1999–15.4.2000
2. Kokeet esimurskaimella 1.5.2000–30.8.2000
3. Jälkimurskaimen hankinta ja koekäyttö 1.6.2000–31.8.2000
4. Kokeet murskainlinjalla 1.9.2000–31.12.2000
5. Raportointi 1.12.2000–28.2.2001.

Tehtävässä 1 hankittiin esimurskain.

Tehtävässä 2 murskaimella tehtiin murskauskokeet esimurskaimella hakkuutähteellä. Tutkimuksessa mitattiin murskaimen kapasiteetti, tehontarve ja murskatun jakeen raakoostumus. Koeajot tehtiin ruskealla hakkuutähteellä.

Tehtävässä 3 suunniteltiin ja hankittiin jälkimurskain. Suunnittelussa käytettiin hyväksi esimurskauksessa saavutettuja tuloksia. Jälkimurskain asennettiin esimurskaimen jälkeen, jolloin esimurskaimelta tuleva murska ohjattiin kivien ja metalliesineiden poiston jälkeen jälkimurskaimelle. Linja koekäytettiin ja saatettiin toimintakuntoon.

Tehtävässä 4 rakennetulla kaksivaihemurskainlaitteistolla tehtiin murskauskokeet ruskealla ja vihreällä hakkuutähteellä. Tutkimuksessa mitattiin murskaimen kapasiteetti, tehontarve ja murskatun jakeen raakoostumus. Tutkimuksessa tutkittiin lähtömateriaalin kosteuden ja mahdollisten epäpuhtauksien vaikutusta murskaimen toimintaan. Tulosten pohjalta laskettiin murskeen tuotantokustannus.

Tehtävässä 5 tehtiin loppuraportti vuoden 2001 helmikuun loppuun mennessä.

5. Projektin toteutus

Tutkimuksesta vastasi VTT Energia. Tutkimus toteutettiin VTT Energian, murskaimen valmistaja Paperville Oy:n, murskainterien valmistajan Tikomet Oy:n ja metsähakkeen tuottajan Biowatti Oy:n kanssa yhteistyössä.

Tutkimukseen osallistuvat yritykset muodostivat yritysverkon, jonka avulla projekti oli mahdollista toteuttaa tehokkaasti.

Tutkimuksen projektipäällikkönä VTT Energiasta toimi Arvo Leinonen.

6. Murskainlinja ja sillä suoritettut kokeet ja koetulokset

6.1 Murskainlinja ja suoritettut kokeet

Projektissa hankittiin esimurskain Paperville Oy:ltä ja jälkimurskain suunniteltiin esimurskainkonseptin pohjalta VTT Energian ja Timarcon Oy:n kanssa. Murskainlinja asennettiin VTT Energian pihalle ja se on varustettu syöttö- ja ohjauslaitteistolla (kuva 1).

Esimurskain on nopeakäyntinen vasaramurskain ja jälkimurskain on väistyväteräinen yksiroottorinen vasaramurskain. Esi- ja jälkimurskaimen käyttömooottoreiden nimellisteho oli 75 kW.

Kaksivaihemurskauslinjalla tehdyt koeajot suoritettiin VTT Energian toimiyksikössä Jyväskylässä. Ennen varsinaisia koeajoja suoritettiin esikokeita, joiden avulla tutkittiin esi- ja jälkimurskaimen toimivuutta sekä syöttölaitteiden ja kuljetushihnojen kapasiteettia.

Varsinainen koeajomateriaali oli kuusen hakkuutähdettä. Koeajoja suoritettiin sekä vihreällä ja ruskealla hakkuutähteellä. Jälkimurskaimen terien ja vastaterän/seulaston välystä muutettiin 4–20 mm:n eri koeajomateriaaleilla.

Valmiista murskeesta mitattiin kosteus ja partikkelikoko. Lisäksi mitattiin tuotos ($i\text{-m}^3/\text{h}$). Murskainlinjalta mitattiin esi- ja jälkimurskaimen roottorin pyörimisnopeus (r/min) ja tehontarve (kW). Lisäksi mitattiin syöttörummun ja syöttöhihnan nopeus (m/min).



Kuva 1. Murskainlinja VTT Energian kenttäkoalueella.

6.2 Tulokset esimurskaimella tehdyistä kokeista

Esimurskaimella tehtiin kolme koeajoa ruskealla hakkuutähteellä. Hakkuutähde molemmissa kokeissa oli kuivaa talven yli varastossa ollutta kuusivaltaista hakkuutähdettä. Koeajojen tavoitteena oli selvittää esimurskaimen kapasiteetti, tehontarve ja raekoko.

Taulukossa 1 ja 2 on esitetty koeajojen tulokset. Ensimmäisessä koeajossa hakkuutähdettä kuormattiin koelinjan puutavarakuormaimella. Koska kapasiteetti jäi pieneksi niin toiseen koeajoon hankittiin toinen kuorma-autoalustainen kuormain.

Esimurskaimen kapasiteettia pystyttiin kasvattamaan arvosta 8,8 i-m³ mursketta käyttötunnissa arvoon 105,0 i-m³/h tehostamalla esimurskaimen syöttölaitteistoja. Esimurskaimen maksimitehontarve vaihteli välillä 110–164 kW, keskiarvon ollessa 50–73 kW. Tehontarve on pieni ja suunnitelman mukainen. Esimurskaimen energiankulutus pieneni arvosta 0,83 kWh/ i-m³ arvoon 0,24 kWh/ i-m³ kapasiteetin kasvaessa 8,8 i-m³:stä 105,0 i-m³/h:iin. Kapasiteetissa päästiin myös tavoitteeseen.

Esimurskatun materiaalin rakeista oli alle 100 mm 70–80 %. Yli 100 mm:n jakeet olivat alle 500 mm ja niiden osuus oli 20–30 % (kuva 2). Tältä osin tavoite toteutui.

Esimurskatun murskeen tilavuuspaino oli 196–223 kg/m³ (kosteus 16–34 p-%). Hakkuutähdehakkeen tuoretiheydeksi on mitattu 230–290 kg/m³ (kosteus 30–40 p-%). Näin esimurskatun murskeen tiheys jää 5–30 % pienemmäksi kuin hakkuutähdehakkeella johtuen juuri suuremmasta raakoosta.

Taulukko 1. Tulokset esimurskaimen koeajosta.

	Koeajo 1	Koeajo 2	Koeajo 3
Tuottavuus	8,8 i-m³/h	21,9 i-m³/h	105 i-m³/h
Energian kulutus			
Esimurskain	0,83 kWh/i-m ³	0,51 kWh/i-m ³	0,24 kWh/i-m ³
Tehontarve			
Keskiarvo	50 kW	54 kW	73 kW
Maksimi	110 kW	164 kW	158 kW
Ominaisuudet			
Kosteus	27,5 p-%	15,8 p-%	33,5 p-%
Kuutiopaino	219 kg/m ³	196 kg/m ³	223 kg/m ³

Taulukko 2. Esimurskatun hakkuutähteen raekoko.

Raekoko	Koeajo 1	Koeajo 2	Koeajo 3
0–7 mm	40 %	15 %	40 %
7–13 mm	12 %	12 %	12 %
13–30 mm	13 %	19 %	14 %
30–60 mm	12 %	18 %	19 %
60–100 mm	5 %	4 %	9 %
Yli 100 mm	18 %	32 %	6 %



Kuva 2. Esimurskattua kuusen hakkuutähdettä.

6.3 Tulokset koko murskainlinjalla tehdyistä koeajoista

6.3.1 Tulokset vihreällä hakkuutähteellä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää koko murskainlinjan kapasiteetti ja tehontarve vihreällä ja ruskealla kuusen hakkuutähteellä.

Esikoeajon perusteella ajettiin koeajosarja tuoreella kuusen hakkuutähteellä. Jälkimurskaimen terien ja seulaston etäisyyttä muutettiin 4–20 mm välillä.

Koko murskainlinjalla tehdyissä kokeissa murskainlinjan kapasiteetti vaihteli tuoreella kuusen hakkuutähteellä välillä 53,5–61,2 i-m³/h. Suurempi kapasiteetti saatiin seulaston ja terästön pienemmällä välyksellä (4 mm) ja pienempi kapasiteetti isommalla (20 mm) (taulukko 3). Näin jälkimurskaimen terien ja seulaston välisen etäisyyden muuttaminen vaikutti hieman vihreän hakkuutähteen tuotokseen.

Koko murskainlinjalla tehtyjen koeajojen perusteella esimurskaimen energian kulutus oli tuoreella hakkuutähteellä 0,40–0,58 kWh/i-m³ ja jälkimurskaimen 0,60–0,63 kWh/i-m³. Näin kaksivaiheisen murskauslinjan energian kulutus tuoreen hakkuutähteen murskauksessa oli 1,00–1,21 kWh/i-m³. Esimurskaimen maksimitehontarve kokeissa vaihteli välillä 141–160 kW ja jälkimurskaimen 75–98 kW (taulukko 3).

Koko murskainlinjalla murskatun vihreän kuusen hakkuutähdemurskeen palakojakauma seulottiin kuivaseulonnalla. Murskauslinjalla saatiin palakojakaumaltaan hyvälaatuista hakkuutähdemursketta (taulukko 4). Murskauslinjalla murskatun vihreän kuusen hakkuutähdemurskeen tilavuuspaino oli 250–273 kg/m³ (kosteus 49–51 p-%).

Taulukko 3. Murskauslinjan tulokset vihreällä kuusen hakkuutähdemurskeella, jälkimurskaimen terän ja seulaston välys 4 mm ja 20 mm.

	Koeajo 1 Jälkimurskaimen seulan ja terien välys 4 mm	Koeajo Jälkimurskaimen seulan ja terien välys 20 mm
Tuottavuus	61,2 i-m³/h	53,5 i-m³/h
Energian kulutus		
Esimurskain	0,40 kWh/i-m ³	0,58 kWh/i-m ³
Jälkimurskain	0,60 kWh/i-m ³	0,63 kWh/i-m ³
Yhteensä	1,00 kWh/i-m ³	1,21 kWh/i-m ³
Tehontarve – esimurskain		
Keskiarvo	75 kW	97 kW
Maksimi	160 kW	141 kW
Tehontarve – jälkimurskain		
Keskiarvo	73 kW	62 kW
Maksimi	98 kW	75 kW
Ominaisuudet		
Kosteus	50,6 p-%	49,4 p-%
Kuutiopaino	273 kg/m ³	250 kg/m ³

Taulukko 4. Murskeen palakoko tuoreella kuusen hakkuutähdemurskeella, jälkimurskaimen terän ja seulaston vällys 4 mm ja 20 mm.

	Koeajo 1 Jälkimurskaimen seulan ja terien vällys 4 mm	Koeajo 2 Jälkimurskaimen seulan ja terien vällys 20 mm
0–3 mm	18 %	23 %
3–7 mm	38 %	40 %
7–13 mm	28 %	24 %
13–30 mm	15 %	13 %
30–45 mm	1,1 %	0,5 %
Yli 45 mm	0,1 %	0,2 %

6.3.2 Tulokset ruskealla hakkuutähteellä

Esikoeajon perusteella ajettiin myös koeajosarja ruskealla kuusen hakkuutähteellä. Koeajoissa jälkimurskaimen terästön ja seulaston etäisyyttä muutettiin 4–20 mm:n välillä.

Jälkimurskaimen terästön ja seulaston etäisyys oli aluksi 4 mm. Tuottavuudeksi saatiin ruskealla hakkuutähteellä 54,0 i-m³ mursketta käyttötunnissa. Terästön ja seulaston vällys muutettiin 20 mm:n ja tuottavuudeksi saatiin myös 54,0 i-m³ mursketta käyttötunnissa. Ruskealla kuusen hakkuutähteellä tuotos ei muuttunut jälkimurskaimen terästön ja seulaston etäisyyttä muuttamalla (taulukko 5). Hakkuutähdemurskeen palakokojakauma kyllä hieman muuttui.

Koko murskainlinjalla ruskealla hakkuutähteellä tehdyissä kokeissa esimurskaimen energian kulutus oli 0,37–0,45 kWh/i-m³ ja jälkimurskaimen 0,76–0,85 kWh/i-m³. Kaksivaiheisen kokonaisenergian kulutus ruskealla hakkuutähdehakkueella oli näin 1,13–1,30 kWh/i-m³. Esimurskaimen maksimitehontarve kokeissa vaihteli välillä 98–157 kW ja jälkimurskaimen 100–107 kW (taulukko 5).

Murskauslinjalla saatiin palakokojakaumaltaan hyvälaatuista hakkuutähdemurskettä (taulukko 6 ja kuva 3). Murskauslinjalla murskatun ruskean kuusen hakkuutähdemurskeen tilavuuspaino oli 243–246 kg/m³ (kosteus 39–40 p-%).

Taulukko 5. Murskauslinjan tulokset kuivalla kuusen hakkuutähdemurskeella, jälkimurskaimen terän ja seulaston välys 4 mm ja 20 mm.

	Koeajo 1 Jälkimurskaimen seulan ja terien välys 4 mm	Koeajo 2 Jälkimurskaimen seulan ja terien välys 20 mm
Tuottavuus	54,0 i-m³/h	54,0 i-m³/h
Energian kulutus		
Esimurskain	0,45 kWh/i-m ³	0,37 kWh/i-m ³
Jälkimurskain	0,85 kWh/i-m ³	0,76 kWh/i-m ³
Yhteensä	1,30 kWh/i-m ³	1,13 kWh/i-m ³
Tehontarve – esimurskain		
Keskiarvo	60 kW	64 kW
Maksimi	157 kW	98 kW
Tehontarve – jälkimurskain		
Keskiarvo	79 kW	79 kW
Maksimi	107 kW	100 kW
Ominaisuudet		
Kosteus	39,9 p-%	38,9 p-%
Kuutiopaino	246 kg/m ³	243 kg/m ³

Taulukko 6. Murskeen palakoko ruskealla kuusen hakkuutähdemurskeella, jälkimurskaimen terän ja seulaston välys 4 mm ja 20 mm.

	Koeajo 1 Jälkimurskaimen seulan ja terien välys 4 mm	Koeajo 2 Jälkimurskaimen seulan ja terien välys 20 mm
0–3 mm	19 %	19 %
3–7 mm	39 %	32 %
7–13 mm	26 %	26 %
13–30 mm	15 %	21 %
30–45 mm	0,8 %	2,9 %
Yli 45 mm	0,2 %	0,8 %



Kuva 3. Murskauslinjalla murskattua kuusen hakkuutähdemurskettä.

7. Johtopäätökset ja tulosten hyödyntäminen

Tutkimustulosten pohjalta on mahdollista rakentaa kaksivaiheinen murskain, joka soveltuu ensisijaisesti energiajakeen tuottamiseen hakkuutähteestä, ensiharvennuspuusta ja suokannoista. Murskain soveltuu myös erilaisten rakennuspuujätteen ja myös muiden kuivajätteiden murskaukseen energiakäyttöön.

Tuloksia tulevat hyödyntämään murskaimen valmistajat, alihankkijat kuten te-rien valmistajat ja murskainten käyttäjät. Kaikki tulosten hyödyntäjät ovat tässä projektissa jo mukana, jolloin tieto välittyy suoraan hyödyntäjille.

Kehitettävä laitteisto on mahdollista rakentaa joko Ajoneuvokäyttösovitteiseksi tai kiinteäksi. Kiinteänä laitteistona sitä voidaan käyttää käyttöpaikalla. Ajoneuvokäyttöisenä sitä voidaan käyttää tienvarsi- tai terminaalimurskauksessa. Ajoneuvokäyttöisenä sitä voidaan käyttää myös haketettaessa turvesuolta nostettavat kannot suoraan tuotantokentällä.

Murskaimien käyttö kasvaa koko ajan niin Suomessa kuin ulkomailla. Näin murskaimesta on mahdollista tulla kotimaiselle metalliteollisuudelle hyvä tuote. Tuotteelle löytyy myös hyvät vientimahdollisuudet.

Kaksivaiheisella murskauksella on mahdollista oleellisesti alentaa (tavoite 30 %) metsähakkeen murskauskustannuksia, joiden osuus hakkuutädehakeella tuotantokustannuksista ovat suuret eli noin 33 % hakkeen kokonaiskustannuksista (46 mk/MWh) käyttöpaikalla. Tulosten avulla voidaan näin oleellisesti parantaa metsähakkeen kilpailukykyä. Tuotantokustannus alenee uudella murskaimella pienemmän tehontarpeen, suuremman tuotoksen ja pienempien pääoma- ja huoltokustannusten avulla verrattuna perinteisiin murskaimiin ja hakkureihin nähden.

8. Jatkosuunnitelmat

Projektista on jätetty jatkohakemus Tekesin puuenergian teknologiaohjelmalle. Uusi tutkimussuunnitelma on nimeltään: Kaksivaiheisen murskaimen jatkokehitys puun energiajakeen muodostamiseksi. Tutkimuksen päätavoitteena on kehit-

tää kaksivaihemurskainlaitteisto valmiiksi tuotteeksi metsähakkeen ja kuoren murskaukseen:

- Kehittämällä ja automatisoimalla esimurskaimen syöttöä, jotta murskainlinja toimii itsenäisesti hakkuutähteen murskauksessa irtotavaralla ja risutukeilla sekä kuorella.
- Kehittämällä jälkimurskainta, jotta murskainlinjan kapasiteetti on 100 i-m³ tunnissa. Tämä saavutetaan kehittämällä jälkimurskaimen seulastoa ja terästä sekä syöttöä ja kehittämällä seulasto hienoaineksen erottamiseksi ennen jälkimurskainta.
- Kehittämällä jälkimurskaimen seulasto ja terästä kuorelle soveltuvaksi.
- Tutkimalla kaksivaiheisen murskaimen pitempiaikainen toimivuus (syötön automatisointi, seulasto ennen jälkimurskainta, metallin ja kivien erotus, toiminnallinen tuottavuus, tehontarve, energian kulutus, terien kuluminen) hakkuutähteellä, kuorella ja niiden seoksella.

Menetelmä nuorten metsien harvennukseen – PUUY01

Jarmo Hämäläinen & Kaarlo Rieppo

Metsäteho Oy

PL 194, 00131 Helsinki

Puh. 09-132 521, faksi 09-659 202

e-mail: jarmo.hamalainen@metsateho.fi, kaarlo.rieppo@metsateho.fi

Abstract

Project title in English: A method of thinning young stands

The goal of the project was to develop a method of harvesting energy wood and pulp wood in dense thinning stands with small-diameter trees. A felling device based on multi-tree processing and load-compacting devices for forest haulage and long-distance transportation of whole-trees were constructed. The productivity of the harvesting method was studied in two young thinning stands of pine. The whole trees were processed with a flail-delimiting-debarking chipper.

1. Tavoite

Projektin tavoitteena oli kehittää kilpailukykyinen energia- ja selluhakkeen tuotantomenetelmä, jolla voitaisiin tehostaa tiheiden ja pienirunkoisten harvennuskäsitelyä. Sellaisissa kohteissa ainepuukertymä jää normaaleilla korjuumenetelmillä vähäiseksi ja toisaalta energiapuuksi soveltuvan puun osuus on suurin. Koska tällaisten kohteiden integroitu korjuu ei onnistu tehokkaasti nykyisillä hakkuulaitteilla, pyrittiin kehittämään joukkokäsittelyyn perustuva ratkaisu, joka soveltuisi koko- ja osapuukorjuuseen.

2. Toteutus

Karelian Puu ja Metalli Oy rakensi projektissa uuden version kokopuukorjuuseen kehitetystä keräilykaatolaitteesta sekä kuorman tiivistyslaitteet kokopuun metsä- ja kaukokuljetusta varten. Keräilykaatolaitteen prototyyppiä oli aiemmin kokeiltu Bioenergiaohjelmaan kuuluvassa hankkeessa, ja laitetta kehitettiin siinä kertyneiden kokemusten pohjalta. Päämuutokset olivat laitteen mitoituksen suurentaminen ja rakenteen kehittämisen siten, että myös kokopuun kuormausta ja purku kävivät päinsä kaatokasauksen lisäksi.

Metsä- ja kaukokuljetuskuorman tiivistysperiaatteita oli aiemmin testattu avohakkuualoilta saatavan hakkuutähteen korjuussa. Laiteratkaisuja kehitettiin sen pohjalta kokopuukorjuuta varten.

Keräilykaatolaite ja metsäkuljetuskuorman tiivistyslaite (kuva 1) asennettiin kokeilua varten Timberjack 1010 -kuormatraktoriin. Koneyksikkö toimi siten ns. korjurin (yhdistelmäkoneen) periaatteella eli sillä tehtiin sekä hakkuu että metsäkuljetus samalla kertaa.

Hakkuu- ja metsäkuljetusvaiheen tuottavuus selvitettiin aikatutkimuksella ja kuorman tiivistyslaitteita testattiin erilliskokeilla. Aikatutkimus tehtiin kahdella mäntyvaltaisella kohteella, joilla taimikon harvennus oli jäänyt tekemättä. Puuston valtapituus oli noin 10 metriä ja lähtötiheys 3100–3800 runkoa/ha. Korjuussa poistettiin 1700–2200 runkoa/ha. Poistettujen puiden kokonaisbiomassa oli 52–60 m³/ha ja käyttöpuumäärä (minimiläpimitta 7 cm) noin puolet siitä. Kolme koe-erää kokopuuta käsiteltiin Pertti Szepaniak Oy:n ketjukarsinta-pienrumpukuorinta-haketusasemalla Imatralla.



Kuva 1. Keräilykaatolaite ja metsäkuljetuskuorman tiivistyslaite.

Projektin toteutukseen osallistuivat Metsäteho Oy, Karelian Puu ja Metalli Oy, Plustech Oy, Pertti Szepaniak Oy, Metsäntutkimuslaitos sekä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja alueelliset metsäkeskukset. Projektin rahoitukseen osal-

listuivat Metsäliitto Osuuskunta, Metsähallitus, UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj, Vapo Oy, Yksityismetsätalouden työnantajat ry ja Tekes.

3. Tulokset

Hakkuu onnistui keräilykaatolaitteella teknisesti hyvin, mutta keskimääräinen tuottavuus jäi vielä tavoiteltua pienemmäksi. Korjuun tehotuntituotos oli 250 metrin metsäkuljetusmatkalla keskimäärin 2,7 m³ (biomassa) vaihdellen koealoittain 2,0 m³:n ja 4,1 m³:n välillä. Korjuukustannukset olivat keskimäärin 155 mk/m³ (100–210 mk/m³).

Puristuspankkoihin perustuva metsäkuljetuskuorman tiivistyslaite osoittautui toimivaksi ratkaisuksi myös harvennuspuun korjuussa. Vastaavaa laitettahan käytetään hakkuutähteiden korjuussa päätehakkuualoilta. Tiivistäminen onnistui normaalilevyisillä ajourilla, kävi nopeasti ja tiivistysvaikutus oli merkittävä, keskimäärin 53 %.

Korjuujälki oli varsin hyvä. Vaurioituneiden puiden osuus jäävistä puista oli keskimäärin 2,8 %. Reilu puolet vaurioista aiheutui hakkuuvaiheessa ja loput ajon aikana. Toteutunut ajouran leveys oli keskimäärin 4,0 metriä.

Autokuljetuskuorman tiivistyskouralla kokopuukuorman kokoa pystyttiin kasvattamaan noin neljänneksellä. Täyttä varmuutta itse tiivistysmekanismin osuudesta tiivistystulokseen ei pienessä kokeessa kuitenkaan saatu. Tiivistyskouran koko ja rakenne edesauttoivat jo sinällään huomattavasti tiivistämistä, koska kouralla pystyttiin tehokkaasti painelemaan kuormaa.

Sellu- ja energiapuun erottelu onnistui kohtuullisesti. Erottelu tehtiin ketjukarsinta-pienrumpukuorinta-haketusmenetelmällä. Sellujakeen saanto oli 55 % kokonaisbiomassasta, kuoripitoisuus 2–5 % ja palakokojakaumaltaan hyväksytyyn hakkeen osuus 85–87 %. Kokeilut tehtiin talvella puiden ollessa jäätyneitä, mikä heikensi käsittelytulosta.

Selluhakkeen tuotantokustannukset nousivat korkeiksi, 370 markasta 395 markkaan kuutiometriä kohti (energiahyvitys 35 mk/MWh). Korjuuvaiheen tuottavuus vaikuttaa ratkaisevasti menetelmän kannattavuuteen. Jos korjuun käyttö-

tuntituotosta pystyttäisiin nostamaan 3–4 m³:n tasolle, menetelmän kilpailukyky paranisi olennaisesti. Kokeilun aikana em. taso saavutettiin yksittäisillä koelaitteilla, mutta keskimäärin jäätin selvästi sen alle. Kuljettajan rutinoituminen työhön vie aikansa ja maksimitasoa ei kokeilussa liene saavutettu.

Ainespuun erottelu karkeasti myös korjuuvaiheessa, osapuumenetelmällä, osoitautui mahdolliseksi. Menetelmän etu kokopuumenetelmään verrattuna olisi lähinnä siinä, että osapuuta voidaan käsitellä normaaleissa kuorimarummuissa ja latvukset kuljettaa metsästä suoraan lähimmälle käyttöpaikalle.

Ylitiheiden harvennuskohteiden korjuu pelkästään energiapuuksi saattaa olla perusteltu vaihtoehto kohteissa, joissa ainespuukertymä jäisi hyvin pieneksi. Polttohakkeen tuotantokustannukset (ei kantohintaa) käyttöpaikalla haketukseen perustuvalla tuotantoketjulla olivat 50 km:n kuljetusetäisyydellä 98 mk/MWh. Kun taimikonhoito-, energiapuun korjuu- ja haketustuki otettiin huomioon, päädyttiin 64 mk:aan/MWh. Kustannustasoa voidaan pitää kilpailukykyisenä, kun lähtökohdaksi otetaan energiapuun käyttö esim. pienehköissä lämpölaitoksissa. Polttoaineen suurkanäytön mukaiseen tavoitetasoon – 45 mk/MWh – on vielä matkaa.

4. Johtopäätökset

Kehitetty korjuumenetelmä toimi teknisesti hyvin, mutta tuottavuus jäi kokeilussa liian alhaiseksi ja menetelmän kustannuskilpailukyky sen seurauksena riittämättömäksi. On kuitenkin ilmeistä, että menetelmän todellisesta kilpailukykyvyydestä ja soveltamisalueista ei saatu vielä tässä tutkimuksessa lopullista vastausta. Korjuumenetelmän tuottavuudesta ja toimivuudesta eri olosuhteissa olisi tarpeen tehdä pitempiaikainen ja useampiin kuljettajiin perustuva seuranta tutkimus. Kokeiltava kone tulisi varustaa pyörivähyttisellä ohjaamalla, jolloin edellytykset tuottavaan työskentelyyn olisivat mahdollisimman hyvät.

Yksityismetsien luonnonvaratietojärjestelmästä (Luotsi) poimitut tiedot antoivat suuntaa menetelmän potentiaalisista soveltamisolosuhteista. Sellaisia ensiharvennusvaihetta lähestyviä metsiä, joissa taimikon harvennus on jäänyt tekemättä tai on tehty liian lievänä, on noin puolet nuorten metsien käsittelypinta-alasta. Mikäli puolet siitä olisi myös käytännössä kannattavasti korjattavissa, merkittäisi se noin 50 000 ha:n vuotuista käsittelyalaa. Kilpailevia menetelmiä ovat lähinnä

siirtelykaato miestyönä ja metsäkuljetus normaalilla kuormatraktorilla tai siirtelykaato ja palstahaketus pelkkää energiapuuta korjattaessa.

Pienikokoisesta puusta saadun selluhakkeen käyttömahdollisuudet ja -arvo ovat yritys- ja tehdaskohtaisia kysymyksiä. Nuoren harvennuspuun kuituominaisuudet eivät ole yhtä hyviä varttuneemmista metsistä saataviin, järeämpiin kuitupuihin verrattuna. Viimeaikaisten tutkimustulosten mukaan normaaleja ainespuumittoja pienempien harvennuspuiden ominaisuudet eivät kuitenkaan näytä poikkeavan ratkaisevasti normaalikokoisten ensiharvennuspuiden ominaisuuksista.

Energiapuun korjuun ravinnekysymykset ovat nousseet viime aikoina keskustelun kohteeksi. Joissain tutkimuksissa energiapuun talteenotto harvennusemetsistä on aiheuttanut huomattavia kasvutappioita. Ravinnekysymykset ja niitä koskevat suositukset on luonnollisesti otettava menetelmän mahdollisessa soveltamisessa huomioon. Ongelman tarkastelussa kokopuun korjuun aiheuttamat ravinnetaapit pitäisi kuitenkin pystyä suhteuttamaan – optimikäsittelyn lisäksi – myös harvennusten laiminlyöntiin ja siitä aiheutuviin menetyksiin.

Käyttöpaikallahaketusseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02

Antti Korpilahti
Metsäteho Oy
PL 131, 00131 Helsinki
Puh. 09-132 5242, faksi 09-659 202
e-mail: antti.korpilahti@metsateho.fi

Abstract

Project title in English: Wood fuel chips production based on comminution at the heat and power plant

The objective of the project was to determine the production costs and competitiveness of wood fuel chips production based on comminution logging residues at heat- and power plant compared to methods based on on-site or at a forest landing chipping. Productivity studies were carried out of most of the production phases. Transportation logging residues loose to the heating plant and crushed there showed the lowest production costs. Chipping at an intermediate landing was slightly more costly. New baling techniques of logging residues are rather expensive resulting 10–20% higher production costs compared to loose residues. Chipping on-site showed poor productivity and very high costs because of slow feeding of residues into the chipper.

1. Tausta

Bioenergian tutkimusohjelman (1993–1998) projekteissa tutkittiin ja julkaistiin tuloksia käytössä olevista palsta- ja välivarastollahaketusseen perustuvista tuotantoketjuista. Eräissä ruotsalaisissa tutkimuksissa 1990-luvun alkupuolella käyttöpaikallahaketus esitettiin erittäin kilpailukykyiseksi menetelmäksi. Myös suomalaiset arviot ja laskelmat osoittivat käyttöpaikallahaketuksessa päästävän sekä kustannuskilpailukykyiseen puupolttoaineen tuotantoon että saavutettavan logistisia etuja muihin polttoaineen tuotantotapoihin nähden.

Kun hakkuutähteet haketetaan vasta käyttöpaikalla, tuotantoketjut voidaan järjestää siten, että päästään eroon ns. kuumen ketjun ongelmista. Sen ansiosta tuotantoketjun kukin vaihe voidaan periaatteessa tehdä niin tehokkaasti kuin kyseessä olevalla kalustolla vain on mahdollista. Muita tuotantoteknisiä etuja esimerkiksi välivarasto- ja palstahaketukseen nähden ovat mm. haketuksessa tai murskauksessa saavutettava suuri tuottavuus ja vuosituotos ja siten myös edulliset tuotantokustannukset.

Ruotsissa kehitettiin 1990-luvun lopulla hakkuutähteiden paalaustekniikoita, joilla hakkuutähteet paalataan pöllimäisiksi paaleiksi. Sellaisten paalien käsittely ja kuljetus hoituu tavanomaisella puutavarakalustolla. Murskaus tai haketus edellyttää järeitä laitteita. Nämä paalaustekniikat antavat käyttöpaikallahaketuksen perustavalle tuotannolle aiempaa paremman tuotantoteknisen perustan ja lisäävät tuotteen laadun hallinnan mahdollisuuksia.

2. Tavoite

Tavoitteena oli tarkastella hakkuutähteen kuljetukseen ja haketukseseen tai murskaukseen vasta käyttöpaikalla perustuvaa polttihakkeen tuotantotekniikkaa ja -kustannuksia. Sen kilpailukykyä tuli verrata palstalla tai välivarastossa tehtävään haketukseseen perustuviin ketjuihin.

3. Toteutus

Työssä tutkittiin sekä hakkuutähteiden paalaukseen että irtonaisten hakkuutähteen kuljetukseen perustuvia käyttöpaikalla haketuksen ketjuja. Tuottavuustutkimuksia tehtiin Fiberpac 370 -oksapaalaimesta (kuva 1), paalien kuljetuksesta ja murskauksesta. Paalit olivat noin 70 cm paksuja ja niiden tavoitepituus oli 320 cm. Kun paalin tiiviys on noin 45 % (kiintotilavuusprosentti), niin se painaa 50 %:n kosteudessa 480 kg ja sen kiintotilavuus on 0,55 m³.

Myös irtonaisen hakkuutähteen metsä- ja kaukokuljetuksesta tehtiin tuottavuustutkimuksia. Kuljetuskalusto oli irtonaisten tähteen kuljetukseen varustettua. Kuormatraktori oli varustettu levennettävällä kuormatilalla ja sillä päästiin 10,3 m³ (kiintokuutiota) keskimääräiseen kuormakokoon. Hakkuutähdeauton (kuva 2)

kuormatila oli noin 130 m³. Kun hakkuutähteet tiivistettiin lastauksen aikana järeällä nosturilla, kuorman kiintotilavuusprosentti oli 22 % ja kuorman koko silloin 28,6 m³ (kiintokuutiota).

Murskauksessa kokeiltiin vasara- ja roottorimurskaimia sekä rumpuhakkureita. Murskaimet olivat järeitä, lavettialustaisia laitteita (kuva 3), ja hakkurit olivat kuorma-autoalustaisia. Kokeiluista saatuja tuloksia käytettiin käyttöpaikkamurskaamon kapasiteettilaskelmissa.



Kuva 1. Fiberpac 370 -oksapaalain, Konepalvelu Hölrin Oy, Korttesjärvi. Tässä tutkimuksessa tutkittiin paalauskonetta, jonka omisti Ris-Esset Ab, Ähtävä.



Kuva 2. Kuljetusliike Hakonen S. ja Pojat Ky:n (Pori) rakentama hakkuutähdeauto. Teleskooppirunkoinen perävaunu mahdollistaa lastauksen ja purkamisen perävaunua irrottamatta.



Kuva 3. CBI Magnum Force 4860 HZ -roottorimurskain, Huurinainen Oy, Kajaani.

Välivarastohaketukseen perustuvan ketjun tarkastelu perustettiin TT 910 Evolution -hakkurista aiemmin julkaistuihin tietojen. Palstahaketuksen tuottavuutta tutkittiin kahdella koneella, jotka oli varustettu Bruks 803 -hakkurilla ja hakekontilla. Näissä koneissa hakkurilla oli oma käyttömoottori.

Tuottavuustutkimuksiin liittyen hakkeista ja murskeista määritettiin kosteudet ja tilavuuspainot. Niiden ja kuormien punnitustietojen perusteella voitiin laskea hakkuutähteiden ja murskeiden määrät aiempaa tarkemmin. Laskelmat tehtiin ensin kiintokuutioina ja muunnoksissa megawattitunneiksi ja irtokuutioiksi käytettiin tutkimuksessa saatuja tuloksia.

Tuotantoketjujen energiankulutus ja päästöt laskettiin polttoainekulutuksen ja tuottavuuden mukaan. Laskelmiin sisällytettiin mm. koneiden siirrot työmaalta toiselle ja kuljettajien henkilöautojen käyttö työmatkoilla. Niissä sovellettiin tarvittavilta osin puunhankinnan päästölaskennan perusteita.

Murskeista määritettiin palakokojakaumia. Koeseulonnat tehtiin UPM-Kymmene Oyj:ssä Pietarsaareissa ja VTT Energiassa Jyväskylässä.

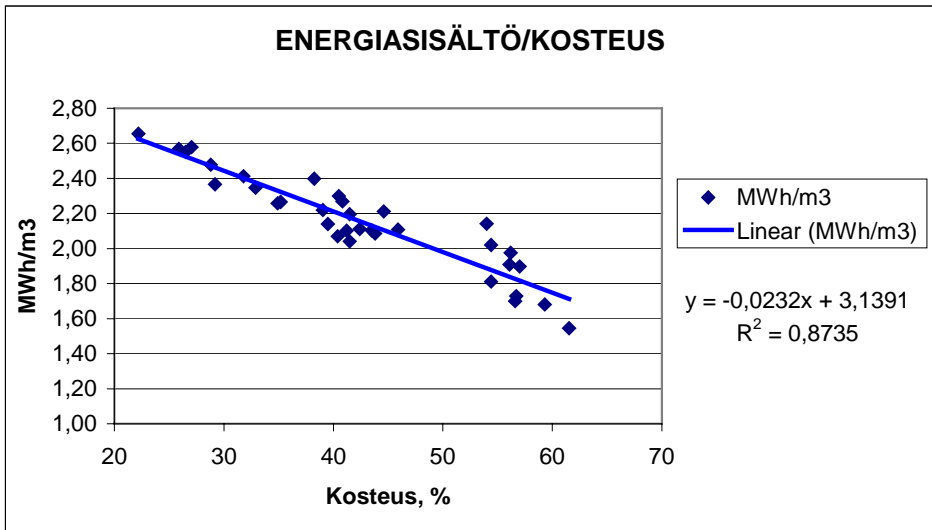
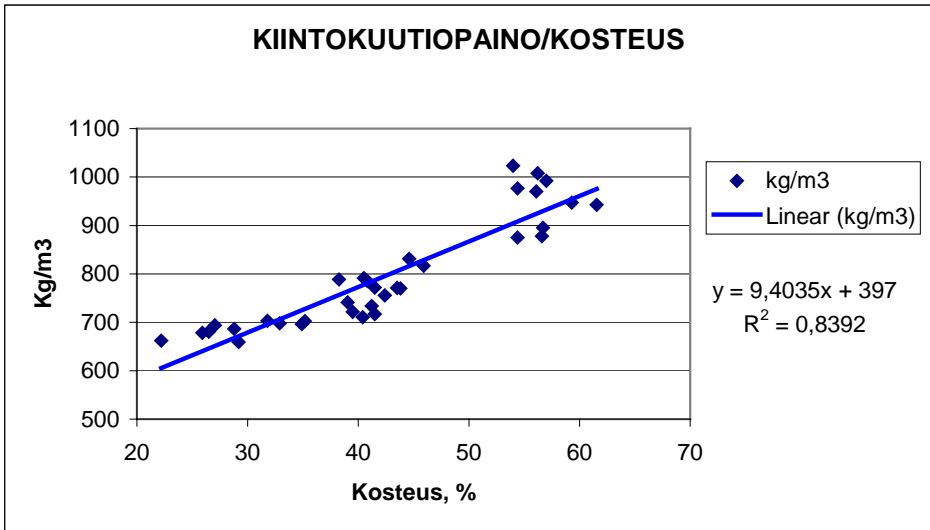
Tutkimukseen osallistuivat seuraavat yritykset: A. Ahlström Oy, Fortum Power and Heat Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta/Biowatti Oy, Stora Enso Oy, UPM-Kymmene Oy ja Vapo Oy. Tekes rahoitti projektia Puuenergian teknologiaohjelman kautta. Projektin vastuullinen johtaja oli erikoistutkija, MML Antti Korpilahti Metsäteho Oy:stä. Projektiryhmään kuuluivat tutkija, DI, MH Kaarlo Rieppo, projektitutkija, MMM Sakari Suuriniemi ja työntutkijat Reima Liikkanen ja Kari Uusi-Pantti. Erikoistutkija Jouko Örn laski tuotantoketjujen päästöt tässä tutkimuksessa todettujen tuottavuuksien ja polttoainekulutusten perusteella.

4. Tulokset

4.1 Hakkuutähteen tilavuuspaino ja energiasisältö

Tutkimuksessa saatujen kosteus- ja tilavuuspainotietojen perusteella laadittiin yhtälöt hakkuutähteen kuutiopainon ja energiasisällön määrittämiseksi kosteuden suhteen (kuva 4). Yhtälöillä voidaan muuntaa hakkuutähteen tai hakkeen ja

murskeen massa kiintokuutioiksi, kun materiaalin kosteus on määritetty. Kiintokuutiot voidaan edelleen muuntaa energiamääräksi. Yhtälöt antavat 50 %:n kosteudella hakutähteen tai murskeen kuutiopainoksi 867 kg ja energiasisällöksi 1,98 MWh/m³.



Kuva 4. Hakkuutähteestä kuljetus- ja murskaustutkimusten yhteydessä otetuista näytteistä määritetyt tilavuuspainot ja energiasisällöt.

4.2 Tuotantoketjujen vertailu

Puupolttoaineen tuotantoketjujen eri vaiheiden tuottavuudet määritettiin kelloai-
katutkimuksilla. Niissä mitatut tehoaikatuottavuudet muunnettiin käyttöaika-
tavoiksi soveltamalla puunkorjuukoneiden tuottavuustutkimusten tuloksia.
Käyttöaika-
tavoitus olivat noin 34 % tehoaika-
tavoitusta pienemmät.
Kunkin työ-
koneen käyttöaste määritettiin erikseen. Vuotuinen työaika laskettiin
10 kuukauden 2-vuorotyön pohjalta ja se oli siten 3360 h. Käyttöaika saatiin ker-
tomalla työaika käyttöasteella. Esimerkiksi 75 % käyttöaste merkitsi 2520 käyt-
tötuntia vuodessa. Tuotantokustannusten ja vuosisuoritteiden arvioimiseksi esite-
tään tärkeimmät laskentaperusteet taulukossa 1 (määrät on ilmaistu kiintokuu-
tioina).

*Taulukko 1. Hakkuutähdepolttoaineen tuotannon laskentaperusteita: tuottavuus
käyttöaikana (m^3/h), vuotuinen käyttöaika (h/a), suorite vuodessa (m^3/a),
käyttötuntikustannukset (mk/h) ja tuotantokustannukset (mk/m^3).*

Tuotantovaihe	m^3/h	h/a	m^3/a	mk/h	mk/m^3
Paalaus	9,7	2 520	24 500	376	38,70
Paalien metsäkuljetus (300 m)	15,2	2 855	43 300	286	18,90
Paalien kaukokuljetus (80 km)	4,22 *	3 200	28 500	361	40,50
Irtotähteen metsäkuljetus (300 m)	9,3	2 855	26 500	281	30,20
Irtotähteen kaukokuljetus (80 km)	4,55 *	3 200	20 100	352	56,00
Paalien murskaus	100	2 350	235 000	830	8,30
Irtotähteen murskaus	85	2 350	200 000	815	9,60
Haketus välivarastolla	18,4	2 000	36 800	547	29,70
Kuljetus hakeautolla (80 km)	5,77 *	3 240	24 700	296	38,80
Palstahaketus (300 m)	5,7	2 520	14 400	472	82,80
Kuljetus vaihtokonteilla (80 km)	5,00 *	3 180	23 400	359	48,80

* Kuormakohtainen aika, h/kuorma.

Mobiilikalustolla tehdyissä haketuskokeiluissa Heinolan Sahakoneet Oy:n
hakkuutähdehakkuri, TT1310RML, osoittautui erittäin tehokkaaksi. Sen tuotta-
vuus, 167 m^3/h (kiintokuutiota), oli paalien haketuksessa noin 1,5-kertainen
roottorimurskaimeen verrattuna. Roottorimurskain puolestaan oli selvästi
tehokkaampi kuin vasaramurskaimet (taulukko 2). Periaatteessa irtonaisen
tähteen murskaus on helpompaa kuin kiinteän materiaalin, kuten runkopuun ja
oksapaalien. Irtotähteellä nyt savutettu paalien murskausta ja haketusta pienempi
tuottavuus johtui siitä, että tähdettä ei pystytty syöttämään tehokkaasti.
Tuotantoketjujen vertailussa on tarkasteltu vain murskausta. Irtotähteen

murskauksen tuottavuus laskettiin 15 % pienemmällä tuottavuudella kuin paa-
lien murskaus.

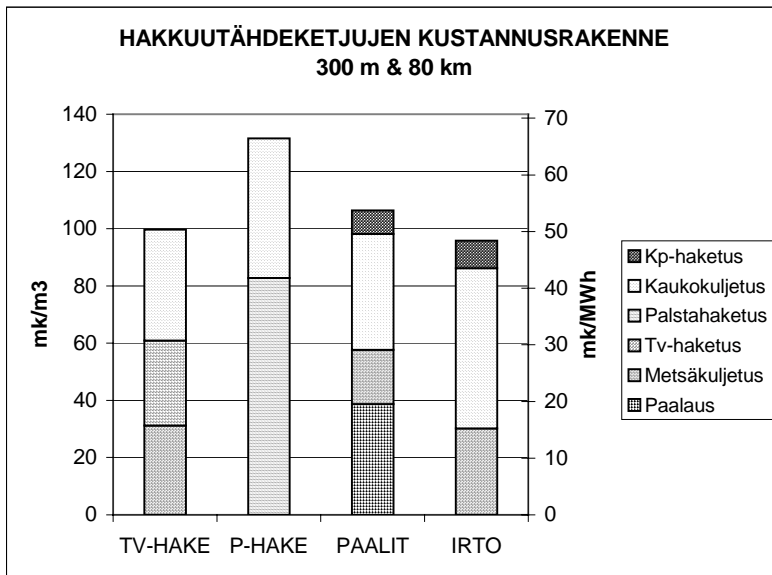
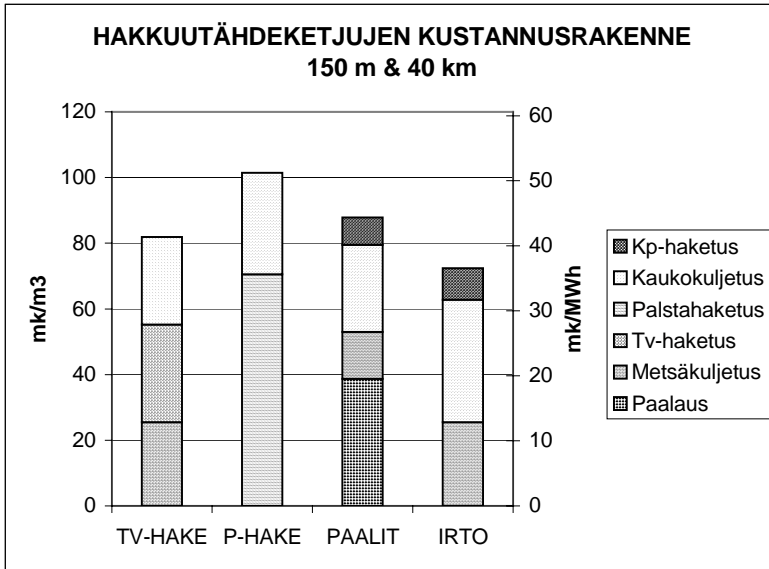
*Taulukko 2. Hakkuutähteen murskaus- ja haketuskokeilujen tulokset,
tuottavuus tehoaikana.*

Laite	Tyyppi	Materiaali	Tuotta- vuus, m ³ /h	Murskeen	
				kosteus-%	tiiviyys-%
CBI Magnum	Roottori- murskain	Paalit	117	54	39
		Paalit	102	57	41
		Irtotähde	84	54	38
Diamond Z	Vasara- murskain	Paalit	85		
		Irtotähde	67		
Lundvik	Vasara- murskain	Paalit	74		
		Paalit	67		
TT1310RML	Rumpuhak- kuri	Paalit	167	56	44
		Irtotähde	54	54	45

Irtonaisten hakkuutähteen kuljettamiseen ja murskaukseen vasta käyttöpaikalla perustuva tuotantoketju osoittautui edullisimmaksi (kuva 5). Sen kaukokuljetus-
vaihetta voidaan vielä kehittää, sillä käytössä on vasta ensimmäinen hakkuutäh-
teen kuljetukseen varusteltu auto. Kuorman kokoa tulisi suurentaa ja se voidaan
tehdä lähinnä kuorman tiivistämisen kautta.

Tienvarsihaketuksen perustuva tuotanto oli tässä tarkastelussa toiseksi edulli-
sinta. Ero irtonaisen tähteen kuljetukseen perustuvaan ketjuun on vain 3–4 %,
kun kuljetusmatka on 80 km. Käytännössä kuljetusmatkan vaihtelut ja eri syistä
johtuvat keskeytykset lisäävät haketuksen ja kuljetuksen odotusaikoja ja suuren-
tavat tuotantokustannuksia. Toisaalta uusimmat välivarastohakkurit ovat tehok-
kaampia kuin se, mihinkä tämä tarkastelu perustui, ja välivarastohaketuksessa
voidaan päästä tässä esitettyä edullisempiinkin tuloksiin.

Paalaukseen perustuva tuotanto oli 10–20 % kalliimpaa kuin irtonaisen hakkuu-
tähteen käyttöpaikallahaketukseen perustuva tuotanto. Paalausketjun kilpailuky-
ky paranee, kun kuljetusmatka pitenee. Paalausketjun kalleus johtuu ennen muu-
ta paalausvaiheen kalleudesta.

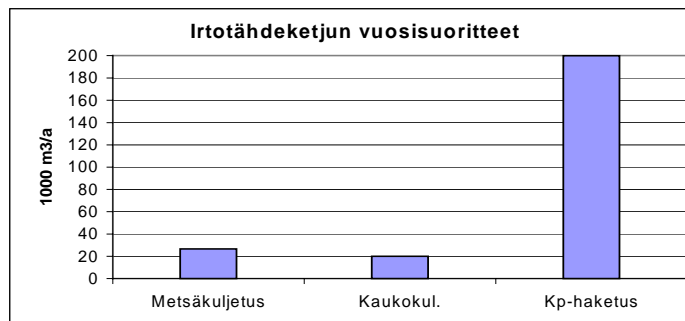
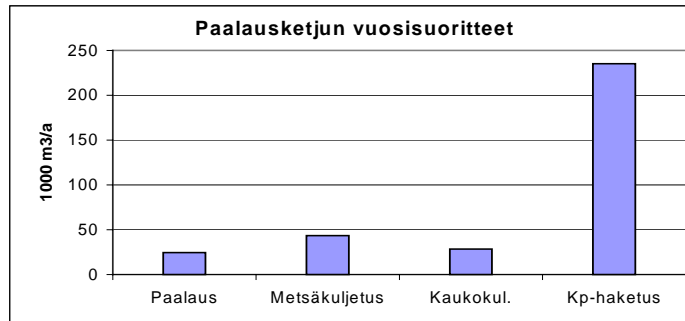
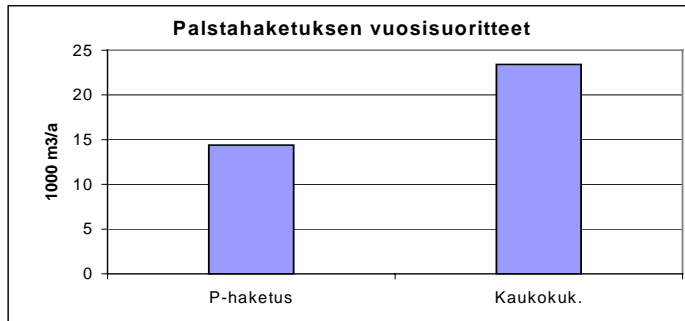
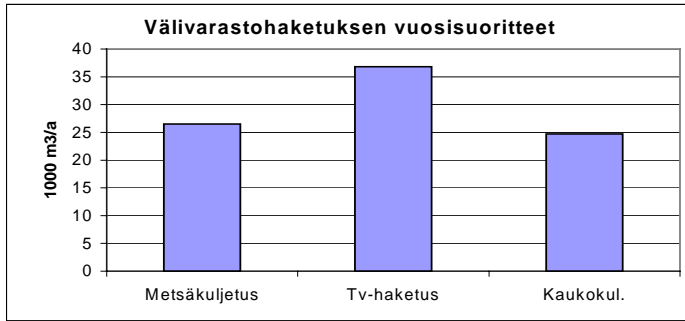


Kuva 5. Hakkuutähdehakkeen ja -murskeen tuotantokustannukset eri tuotantoketjuilla, kun metsäkuljetusmatka on 150 m ja kaukokuljetusmatka 40 km sekä vastaavasti 300 m ja 80 km. Kp-haketus tarkoittaa murskausta käyttöpaikalla, Tv-haketus haketusta välivarastolla.

Palstahaketukseen perustuva hakkeentuotanto oli irtotähdeketjua lähes 40 % kalliimpaa. Palstahakkurin suorituskyky oli huono, koska sen syöttö oli tehotonta. Hakkurin haketusteho sinänsä on suuri. Palstahakkuria pystytään hyödyntämään välivarastolla haketuksessa merkittävästi paremmin kuin palstalla. Koneen tuotavuus välivarastohakkurina sisältäen hakesäiliön tyhjentämisen lähistöllä oleviin vaihtolavoihin oli 17,5 m³ käyttötunnissa. Se merkitsee 44 000 m³:n vuosisuoritetta. Haketuskustannukset ovat silloin saman suuruiset kuin autoalustaisella välivarastohakkurilla.

4.3 Tuotantoyksiköiden vuosisuoritteet

Tuotantoyksiköiden vuosisuoritteet voivat poiketa toisistaan huomattavasti (kuva 6). Se aiheuttaa ongelmia ennen muuta toisistaan riippuvissa tuotantovaiheissa, kuten välivarastolla haketuksessa ja siihen liittyvässä kaukokuljetuksessa. Palstahaketuksessakin haketuksen ja kaukokuljetuksen kytkentä on joustavampi. Muilta osin tuotantoketjujen eri vaiheet voidaan tehdä vapaammin ajoitettuina.



Kuva 6. Hakkuutähdehakeen tuotantoyksiköiden vuosisuoritteet, kun metsäkuljetusmatka on 300 m ja kaukokuljetusmatka 80 km.

4.4 Tuotantoketjujen energiankulutus ja päästöt

Tuotantoketjujen päästöt laskettiin tässä raportissa esitettyjen tuottavuuksien ja kustannuslaskelmissa käytettyjen poltto- ja voiteluainekulutuksien perusteella. Päästölaskelmiin sisällytettiin myös koneiden siirrot työmaalta toiselle sekä kuljettajien omien autojen käyttö työmatkoihin. Koneiden siirroista 65 % on oletettu tehtävän lavettiautolla ja loput koneilla ajamalla. Tämä perustuu metsäkoneiden siirroista oleviin tietoihin. Käyttöpaikallahaketuksen päästöt laskettiin sähkön kulutuksen perusteella.

Irtonaisen hakkuutähteen kuljetukseen ja haketukseen käyttöpaikalla perustuva ketju oli sekä polttoaineen käytöstä lasketun energiankulutuksen että päästöjen suhteen selvästi muita tuotantotapoja parempi (taulukko 3). Paalaukseen ja väli-varastohaketukseen perustuvien tuotantoketjujen polttoainekulutukset olivat saman suuruiset, mutta paalauksen päästöt olivat pienemmät. Palstahaketuksessa polttoaineen kulutus ja päästöt olivat huomattavan suuret.

Taulukko 3. Hakkuutähdepolttoaineen tuotantoketjujen energiankulutus ja päästöt, kun metsäkuljetusmatka on 300 m ja kaukokuljetusmatka 80 km.

Tuotantoketju	Energian- kulutus	Päästöt, g/m ³					
	MJ/m ³	HC	NO _x	CO ₂	Hiukkaset	SO ₂	CO
Väli-varastohaketus	219	18,3	250	16602	14,1	11,2	45,8
Palstahaketus	333	25,5	381	25302	20,5	17,1	64,6
Paalaus	220	15,4	234	16104	11,8	9,8	41,0
Irrotähde	204	9,3	219	14769	8,0	6,8	28,4

4.5 Palakokojakaumat

Puupolttoaineiden laatuohjeessa esitetty palakokoluokitus on sellainen, että noin 90 % materiaalista sijoittuu pienimpään, alle 30 mm:n luokkaan. Tutkituissa näytteissä ei ollut yli 10 cm:n pituisia kappaleita ensinkään (taulukko 4).

Taulukko 4. Hakkuutähdepolttoaineen palakokojakaumat puupolttoaineiden laatuohjeen palakokoluokituksen mukaan.

Murskauslaite	Materiaali	Seulalle jäänyt osuus massasta seulakoon mukaan, (%)				
		> 100 mm	60 mm	45 mm	30 mm	Pohja
CBI Magnum -roottorimurskain	vihreät paalit		1	2	6	91
	irtotähde			1	10	89
TT1310 RML -rumpuhakkuri	vihreät paalit		2	3	9	86
	irtotähde		1	2	7	90

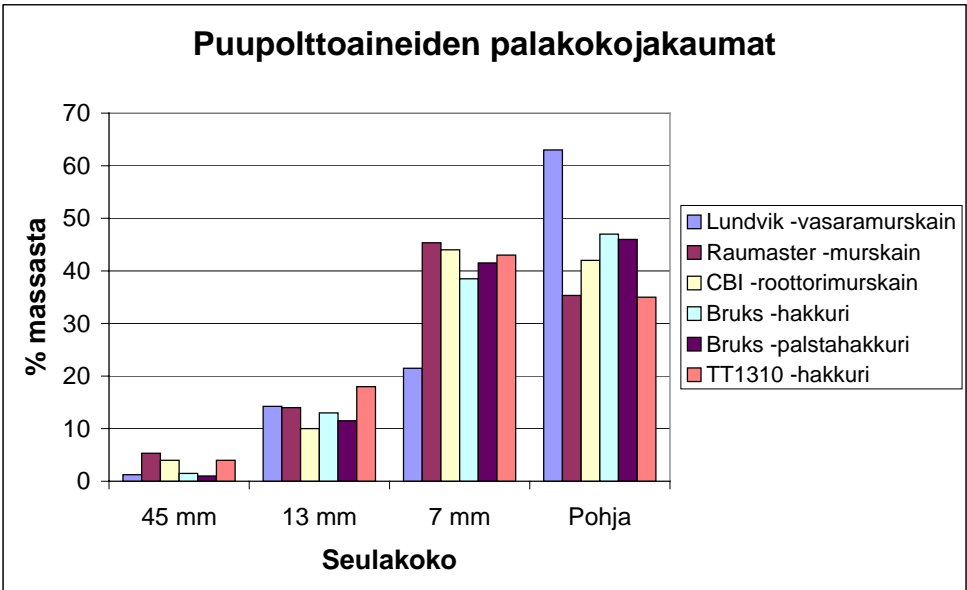
Selluhakkeen laatuselönnän mukaiset tulokset kuvaavat palakokojakauman tarkemmin kuin puupolttoseulontaa. Sekä hakkeista että murskeista sijoittui 13–45 mm:n luokkaan yleensä vain runsaat 10 %. 7–13 ja alle 13 mm:n luokkien osuudet olivat kumpikin noin 40 % (taulukko 5 ja kuva 7). Materiaalin laadun vaikutuksesta ei tämän aineiston perusteella voida tehdä yleistyksiä, mutta ikääntyneellä ja huonosti varastoidulla materiaalilla hienon aineksen osuus näyttää suurentuneen murskauksessa.

Taulukko 5. Hakkuutähdepolttoaineen palakokojakaumat selluhakkeen laatuselönnän mukaan.

Murskauslaite	Materiaali	Seulalle jäänyt osuus massasta seulakoon mukaan, (%)					
		> 45 mm	Rako 8 mm	13 mm	7 mm	Tikut 3 mm	Puru < 3 mm
Lundvik -vasara- murskain	ruotsalaiset paalit	4	10	10	19	23	34
Bruks 803 -hakkuri	ruotsalaiset vihreät paalit		18	15	21	14	32
	ruotsalaiset ruskeat paalit	3	25	11	13	15	33
Raumaster -murskain	ruotsalaiset vihreät paalit	5	28	19	16	10	22
	ruotsalaiset ruskeat paalit	3	28	11	13	15	30
	irtotähde	8	38	12	13	10	19
CBI Magnum -roottorimurskain	vihreät paalit	5	22	10	17	24	22
	irtotähde	3	31	10	18	21	17
TT1310 RML -hakkuri	vihreät paalit	5	28	15	16	16	20
	irtotähde	3	25	21	17	15	19
Bruks 803 -palstahakkuri	vihreä tähde	2	15	12	23	21	27
	ruskea tähde		20	11	25	26	18

Murskaustekniikka vaikuttaa palakokoon enemmän kuin murskattava materiaali. Murskaimissa käytetään seulalevyjä palakoon säätelyyn ja hakkureissa puoles-

taan voidaan säätää terien asentoja. Nyt tutkitut murskaimet ja hakkurit tuottivat melko samanlaista polttoainetta (kuva 7). Eniten joukosta poikkesi Lundvik-vasaramurskain, jolla pienimmän jakeen osuus oli selvästi muita suurempi. Tasaisimmat palakokojakaumat ja vähiten pienintä jaetta tuottivat Raumaster-murskain ja TT1310 RML -rumpuhakkuri (Heinolan Sahakoneet Oy). Vaikka kyseiset laitteet ovat toiminnaltaan aivan erilaisia, niiden tuottamat palakokojakaumat olivat hyvin samanlaiset.



Kuva 7. Erilaisilla murskaus- ja haketusmekanismilla tuotettujen hakkuutähdepolttoaineiden palakokojakaumat.

5. Tulosten hyödyntäminen

Puupolttoaineen tuotantoketjuista on melko vähän tutkimustuloksia. Alalle on tyypillistä voimakas kehitys. Usein koneet ja laitteet ovat olleet tutkimushetkellä uusia, jopa prototyyppeasteella. Tutkimukset on useimmiten tehty yksittäisistä koneista ja hankittu aineisto on jäänyt olosuhdekirjoltaan pieneksi. Näistä syistä julkaistut tulokset vanhenevat ja niiden soveltamisarvo heikkenee nopeasti.

Myös tämän tutkimuksen aineistot ovat suppeita ja koneet pääosin kehityskaarensa alkupäässä. Tutkimuksessa on kuitenkin merkittävästi kartutettu hakkuutähdepolttoaineen tuotantoketjuja koskevia tietoja. Paalaukseen ja irtonaisten hakkuutähteiden kuljettamiseen perustuvista ketjuista hankittiin empiiristä tietoa, samoin palstahakkureista. Hakkuutähteen ja -paalien murskausta ja haketusta rumpuhakkureilla tutkittiin. Myös materiaolimääritykset kartuttivat empiiristä tietoa hakkuutähdepolttoaineesta ja kosteuden suhteen määritetyillä yhtälöillä on käytännön merkitystä.

Tuotantoketjujen ja -yksiköiden tuottavuus- ja kustannustiedot palvelevat käytännön toiminnan suunnittelua ja päätöksentekoa. Työnvaiheittaiset tutkimustulokset paikansivat tehottomimpia tuotantovaiheita.

Kiinteät murskaus- tai haketusasemat sopivat puupolttoaineen suurkanäyttöön, koska niiden suorituskyky on suuri, esimerkiksi 200 000 kiintokuutiosta vuodessa ylöspäin. Käyttöpaikallahaketusta on mahdollista soveltaa pienillä lämpö- ja voimalaitoksilla mobiilikaluston avulla. Niillä voitaisiin käyttöpakalla haketuksessa päästä esimerkiksi 100 000–150 000 kiintokuution vuosituotokseen ja 10–15 mk/m³ tuotantokustannuksiin.

6. Jatkosuunnitelmat

Projekti päättyy. Jatkotutkimuksia tulisi kuitenkin tehdä kone- ja menetelmäkehityksen tukemiseksi. Tutkimuksilla on suuri merkitys puupolttoaineen tuotantoa koskevan objektiivisen tiedon ylläpitämisessä. Kelloaikatutkimusten lisäksi tulisi tehdä kattavia seurantatutkimuksia.

7. Julkaisut

Korpilahti, A. & Hämäläinen, J. 1999. Uutta teknologiaa puupolttoaineen korjuuseen – matkakuulumisia Ruotsista. *Metsäteho-lehti* 1/1999.

Korpilahti, A. 1999. Kaukokuljetus energiapuun tuotantoketjuissa. Esitys Puuenergian teknologiaseminaarissa 12.10.1999.

Korpilahti, A. 2000. Metsäpolttoaineen käyttö moninkertaistuu – tuotantoketjujen suorituskyky koetukselle. *Koneyrittäjä-lehti* 1/2000. S. 64–65.

Korpilahti, A. 2000. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205. VTT Energia, Espoo. S. 137–143.

Korpilahti, A. & Suuriniemi, S. 2001. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto. Metsätehon raportti.

Teollisten metsähaketusten erikoishakkuri – PUUY03

Tommi Lahti
Ylistönmäentie 26
40500 Jyväskylä
Puh. 0400 656045, 0401 656045, faksi 014-216 128
e-mail: tommi.lahti@lhmhakkuri.com

Abstract

Project title in English: Specialized chipper for industrial usage of the forest residues

The objective of the project is to develop special wood chipping equipment for the markets, the properties of which meet the requirements set by the industry for reliability and chipping capacity, and which improve the chips production methods, as well as the integration of different phases of production significantly. The objective of the special equipment under development is to minimize the waiting period and to change the character of the chipping work from chipping to loading of chips.

A chipper, called the Giant, meeting the following requirements, was constructed: the capacity is sufficient for 100 GWh wood chips deliveries, has road traffic capabilities also on forest roads and forest terminals, attachability to present production control systems, and the loading time of full trailer less than one hour.

1. Projektin tulokset

Giant-hakkuri (kuva 1 ja kuva 2) valmistui marraskuussa 2000 ja esiteltiin samassa kuussa yleisölle Bioenergiapäivillä Jyväskylässä. Hakkuri on rakennettu neliakselisen alustan päälle. Alustasta otetaan teho hakkurin hydraulikkaan. Haketukseen voima otetaan erillismoottorista. Hakkurin syöttölaite on mitoitettu

siten, että vinottain tapahtuva hakkurin syöttö on mahdollista hakkurin molemmilta puolilta. Kuormain on suunniteltu riittävän jykeväksi, että sillä voi repiä taakan irti mahdollisesti jäätyneestä hakkuutähdekasasta. Roskaruuvi helpottaa kuljettajaa pitämään haketuspaikka siistinä. Hakkeen siirto on järjestetty uusilla hakkeen kaksoisheittimillä.



Kuva 1. Giant-hakkuri.

2. Tuloksen hyödyntäminen ja miten tulokset palvelevat ohjelman tavoitteiden toteutusta

Projektin tuloksena on valmistunut sarjavalmistein harvesteri, joka soveltuu suurten hakemäärien haketukseen. Giant-hakkurilla voidaan haketta erilaisia puupohjaisia raaka-aineita ja saamaan näistä korkealaatuista haketta. Giant-hakkurilla voidaan tarjota korkealuokkaisia haketuspalveluja.



Kuva 2. Giant-hakkuri metsässä.

Taulukko 1. Giant-hakkurin tekniset tiedot.

Rumpuhakkuri	Rummun halkaisija	900 mm
	Rummun leveys	1440 mm
	Terien lukumäärä	4 kpl
	Säädettävä seula	
	Palakoko	25–35 mm
Moottori	Deutz BF12L513	367 kW, 2300 1/min
Syöttölaite	Hydrauliset lisälaidat	18 m ²
	Syöttöaukon leveys	1400 mm
	Syöttöaukon korkeus	600 mm
	Ketjukuljetin	1400 x 4500 mm
	Yläpuoleinen syöttörulla	
	Roskaruuvi	
Alusta	Pituus	11900 mm
	Leveys	2590 mm
	Korkeus	4100 mm
	Kokonaispaino	31500 kg
Nosturi	Suurin ulottuma	10040 mm
	Nostomomentti, netto	101 kNm
Tuotos	120–200 i-m ³ /h	

3. Projektin jatkosuunnitelmat

Giant-hakkurin menestys ja tuoteinnovaatiot punnitaan markkinoilla. Haketusmarkkinoiden kasvaessa ja tervehtyessä uskotaan syntyvän kysyntää suurten volyymien haketukseen tarkoitettulle kalustolle. Jatkokehitystarve kohdistuu yksittäisten komponenttien parantamiseen.

4. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Projektissa on valmistunut luottamuksellisia raportteja: 3 väliraporttia ja loppuraportti.

Lahti, T. 2000. Teollisten metsähaketusten erikoishakkuri – PUUY03. Puu-energian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205. VTT Energia, Espoo. S. 127–132.

Giant-esite

Giant-demo, 3D-esitys, saatavuus www.lhnhakkuri.com

Hakkuutähteen käyttöpaikkamurskaukseen perustuva tuotantomenetelmä – PUUY04

Seppo Paananen
UPM-Kymmene Oyj Metsä
PL 32, 37601 Valkeakoski
Puh. 0204-16121, faksi 0204-16120
e-mail: seppo.paananen@upm-kymmene.com

Samuli Rinne
YTY-Konsultointi
Siltakatu 15 B 24, 40520 Jyväskylä
Puh. 0400-543 835, fax 0420-543 835
e-mail: samuli.rinne@solutions.fi

Abstract

Project title in English: Logging residue fuel production based on comminution at the power plant.

UPM-Kymmene is increasing its logging residue fuel use in its power plants at the mills. In this case logging residues are hauled to the mill as they are or as bundles. In this project new production equipment is constructed and tested.

The logging residue load of the purpose-built rig has been increased from 24 m³ solid to 28.5 m³ solid by using heavy 200 kNm crane. Furthermore, loading and unloading with heavy loader is some 40% faster than with normal crane. As total, when heavy crane is used, the road transportation cost of logging residue is about 20 % lower than with normal crane.

There are now three Timberjack 370 logging residue bundling machines in commercial use in Finland. The bundler produces some 20 bales per hour. One bundle has a volume of about 0.5 m³ solid. A middle-sized forwarder without

special equipment can take 12 bales at one load and an ordinary timber rig can take on the average 63 bales at one load.

1. Tausta

UPM-Kymmenen aiemmassa hankkeessa on selvitetty hakkuutähteen saatavuutta eri tehtaille, kehitetty tuotantolaitteita sekä tutkittu menetelmien taloudellisuutta. Tässä hankkeessa on edelleenkehitetty irtotähteen ja paalien kuljetukseen perustuvien ketjujen tekniikkaa kaupallisessa käytössä.

2. Tavoite

Tavoitteena on tehdä Raumalla ja Pietarsaaressa olevista hakkuutähteen käyttöpaikallamurskausketjuista teknistaloudellisesti toimivia siten, että laite- ja menetelmäratkaisut ovat pääosin kaupallisina ratkaisuinä käytettävissä muillakin vastaavilla voimalaitoksilla.

3. Toteutus

- Rauman seudulla on kokeiltu irtotähteiden peittämisen vaikutusta kosteuteen ja tähteiden käsiteltävyyteen.
- Raumalle ajavaan irtotähdeautoon on tehty muutoksia ja niiden vaikutusta suorituskykyyn on tutkittu.
- Pietarsaaren seudulle on hankittu lisää hakkuutähdepaalaimia. Paalauksesta ja paalien metsä- ja autokuljetuksesta ja murskauksesta on kerätty kokemuksia.
- Metsäosaston puunhankinnan tietojärjestelmää on laajennettu myös energiapuuhun.

4. Tulokset

4.1 Välivarastokasojen peittäminen

Raumalla tehdyissä välivarastokasojen peittämiskokeissa peitetyt irtorisukasat olivat noin 4 %-yksikköä kuivempia kuin peittämättömät. Peite päästiin laittamaan kuitenkin vasta loppusyksystä, joten kesällä peitettäessä aiemmin havaittu 10 %-yksikön ero on todennäköinen. Tähteen käsittely irtorisuauton suurella kuormaimella oli peitetyillä kasoilla noin 15 % nopeampaa kuin peittämättömillä ja samoin kuorma noin 7 % suurempi. Kaikkiaan peittämisestä arvioitiin irtorisuketjussa olevan noin 2 mk:n/MWh hyöty. Peittäminen on hyödyllistä erityisesti länsirannikolla, missä suuri osa lumesta sulaa jo talvella tienvarsikasan sisään ja jäädyttää kasan syvältä.

Paalien peittämiskokeiden alustavien tulosten perusteella on todettu, että peittämättömien ja peitettyjen paalien kosteusero noin 10 %-yksikköä. Paalien peittämiskustannukset ovat arviolta vain noin kolmanneksen irtorisun peittämiskustannuksista.

4.2 Irtorisun metsäkuljetus

Metsäkuljetuksessa käytettiin jo aiemmin suunniteltua liukupankkokuormatilaa. Uutena kokemuksena tuli se, että kostean tähteen kuormat ovat usein niin suuria ja takapainoisia, että on suositeltavaa käyttää kantavuudeltaan 12 tonnin kuormatraktoria aiemmin käytettyjen 10-tonnisten sijasta.

Kuormatraktorin lisävarustuksena oli myös Sakari Monosen 6-piikkinen risukoura. Se on havaittu hyväksi, sillä se kääntää oksat ja latvat paremmin yhden-suuntaisiksi kuin 4-piikkinen koura.

4.3 Irtorisun autokuljetus

Kuljetusliike Hakonen uudisti irtorisuauton. Uuteen autoon asennettiin suuri 200 kNm:n kuormain entisen 88-kNm:sen tilalle, suuri koura, suurempi vetoauton lava ja erikoisvahva apurunko. Kuva 1 esittää autoa nykymuodossaan. Auton

rakenneratkaisut todettiin pääpiirteissään toimiviksi. Kuormatila on nyt 128 kehys-m³. Kuormakoko on ollut peitetyistä kasoista keskimäärin 28,5 kiinto-m³ ja peittämättömistä 26,6 kiinto-m³. Kuorma on noin 12 % suurempi kuin vanhalla yhdistelmällä ja kuormausta ja purkamista noin 40 % nopeampaa kuutiometriä kohden. Peitetyistä kasoista kuormattaessa kuormauksen ajanmenekki oli keskimäärin 1,6 min/m³, josta taakan jättämiseen, tiivistämiseen ja kuorman siistimiseen kului tutkimuskohteilla keskimäärin 47 %. Purkamisen ajanmenekki oli 0,43 min/m³. Laskennalliset kuljetuskustannukset ovat uudella autolla noin 20 % pienemmät kuin vanhalla.



Kuva 1. Kuljetusliike S. Hakonen & Pojat Ky:n irtorisuauto.

Irtorisun autokuljetuksessa kokeiltiin myös Sakari Monosen sivuillettiivistävää kouraa, joka painaa leukojen kärjissä olevien lisäpiikkien avulla tähteitä laitoja vasten ja tekee näin keskelle kolon, johon uusi taakka voidaan laittaa. Tästä ei ollut hyötyä suuressa nosturissa suureen kouraan verrattuna, mutta pienemmässä nosturissa saattaisi sivuillettiivistävä koura olla tavallista kouraa parempi. Sivuillettiivistävässä kourassa oli myös giljotiinityyppinen leikkuri. Se todettiin periaatteeltaan toimivaksi, mutta tässäkin suuri nosturi kykeni voimallaan sa-

maan tulokseen eli katkomaan pitkät, tiiviin kuorman aikaansaamista haittaavat latvat. Leikkurikin olisi hyödyllisimmillään hieman pienemmässä nosturissa.

4.4 Tähteiden paalaus ja paalien kuljetus

Timberjack 370-hakkuutähdepaalaimia on Suomessa käytössä nyt kolme. Paalaimet ovat toimineet erittäin hyvin ja paaleja on tehty kaikkiaan yli 70 000 kappaletta. Tuottavuus on noin 20 paalia tunnissa ja yhden paalin keskikoko noin 0,5 kiinto-m³. Uudistetussa B-mallissa on mm. syöttörullien voimaa lisätty ja sahausnopeutta suurennettu. Paalain sopii asennettavaksi käytetyn alustakoneen, esimerkiksi Timberjack 1210:n, päälle, kuva 2.



Kuva 2. Timberjack 370 B-hakkuutähdepaalain.

Metsä- ja autokuljetuksessa voidaan käyttää tavanomaista pyöreän puun kalustoa. Tavallisella kuormatilalla varustetun keskikokoisen kuormatraktorin kuormatilaan sopii noin 12 paalia ja laajennettuun kuormatilaan arviolta 25 paalia. Kuormauksen ajanmenekki metsäkuljetuksessa on noin 0,6 min/m³, purkamisen samoin. Puuauton kuormassa on ollut keskimäärin 63 paalia.

4.5 Hankinnan organisointi ja ohjaus

Metsäosasto on hoitanut tähteiden hankintaa ainespuun hankinnan ohella. Puunhankinnan tietojärjestelmää on laajennettu myös hakkuutähteen hankinnassa toimivaksi.

Maksuperusteissa pyritään yleisesti MWh-pohjaiseen hinnoitteluun, joka kannustaa toimijoita energiamäärän maksimointiin ja laadun eli kuivuuden ylläpitämiseen.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Hankkeen tuloksilla parannetaan puuenergiayrittäjien toimintaedellytyksiä, tehostetaan UPM:n Rauman ja Alholman voimalaitoksen hakkuutähteen hankintaa ja luodaan valmiudet tiettyjen laite- ja menetelmäratkaisujen käyttöönottoon myös muiden UPM:n tehtaiden ja rakenteilla olevien voimalaitosten polttoainehankinnassa.

6. Jatkosuunnitelmat

Menetelmien käyttöä laajennetaan ja kehitetään edelleen.

7. Julkaisut ja raportit

Projektia on esitelty tutkimusohjelman seminaareissa.

Terminaalihakkeen tuotantotekniikka – PUUY06

Jaakko Silpola
Vapo Oy
PL 22, 40101 Jyväskylä
Puh 014-623 623, 040-554 69 54, faksi 014-623 5707
e-mail: jaakko.silpola@vapo.fi

Abstract

Project title in English: Production technology for wood chips at the terminals

The objective of the research is was to develop a method, in which forest chips are produced centrally at a terminal, by which it would be possible to improve the quality and delivery logistics of the chips. A HavuHukka forest trailer was developed in the project for continued short-distance haulage, i.e. for forest haulage and road transportation. A heavy peat or farming tractor can be used as the traction engine. Equipment manufacturers developed also tractor chippers, applicable for chipping of logging residues, for the same tractors. A production technology publishing campaign was also carried out in the project. In addition to these objectives the project tried to develop analysis methods for determination of wood-peat mixing rate. The production capacity of the terminal production method, developed during the three year project, at the extent published in the report, is about 400–500 GWh/a of forest chips.

1. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena oli kehittää menetelmä, jossa metsähaketta tuotetaan terminaaleissa. Projekti koostui suunnitteluvaiheessa kuudesta osaprojektista:

- 1) hakkuutähdeperävaunun kehittäminen
- 2) traktorihaketuksen kehittäminen
- 3) kenttäkunnostusjyrsimen sovitus hakkuutähteen murskaukseen

- 4) turve-puuseospolttoaineen seossuhteen analyysimenetelmän kehittäminen
- 5) metsähakkeen seulonnan kehittäminen
- 6) terminaalituotannon lanseeraus.

Toteutuksen aikana projektissa keskityttiin hankkeisiin 1, 2, 4 ja 6. Koska hankkeen nro 4 toteutuksessa ei saatu riittävän hyviä tuloksia, ei ollut syytä aloittaa hankkeita 3 ja 5.

Kaikille osaprojekteille asetettiin konkreettiset, esim. numeeriset tavoitteet.

2. Projektin toteutus

Projektia toteutettiin yhdessä mm. seuraavien yhteistyötahojen kanssa:

- VTT Energia
- Työtehoseura
- Kimmo Ihalaisen konepaja
- Valtra Valmet
- Kesla
- Wiikar
- Ponsse
- Tamtron
- Heinolan sahakoneet
- Joensuun yliopisto
- Jyväskylän yliopisto
- Mainostoimisto Creator Grey.

Tutkimus- ja suunnittelutyöhön osallistui myös lukuisia yksityisyrittäjiä.

Projekti niveltyi myös VTT Energian vetämään Seospolttoainehankkeeseen (ks. Puuenergia teknologiaohjelman vuosikirja 2000, s. 95–112).

3. Kustannusarvio ja aikataulu

Hankkeen kustannusarvio oli 5,9 miljoonaa markkaa ja kokonaiskustannukset olivat 5,3 miljoonaa markkaa. Projekti oli kolmivuotinen ja se toteutettiin vuosina 1998–2000.

4. Tulokset

4.1 Hakkuutähdeperävaunun kehittäminen ja tutkimus

HavuHukka-hakkuutähdeperävaunun kehitys aloitettiin vuonna 1997, siis ennen projektin aloittamista. Vuosina 1997–1998 rakennettiin 4 erilaista protovaunua ja 3 kpl ensimmäisen 0-sarjan vaunuja.

Tutkimusraportin ja käytännön kokemusten perusteella rakennettiin nopealla aikataululla ensimmäinen varsinainen 0-sarja, 12 kpl mekaanisen vedon perävaunuja, jotka otettiin käyttöön vuodenvaihteessa 1998–1999. Runsaan puolen vuoden käyttökokemusten jälkeen rakennettiin vielä 8 kpl vaunuja, jotka otettiin käyttöön syksyllä 1999.

Valittu tekniikka toimii tarvittavalla tavalla ja hakkuutähdeperävaunujen tekninen käyttöaste on iältään nuorelle koneelle hyvä, 75–80 %.

Vaunun nopeasta viemisestä kehitysvaiheesta urakointiin oli etuina mm.

- usean urakoitsijan työn kautta kehityskokemuksia saatiin nopeasti
- konetuotannon kehitys pysyi ripeänä
- tuotantoketjun kokonaisuuden kannalta tärkeää hakkuutähdeperävaunun varastointiosaamista saatiin työnjohtomme käyttöön.

Nopeasta kehitystyöstä aiheutui myös ongelmia ja kustannuksia, jotka johtuivat lähinnä

- lastentautien paikkaamisesta
- uuden, paremmaksi havaitun tekniikan jälkiasennuksista

- pienimpien kuormainten vahvistamisesta
- hakkuutähdekouran vahvistus- ja muutostarpeista.

Vaunut ovat pärjänneet kaikissa maamme eri olosuhteissa suunnitellulla tavalla niin, että maastoista tai vuodenajoista johtuvia työn keskeytyksiä ei ole ollut ennakoitua enempää.

Kuljettajien ja urakoitsijoiden ammattitaitoa pyrittiin kehittämään kahdella eri koulutushankkeella. Vapon oma laatuopastaja koulutti lähes kaikkien yksiköiden kuljettajat tutkimustulosten mukaan oikeaoppisten varastoauomojen tekoon. Lisäksi kuljettajille annettiin teknistä ja työergonomiaopetusta.

4.2 Traktorihakkurin kehittäminen

Traktorihakkurien käyttöä terminaalihaketuksessa tutkittiin ja kehitettiin yhdessä laitevalmistajan (Heinolan Sahakoneet Oy, ks. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000, s. 133–136) ja VTT Energian kanssa. Ensimmäiset traktori-käyttöiset hakkurit otettiin Vapo Oy Energian käyttöön keväällä 1998. Näiden hakkureiden käyttökokemusten perusteella Vapo investoi kahteen uuteen hakkuriin, joiden suunnittelussa hyödynnettiin ensimmäisten hakkurien käyttökokemuksia. Talvella 1998–1999 käytössä olleiden neljän traktorihakkurin tuottavuutta ja teknistä toimivuutta selvitettiin VTT Energian yritys-tutkimuksessa.

Terminaalihaketuksen määrän lisääntyminen sekä traktorihakkurien kilpailukyky toiminnassa mahdollistivat kahden edelleen kehitetyn traktorihakkurin lisäinvestoinnin syksyllä 1999. Nyt Vapo Oy Energialla on kuusi traktorihakkuria, joiden yhteen laskettu tuotantokapasiteetti on noin 300 000 i-m³ eli 250 GWh.

Hankkeessa traktorihakkurin kehittämisen tavoitteet saavutettiin.



Kuva 1. HavuHukka-traktorihakkuri. Kuva: Vapo Oy.

4.3 Seospolttoaineen analyysimenetelmä

Tavoitteena oli kehittää menetelmä hake-turveseoksen seossuhteiden analysoimiseksi. Lupaavin erottelumenetelmä oli hapan-emäsluoksen käyttöön perustuvaa ”saippuavesimenetelmää”, joka ei kuitenkaan osoittautunut riittävän luotettavaksi. Hankkeen tavoitteita ei saavutettu.

4.4 Terminaalituotannon lanseeraus

Kevättalvella 1999 toteutettua Tilaa metsälle -työnäytöskampanjaa (2500 kävijää) jatkettiin syksyn 1999 kiertueilla pääasiassa Lounais-Suomessa. Työnäytöksiä järjestettiin yhteensä 4 kappaletta ja niissä tutustui hakkuutähteen siivoukseen yhteensä noin 600 henkilöä. Kaiken kaikkiaan terminaalituotantoon

tutustui työnäytöksissä yli 3000 henkilöä. Lisäksi hakkuutähteen siivouksesta laadittiin uutisia kymmeniin lehtiin ja radio-ohjelmiin. Menetelmää esiteltiin myös televisiouutisissa. Urakoitsijoille laadittiin opetusmateriaalia kuten opetusvideoita – sekä kasoillehakuusta että HavuHukan käytöstä. Hankkeen tavoitteet saavutettiin.

5. Yhteenveto

Puuenergian kehitysprojektien tuloksena Vapo Oy Energia on aloittanut metsätähdehakkeen terminaalituotannon eri puolilla Suomea. Tällä hetkellä Vapo Oy Energian tuotantokapasiteetti on 400–500 GWh (n. 360 000–450 000 i-m³) metsätähdehaketta vuodessa. Tuotanto työllistää

- noin 40 urakoitsijaa kuljettajineen
 - noin 5–10 kuljetusyrittäjää
 - noin 10 Vapon työnjohtajaa
- => yhteensä noin 55–60 henkilöä.

6. Julkaisut

Hankkeen puitteissa ei ole tuotettu julkisia julkaisuja, mutta useita yritysraportteja.

Metsäenergiakeruukoneen kehitys ja koelaittevalmistus – PUUY13

Kauko Helevirta
Sakari Pinomäki Ky
Pinotie 3, 33470 Ylöjärvi
Puh. 03-3480 700
e-mail: info@spinomaki.fi

Abstract

Project title in English: Development of new all-terrain chip harvester

The objective of the project is to develop a new, efficient, reliable and profitable wood harvesting machine for serial production, which could be applied for chipping of logging residues and forest energy from thinnings at the lot, and which would fit into the harvesting chain.

The project has been carried out by developing first a method prototype. Biowatti Oy, mastering the harvesting chains of forest energy, has tested the method and the concept, and approved it to be operable. The machine has been delivered to an experienced forest entrepreneur for testing in actual field conditions.

Final productivity tests have not been finished yet, and the results have not been analyzed. Preliminary results show that when chipping the residues at the lot, using 300-m haulage distance and unloading into a chip lorry, the productivity to be about 60 bulk-m³/h, and the fuel consumption to be 1,1 liters/bulk m³. The machine can be fueled by tax-free fuel oil.

The PIKA LOCH 2000 chipper, developed in the project, will first be marketed in Finland, Sweden and other parts of Europe. In Finland there is a need for lot-chippers and employment of them so they can get investment subsidies from the Finnish Ministry of Trade and Industry, which is expected to increase the share of lot-chippers in harvesting of wood energy.

1. Projektin tavoite

Projektin tausta on näkyvissä oleva ja yleisesti kasvava energiahakkeen tarve sekä metsäenergiankeruuketjun tarpeisiin kaikilta osin sovitettu sarjavalmistamisen hakeharvesterin puute.

Projektin tavoite on kehittää uusi, tehokas, suorituskykyinen, toimintavarma ja taloudellinen sarjavalmistuskelpoinen palstahakkuun suorittava puunkorjuukone, joka soveltuu hakkuutähteen ja harvennushakkuiden metsäenergian haketukseen ja korjuuketjuun.

2. Projektin toteutus

Projektia on toteutettu kehittämällä ensin menetelmäprototyyppi, jolla metsäenergiankeruuketjun hallitsevan yhteistyökumppanin Biowatti Oy:n testien ja kenttäkokemusten perustella on osoitettu konseptin ja ratkaisujen toiminnallisuus. Kenttäkokeita varten kone on annettu kokeneen hakeurakoitsijan käyttöön todellisiin kenttäolosuhteisiin (kuva 1).

3. Projektin tulokset

Projektin tähänastiset tulokset osoittavat, että PIKA LOCH 2000 -nimellä markkinoitavan koneen menetelmäprototyyppi täyttää tavoitellut suoritusarvot, ominaisuudet ja toiminnot sekä soveltuvuus hakkuutähteen haketukseen ja metsäenergiankeruuketjuun on hyvä. Kone on toteutettu yhdellä Scania DI 12 316 kW/1802 Nm -moottorilla. Kaikki koneen toiminnot ovat toteutetut hydraulisella voimansiirrolla. Koneessa on neljä hydraulikkapiiriä, kaksi suljettua ja kaksi avointa. Kahdeksan pyörää NAF teleissä, tasainen painijakauma sekä hydrostaattismekaaninen voimansiirto takaavat hyvät kulkuominaisuudet niin maastossa kuin siirtoajossa. Kääntyvä ja automaattisesti pystyasentoon säätävä ja ympärikääntyvä ohjaamo ja nosturi parantavat edelleen työskentely- ja maasto-ominaisuuksia. Loglift 71 -nosturi on sijoitettu ohjaamon oikealle puolelle nopeuttamaan syöttöä kahdesta osasta muodostuvalle ja kuljetusasentoon taittuvalle syöttöpöydälle Haketus tapahtuu hydraulisella käytöllä varustetulla Bruks 604 CT -hakkurilla. Hakkeen käytännössä lähes

pölytön syöttö katolla varustettuun konttiin tapahtuu mekaanisen kiihdyttimen avulla, perinteisestä pneumaattisesta siirrosta poiketen. Hakekontti on tyhjennettävissä hakeauton konttiin yli 4,2 metrin korkeuteen pohjakuljettimen avulla, kippaamatta ja siten myös osittaispurku/täyttö on tasapainoinen ja mahdollinen. Tyhjennys on nopeaa ja kestää nostoineen vain noin 75 sekuntia. Koneetta on käytetty sekä talvi-, kevät- että kesäolosuhteissa. Toimivuutta on testattu erilaisten palstojen palstahaketuksesta ja aumaltahaketuksesta sekä tienvarsihaketuksessa.

Lopulliset tuottavuustutkimukset ovat vielä kesken ja tulokset analysoimatta, mutta ennakkotulokset näyttävät n. 300 m ajomatkalta palstalta hakettaessa tuotoksi hakeauton tyhjennettynä n. 60 i-m³/h ja polttoainekulutukseksi noin 1,1 l/i-m³. Koneessa voi käyttää verotonta polttoöljyä.



Kuva 1. PIKA LOCH 2000 -palstahakkuri.

Teknisesti onnistuneen projektin tuloksena syntyneitä PIKA LOCH 2000 -palstahakkuria markkinoidaan ensivaiheessa Suomeen, Ruotsiin ja muualle Eurooppaan sekä lähialueille. Suomessa palstahakkurille ja niiden työllistämiseksi on jo tarve ja siksi se on hyväksyttävissä KTM:n investointituen

piiriin, minkä odotetaan lisäävän palstahakkureiden yleistymistä puuenergian kerääjinä.

Projektin jatkosuunnitelmissa on kehittää edelleen palstahakkuumenetelmän taloudellisuutta, tuottavuutta ja ympäristöystävällisyyttä.

PIKA LOCH 2000 on esitelty lehdistölle ensikerran Eurassa 14.05.2001 ja kesän alussa ELMIA WOOD 2001 -messuilla Jönköpingissä. Näiden seurauksena tuote on nähty useissa ammattilehtien lehtiartikkeleissa niin kotimaassa kuin ulkomaillakin.

Haketta tuottavien koneiden suunnittelu ja valmistus – PUUY18

Jorma Issakainen
Kesla Oyj
Kuurnankatu 24, 80100 Joensuu
Puh. 013-6828 41, faksi 013-6828 300
e-mail: jorma.issakainen@kesla.fi

Abstract

Project title in English: Design and manufacture of chips producing equipment

The objective of the project is to develop drum chipper collection, based on a German product idea, in which the present forest loader will be integrated. In the basic versions the loader can be mounted either to the back axle of a tractor or on a trailer. The chipper is modified on the basis of the feeding opening (45 x 60 cm). The equipment is designed for chipping entrepreneurs/heating entrepreneurs.

Detailed design started in spring 2000, after which prototype machines have been constructed for test runs. Modification needs were observed on the basis of the test runs. In spring 2001 the modifications were implemented in original designs. The product was launched in the markets in Elmia Wood forest exhibition in June 6th–9th 2001 in Jönköping, Sweden.

1. Tausta

Kasvava bioenergian kysyntä on luonut osittain uuden koneurakoitsijaryhmän haki/lämpöyrittäjät. Yrittäjän tarkoituksena on tuottaa haketta paikkakuntansa esim. kunnalliselle lämpölaitokselle. Markkinoilla on saatavilla nostolaitteeseen asennettavia laikkahakkureita ja ruuvihakkureita, joskin jo tässä mittakaavassa tapahtuvassa haketuksessa ovat tuotoltaan liian pieniä ja soveltuvat huonosti tai ei ollenkaan ns. ammattimaiseen kuormainsyöttöön haketuksessa.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on tuotteistaa saksalaiseen tuoteideaan perustuva rumpuhakkurimallisto (kuva 1), johon yhdistetään jo nyt tuotannossa olevat metsäkuormaimet. Perusversioissa voidaan kuormain sijoittaa traktorin takasiltaan tai trailerille. Itse hakkuria moduloidaan syöttöaukon mukaan (45 x 60 cm). Tuote on tarkoitettu hakeyrittäjä/lämpöryttäjämalliseen liiketoimintaan.

3. Projektin toteutus

Yksityiskohtainen suunnittelu aloitettiin keväällä 2000, jonka jälkeen on valmistettu protokoneita testaukseen. Testissä olleista koneista saatujen palautteiden perusteella on ilmaantunut muutostarpeita, jotka kevään 2001 aikana on siirretty alkuperäisiin suunnitelmiin. Tuotteen varsinainen lanseeraus tapahtui Elmia Wood -metsänäyttelyssä 6.–9.6. Jönköpingissä, Ruotsissa.



Kuva 1. FORESTERI C4560LF -rumpuhakkuri sekä FORESTERI 500 -kuormain haketuksessa.

Hakkuutähteen tiivistykseen perustuvan niputuslaitteiston kehittäminen – PUUY16

Fredrik Pressler
Biowatti Oy
Revontulentie 6, 02100 Espoo
Puh. 01046 58507, faksi 01046 94298
e-mail: fredrik.pressler@biowatti .fi

Ismo Nousiainen
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672670, faksi 014-672597
e-mail: ismo.nousiainen@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Development of a bundler for logging residues

Traditional logging residue purchase methods have based either on chipping at the lot or in the roadside storages. However, methods have been developed also for long-distance transportation of complete logging residues. In this case chipping would be carried out at the power plant.

New methods, based on on-site chipping, are being developed for purchase of logging residues. The bundling equipment used in these purchase chains has been developed in Sweden. The purchase chains under development would enable the forest haulage and long-distance transportation of logging residues by present forest and long-distance transportation equipment, and it would ease the storage of logging residues.

The objective of the project was to develop, on the basis of the idea of Biowatti Oy, a continuously operating logging residue bundling device. Because the success of compaction is the critical factor effecting on the operation of the equipment, the project was carried out in two stages. The objective of the first

stage, presented in this report, was to develop, construct and test the compaction method.

Several modifications were made to the device during the research. New tests were carried out after the modifications in order to determine the operation of the equipment, the compactness of the bundles, and determination of the further development required. The final version of the device was equipped with a feeding table in which the feeding of logging residues occurred by the aid of a lamellar chain track, equipped with shear keys, and with a pressing roller.

Test runs showed that by using the continuous compression method, developed in the project, it possible to obtain the compression target (45 %). The capacity of the bundler could not be tested properly because the test runs were relatively short.

The power demand and capacity measurements of the bundler will be carried out wider in the second part of the project, as soon as the compression equipment has been developed further.

On the basis of the preliminary experiences, the weak point of the delivery chain of bundling has been e.g. the high investment costs of the bundler, and relatively low productivity of the device compared to investments. However, the project created a new solution, by which it is possible to improve the competitiveness of the purchase chain and hence to promote the development of a new purchase method for logging residues, supporting the methods already in use in Finland.

1. Projektin tausta

Perinteiset hakkuutähdehakkeen hankintamenetelmät ovat perustuneet joko palsta- tai tienvarsivarastohaketukseseen. Lisäksi on kehitetty menetelmiä kokonaisten hakkuutähteiden kaukokuljettamiseksi, jolloin haketus tapahtuisi vasta polttoaineen käyttöpaikalla.

Käyttöpaikalla haketukseseen liittyen uusimpina ratkaisuin on lähdetty kehittämään hakkuutähteiden niputukseen perustuvia hankintaketjuja. Näissä hankintaketjuissa nykyisin kokeiltavat niputuslaitteistot ovat kehitetty Ruotsissa.

Kehitettävät hankintaketjut mahdollistaisivat hakkuutähteiden metsä- ja kaukokuljetuksen toteuttamisen nykyisillä puutavaran metsä- ja kaukokuljetuskalustolla sekä helpottaisi hakkuutähteiden varastointia.

2. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena oli kehittää Biowatti Oy:n idean pohjalta jatkuvatoimiseen tiivistykseen perustuva hakkuutähteiden niputuslaitteisto. Koska laitteiston toiminnan kannalta kriittisenä nähtiin tiivistyksen onnistuminen, jaettiin projektin toteutus kahteen osaan. Projektin ensimmäisessä osassa, jota tämä raportti koskee, tavoitteena oli suunnitella, rakentaa ja testikäyttää ideoitua tiivistysmenetelmää.

3. Projektin toteutus

Tutkimusjakson aikana laitteeseen tehtiin useita muutoksia. Muutosten jälkeen suoritettiin koeajoja laitteet toiminnan ja tuotettujen hakkuutähdennippujen tiiviyksien selvittämiseksi sekä jatkomuutostarpeiden määrittämiseksi. Viimeiseen versioon liitettiin syöttöpöytä, jossa syöttö tapahtui tartunnoin varustetun lamellimaton ja painotelan avulla.

Koeajot osoittivat, että projektissa kehitetyllä jatkuvalla tiivistysmenetelmällä päästiin asetettuihin hakkuutähdetukin tiiviysvaatimukseen, joka oli 45 %. Niputtajan kapasiteettia ei päästy kunnolla mittaamaan, koska koeajot olivat varsin lyhyitä.

Niputusosan tehontarve- ja kapasiteettimittauksia on tarkoitus tehdä laajemmin projektin toisessa vaiheessa, kun tiivistämislaite on valmiimpi.

Ensimmäisten kokemusten perusteella hakkuutähteiden niputuksen toimitusketjun heikkona puolena on ollut mm. niputuslaitteiston korkea investointikustannus ja siihen verrattuna laitteen suhteellisen alhainen tuottavuus. Tässä mielessä tämä projekti toi uuden ratkaisun, jolla tämän hankintaketjun kilpailukykyä voidaan parantaa ja siten edistää uuden muita tukevan hakkuutähteiden hankintamenetelmän luomista Suomeen.

Hakkeen hankinnan työvaiheiden kehittäminen, lähikuljetus ja hakkeen varastointi – PUUT13

Matti Hämäläinen & Panu Pankakari
Savonlinnan Ammatillinen Aikuiskoulutuskeskus (SAKKE)
Telakkatie 9, 57230 Savonlinna
Puh. 015-5758 248, faksi 015-5758 290
e-mail: panu.pankakari@akk.savonlinna.fi

Abstract

Project title in English: Development of the stages of wood chips procurement, short-distance haulage and storage of chips

PUUT 13 project will be carried out in co-operation with Metsäenergia Ky, VALTRA Oy Ab, LMH-Hakkuri Oy, Varpala School of Forestry (a part of the Vocational Institute of Savonlinna), the TTS-Institute (Work Efficiency Institute) and the Rantasalmi Forest Management Association. The objective of the project is to develop the prevailing equipment so that the harvesting and short-distance haulage of logging residues would be profitable. The leading principle of the research is that every small heating plant does not need separate chip storage of its own but the chips transport unit (a container) can be used as storage.

1. Yleistä

Savonlinnan Ammatillinen Aikuiskoulutuskeskus (SAKKE) on Savonlinnan talousalueen ammatillisen koulutuksen ja elinkeinoelämän käytännön kehittämiskeskus. SAKKEssa käynnissä olevat hankkeet toimivat luonnollisesti niillä aloilla, joissa osaaminen on vahvinta ja samoilla aloilla järjestetään perus-, ammatti-, ja erikoisammattitutkintotavoitteista koulutusta sekä muuta ammatillista lisä- ja täydennyskoulutusta. Tämä on toimintamme erityinen vahvuus.

Koulutusosaamisen, työelämäyhteyksien sekä projekti toiminta valmiuksien yhdistäminen on ainoa tapa toteuttaa kehittämishankkeita lähellä kohderyhmää yrittäjälähtöisesti.

SAKKE on ollut mukana jo yli 7 vuotta kehittämässä hakkeen hankinnan kokonaislogistiikkaa yhteistyössä mm. Metsäenergia ky:n kanssa. Ensimmäinen yhteistyöprojekti Metsäenergian kanssa oli – Bioenergia-tutkimusohjelmaan kuulunut – v. 1995 valmistunut MOHA-hakkuriauto.

Projektin rahoitus on yhteensä 3,15 mmk, josta tutkimusavustuksia on 1,40 mmk, investointiavustuksia 0,29 mmk ja muiden projektirahoittajien osuus on 1,46 mmk.

Projektiin ovat osallistuneet Savonlinnan Ammatillisen Aikuiskoulutuskeskuk- sen lisäksi Metsäenergia ky, Valtra Oy Ab, LHM-hakkuri Oy, Metsäkoulu Var- pala, Työtehoseura sekä Rantasalmen metsänhoitoyhdistys.

2. Tavoite

Laitekehitysprojektin lähtötavoitteena oli kehittää tavallisesta maataloustrakto- rista – maastossa toimiessaan – metsäkoneenomainen hakkuutähdettä taloudelli- sesti keräävä lähikuljetusyksikkö, jossa on huomioitu ajo-, ohjaus- ja kuormaus- järjestelmien joustava yhteen toimivuus. Vaihtovarastokonttijärjestelmässä ta- voitteena on saattaa hake käsiteltävyydeltään – käyttäjän kannalta – lähes yhtä helpoksi kuin öljy, joten kontti varustetaan omalla purkulaitteella.

3. Projektin eteneminen

3.1 Lähikuljetusyksikkö

Forest-ohjaamolla varustettuun Valtra 8550 HiTech maataloustraktoriin tehtiin aikavälillä 31.05.2000–19.02.2001 seuraavat muutustyöt:

Kuormaaja

- Loglift 50V -kuormaaja kytketty takasiltaan pikakiinnitteisenä. Ohjaus kuljettajan istuimen käsinojiin asennetuilla sähköisillä minivivulla, Parker IQUAN.
- Hydrauliikkajärjestelmä, Mannesmann Rexroth.
- Etupuskurin tilalla kuormaajan öljysäiliö, johon asennettu säätötilavuuspumppu ja öljysuodatin.



Kuva 1. Kuormaajan öljysäiliö odottamassa paikoilleen asennusta.

Ohjaamon muutostyöt

- Alkuperäinen hallintapaneeli poistettu ohjaamon oikealta puolelta, jonka johdosta istuimen kääntäminen ohjaamossa helpottunut.
- Traktorin ajaminen hallittavissa käsinojien lisätoiminnoista.
- Ajaminen mahdollista myös selkä menosuuntaan.



Kuva 2. Mekaaniset vivut ja vanha hallintapaneeli poistettu ohjaamosta.



Kuva 3. Sähkötyöt ja uuden logiikan asennustyöt meneillään.

Muuta

- Traktori soveltuu edelleen maataloustöihin ja kolmipistetyökonekiinnityksiin, sekä yhden koneen hakkeen korjuuketjuun – kannolta käyttöpaikalle.

Savujaisten – 19.02.2001 – jälkeen on yksikkö ollut testattavana hakkuutähteen ja kokopuun keruussa, jolloin se varustettiin laajennettavalla kuormatilalla olevalla perävaunulla. Tuottavuustutkimukset tekee Työtehoseura ja tulokset valmistunevat syksyllä 2001.



Kuva 5. Traktori maastossa helmikuun lopulla.

3.2 Vaihtovarastokontti

Vaihtovarastokontin ensimmäisen demoaseman konttijalustan valutyöt valmistuivat vuoden vaihteessa 2000–2001 ja jalusta asennettiin paikoilleen maaliskuussa 2001.

Pitkällisten tutkimusten jälkeen talvella 2001 rakennettiin ensimmäinen ”kevyt” päältäpurkulaite, ja kevättalvella 2001 suoritettiin ensimmäiset purkulaitteen käyttötestit ensin SAKKella ja kun oli päästy tiimiä tyydyttäviin tuloksiin, siirrettiin kontti purkulaitteineen huhtikuun loppupuolella demoasemalle, jossa suoritettiin parin viikon koeajo. Saatujen kokemusten perusteella tehdään – parhaillaan tätä kirjoitettaessa – lisämuutoksia, jotta laitteen toiminta ja syöttöjärjestelmä saadaan säädettyä haluttuun tarkkuuteen.

4. Projektin loppuvaiheet

Projekti päättyy 31.10.2001. Sitä ennen tehdään vielä kuluvan kesän aikana lisämuutoksia lähikuljetusyksikköön, mm. etuakselin jäykistys ja uivien asennus kuormajaajan. Työtehoseura jatkaa tuottavuustutkimuksiaan, jotta saataisiin mahdollisimman kattavat tiedot tästä ”isäntälinjan korjuuketjun” kannattavuudesta.

Varastokontin koeajoja jatketaan ja tehdään vielä mahdollisesti tarvittavia muutoksia purkulaitteeseen.



*Kuva 6. Projektipäällikkö Matti Hämäläinen (vas.) Meter-tiimin kanssa
19.02.2001 pidetyssä savujaistilaisuudessa.*

Hakkuutähteen kuljetuksen täysperävaunuyhdistelmä – PUUY14

Jaakko Silpola
Vapo Oy
PL 22, 40101 Jyväskylä
Puh 014-623 623, 040-554 69 54, faksi 014-623 5707
e-mail: jaakko.silpola@vapo.fi

Abstract

Project title in English: Trailer combination for transportation of logging residues

The objective of the project was to develop a load-compacting trailer, applicable for long-distance transportation of logging residues. Vapo Oy at Kiuruvesi engineering works carried out the project. A load-compacting container was constructed on a truck chassis. The operation of the new type pressing mechanism was tested with the container. The objective of the project was not achieved. In the maximum about 70% of the target load could be loaded into the load space.

1. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena on kehittää hakkuutähteen kaukokuljetukseen soveltuva, kuormaa tiivistävä täysperävaunuyhdistelmä. Projekti toteutettiin vuonna 2000. Hankkeen kehitystyötä tukivat Tekes ja investointeja rahoitti KTM.

Täysperävaunuyhdistelmälle asetettiin projektissa kuorma- ja työtehotavoitteet.

2. Projektin toteutus

Projektin toteutti ja tutkimuksista vastasi Vapo Oy Energia omalla Kiuruveden konepajallaan. Suunnittelu, laitteistojen hankinta ja koetoiminta toteutettiin alihankintana. Kuormaimen valmistamisesta vastasi Kesla Oyj.

3. Kustannusarvio ja aikataulu

Projektisuunnitelman mukaiset Tekes-tuen piiriin kuuluvat kustannukset olivat yhteensä 480 000 markkaa. Lisäksi hankkeeseen liittyi investointikustannuksia. Hankkeen kustannukset alittivat budjetoidut kustannukset.

Projekti toteutettiin ajanjaksolla 1.2.2000–31.12.2000.

4. Tulokset

Hankkeessa rakennettiin hakkuutähdettä puristava kuormatila vetoauton päälle, jolla tutkittiin hankkeessa kehitetyn uudenlaisen puristusmekanismin toimivuutta ja käytettävyyttä. Täysperävaunua varten oli tarve kehittää uudentyypinen puristusmenetelmä, jolla laitaa voidaan puristaa laidan keskeltä, toisin kuin traktorivetoisessa HavuHukassa, jossa puristus tapahtuu laitojen päistä. Puristusta laitojen päistä ei oltaisi voitu käyttää yhdistelmän perävaunussa, koska pitkät laidat eivät olisi rasiudesta kestäneet.

Tavoitteen mukaista kuormatavoitetta ei hankkeessa saavutettu. Vetoauton päällä olevaan kuormatilaan saatiin massaa sopimaan parhaimmillaan 70 % tavoitteesta

Arvioiden mukaan koko yhdistelmään olisi kuormaustekniikan opetteluun jälkeen saatu kuormattua noin 70 % tavoitteesta, mitä ei voida pitää hyvänä tuloksena. Vastaaviin kuormakokoihin päästään jopa ilman puristuslaitteistoja, kun tällöin kuormatilassa on käytettävissä enemmän tilavuutta.

Hankkeessa onnistuttiin kehittämään Kesla Oyj:n toimesta erikoispuutavara-kuormain, jonka kokonaispituus oli 11,5 metriä eli 1,5 metriä enemmän kuin pi-

simmat tavalliset puutavarakuormaimet. Tällä kuormaimella olisi ollut mahdollista täyttää ja tyhjentää perävaunun kuormatila kokonaisuudessaan.

Kuljetuskokeiden aikatutkimusten perusteella todettiin, että tavoitteen mukaisiin toiminta-aikoihin oltaisi päästy niin hakkuutähteen kuormauksen kuin purkamisenkin osalta.

Hanke epäonnistui, koska ei onnistuttu kehittämään riittävän yksinkertaista, kevyttä ja tehokasta puristusmenetelmää, jolla perävaunun pitkää laitaa olisi voitu käyttää luotettavasti.

5. Julkaisut

Hankkeesta ei laadittu julkisia raportteja.

Metsähakkeen autokuljetuksen logistiikan ja kuljetuskaluston kehittäminen – PUUT20

Tapio Ranta¹, Pertti Frilander¹, Anu Vesisenaho¹

Antti Asikainen², Kari Väätäinen³

Kari Luostarinen⁴ & Mika Laihanen⁴

¹VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014-676 11, faksi 014-672 597

²Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

PL 68, 80101 Joensuu

Puh. 013-251 4000, faksi 013-251 4111

³Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013-251 111, fax 013-251 3590

⁴Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

PL 20, 53851 Lappeenranta

Puh. 05-621 11, fax 05-621 2350

Abstract

Project title in English: Development of transportation economy and logistics of forest chips

Transportation costs of forest chips effect significantly on the competitiveness of forest chip production. Transportation economy of forest chips is poor due to low volume weight and low energy density of chips. In practice forest chips has to be transported from small storages located on wide area, where the transportation conditions are often poor. Due to this the transportation costs increase rapidly as the transportation distance increases.

It is possible to reduce the transportation cost of forest chips by improving the transportation economy. This means the improvement of the volume weight of the load within the limits set by the transportation legislation, and by increasing the energy density, i.e. maximisation of the energy content of the load. In

summer it is typical that in the case of relatively dry forest chips a part of the capacity of a lorry cannot be utilised due to the low volume weight of the chips and insufficient filling rate of the load space of the lorry. One objective of this project is to develop loading methods for forest chips.

Developing of the transportation logistics can also reduce transportation costs of forest chips. This means that the waiting times of the lorries have to be reduced both at the forest terminals and at the fuel reception of a power plant. This requires inspection of the total delivery chain from a forest terminal to the power plant. Development of the navigation of vehicles between different storage sites so that extra driving of the lorries could be eliminated would also increase operating times of vehicles. Information systems, based on digital map data and GPS-navigation, have been developed for control of the transportation. The applicability of these methods for control of forest chips transportation will be tested in this project.

1. Tausta

Metsähakkeen autokuljetusta on tutkittu varsin vähän 90-luvulla ja laajemmat selvitykset autokalustoon perustuvat 80-luvulla tehtyihin selvityksiin. Tämän jälkeen mm. autojen ja yhdistelmien mitoittamista ja maksimipainoja koskeva lainsäädäntö on muuttunut. Lisäksi erityisesti metsähakkeen toimitusmäärien ennakoita kasvavan merkittävästi.

Kuljetusmatkasta riippuen hakkeen autokuljetus muodostaa jopa suurimman yksittäisen kustannuserän tienvarsivarasto- ja palstahaketukseen perustuvissa tuotantoketjuissa. Myös terminaaliverkkoon perustuvassa toimintamallissa hakkeen autokuljetus on kustannuksiltaan merkittävä vaihe. Autokuljetus koostuu useista toisiinsa kytkeytyvistä työvaiheista alkaen auton saapumisesta varastolle kuormausta varten ja jatkuen kuorman purkuun käyttöpaikan vastaanottoasemalle saakka.

Metsähakkeen autokuljetuksen kilpailukykyyn vaikuttaa kaluston ominaisuudet kuten kantavuus ja kuormatilan koko, ajettavuus metsäautotieverkostolla sekä kuorma- ja purkuvarustus. Autokohtaisten ominaisuuksien lisäksi oleellinen kilpailukykyyn vaikuttava seikka on kuljetusten logistiikka, jolla tarkoitetaan au-

tojen reititystä varastopaikoille sekä metsähaketoimitusten ohjausta voimalaitoksille. Ohjausjärjestelmän toimivuudella pystytään vaikuttamaan autokohtaiseen vuosisuoritteeseen, kun varsinaisen kuormattuna-ajoajan osuutta kokonaisajamenekistä pyritään kasvattamaan.

2. Tavoite

Hankkeen tavoitteena on tehostaa metsähakkeen autokuljetusta hakeautokalustoa ja toiminnan logistiikkaa kehittämällä. Autokuljetuksen kuljetustalouden parantamiseksi etsitään teknisiä ratkaisuja nykyisen kuormakapasiteetin tehokkaammaksi käyttämiseksi sekä nostamiseksi. Tutkitaan pilottikohteilla, miten hakkeen vastaanoton eri organisointivaihtoehdot (aikataulutus, purkutapa, mittausjärjestelyt) vaikuttavat hakkeen autokuljetuksen tuottavuuteen ja erityisesti autojen jono- ja odotusaikoihin. Kuljetusten ohjauksen apuvälineeksi kehitetään GPS-navigointiin pohjautuvaa järjestelmää, jossa otetaan huomioon erityisesti metsähakkeen toimituksiin liittyvät erityispiirteet.

3. Projektin toteutus

Metsähakkeen autokuljetusten nykytilan selvittämiseksi kootaan aikatutkimusaineisto hakkeen autokuljetuksen eri vaiheista. Aikatutkimuksella selvitetään erityisesti hakkeen autokuljetuksen ajanmenekifunktiot ajonopeuden suhteen kuormattuna ja tyhjänä sekä terminaalivaiheiden ajanmenekki pilotti-toimituskohteilla. Aikatutkimus toteutetaan lomakeseurantana erityyppisille kuljetusvaihtoehdoille, joita ovat täysperävaunuyhdistelmä, vaihtokonttikalusto ja hakuri-konttikuorma-auto.

Autokuljetusten kuljetustalouden osalta selvitetään nykyisen autokaluston kapasiteetti ja hakekuormien todellinen koko tilavuus- ja massayksikköinä, kuormakapasiteetin mahdollinen vajaakäyttö, vajaakäytön syyt ja mahdollisuus parantamiseen.

Kuormauskoelaiteympäristön avulla etsitään teknisiä ratkaisuja kuormakapasiteetin tehokkaammalle käytölle kuormantäyttökokeiden avulla. Kokeet tehdään kuivahtaneella tuoreella (vihreä) ja välivarastoidulla (ruskea) hakkuutähdehak-

keella vertailemalla erilaisten täyttömenetelmien vaikutusta kuorman tilavuuspainoon ja täyttöasteeseen. Samalla kehitetään teknisiä ratkaisuja täysperävaunuyhdistelmän täyttämiseksi välivarastohaketuksessa ilman perävaunun irrotusta.

Metsähakkeen vastaanoton kehittämiseksi selvitetään erityyppiset toteutukset piilottilaitosten vastaanottojärjestelyistä. Arvioidaan hyvät ja huonot toteutukset ja etsitään ratkaisuja toimintojen parantamiseksi. Tutkimus suoritetaan aikatutkimus- ja simulointitekniikoilla. Simuloinnissa tarkastellaan vastaanottojärjestelyjen vaikutusta sekä hakkeen toimitusketjun (haketus/kuormausta + autokuljetus) toimintaan että polttoainevirran tasaisuuteen ja puskurivarastointiin.

Projektissa kehitetään toimintamalli metsävaraston luoksepäästävyuden ja hakeuspaikan laadun arviointiin eri vuodenaikoina. Tässä yhteydessä selvitetään DIGIROAD-hanakkeen yhteydessä kerätty tieto ja sen soveltamismahdollisuudet metsähakkeen toimitusympäristöön.

Projektissa kehitetään GSM-puhelimeen perustuvaa GPS-navigointijärjestelmää hakeautojen ohjauksen apuvälineenä. Järjestelmää testataan valituilla metsähakkeen kuljetusketjuilla (hakkuri-hakeauto).

4. Tulokset

Projektin tulokset esitellään osatehtävittäin, joista tässä yhteydessä esitellään metsähakkeen autokuljetuksen aikatutkimuksen, kuormauskokeiden ja voimalaitosten vastaanoton simuloinnin tämänhetkinen tilanne.

4.1 Aikatutkimus

4.1.1 Tavoite

Seurantatutkimuksen tavoitteena on selvittää metsähakkeen kaukokuljetusvaihtoehtojen ajankäytön jakaumaa ja kuljetustalouden case-tarkasteluna yksittäisille kuljetusyksiköille ja toimituskohteille. Tässä yhteydessä esitetään vaihtolavahakeauton (kuva 1) ajankäytön jakaumasta lyhyt yhteenveto, kun autolla kuljetetaan metsähaketta palstahaketuksen jälkeen.



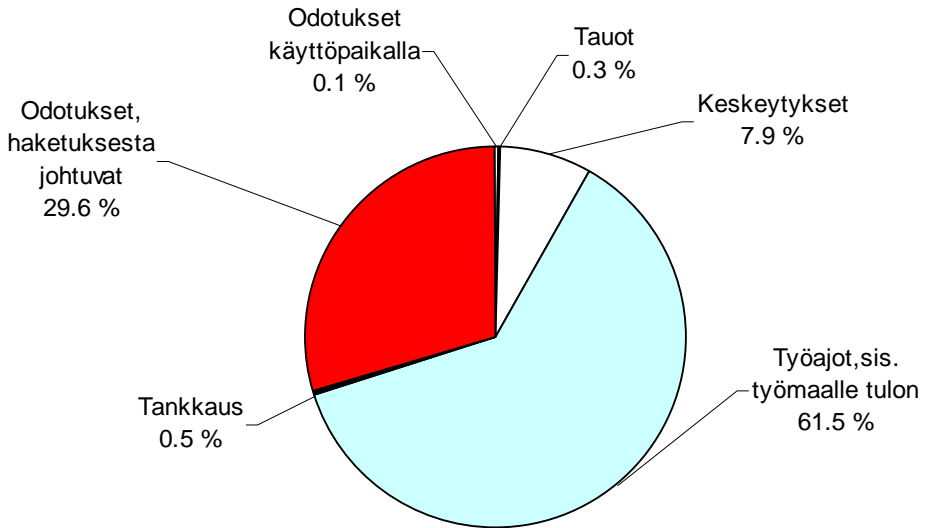
Kuva 1. Vaihtolava-hakeauto kahdella kontilla.

4.1.2 Toteutus

Seuranta-aineisto muodostui kuljettajan täyttämistä seurantalomakkeista sekä käyttöpaikalta saaduista kuormatiedoista. Kuljettaja merkitsi lomakkeelle kellostaan katsomansa lähtö- tai saapumisajan sekä auton mittarista kilometrimäärän. Näiden viereen varattiin tilaa kuljettajan lisähuomautuksille. Lomakkeilta tiedot siirrettiin Excel-taulukkoon, jossa laskettiin tapahtumajärjestyksessä päivittäiset eri työvaiheiden ajanmenekit ja vaihtolava-autolla ajatut kilometrit tukikohdasta = kotoa lähdöstä aina kotiin saapumiseen saakka. Seurantajakson sisältämät samat työvaiheet laskettiin lopuksi yhteen. Erillisiksi työvaiheiksi pystyttiin erottamaan kaikkiaan 16 vaihetta, joista autoa käytettiin 9 vaiheessa. Epäselvien tai puutteellisesti täytettyjen seurantalomakkeiden tiedot aineiston käsittelijä varmistui yrittäjältä tai hänen autonkuljettajaltaan.

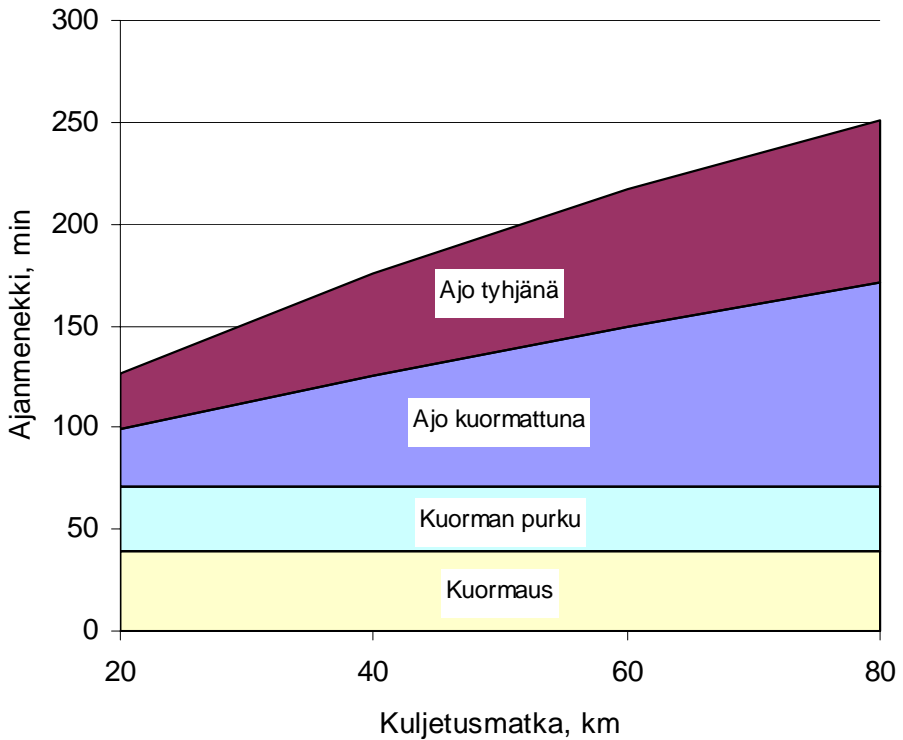
4.1.3 Tulokset

Kuvassa 2 esitetään seuratun vaihtolava-auton kuljettajan työajankäytön jakautuminen työajoon sekä muuhun toimintaan seurantajakson aikana mukaan lukien keskeytykset. Varsinaiseen ajoon eli auton käyttöön kului 61,5 % ja siihen liittyvään auton tankkaukseen 0,5 %. Toiseksi eniten (29,6 %) kului aikaa haketuksesta johtuvaan odotukseen. Odotusta käyttöpaikalla oli vain 0,1 %, mikä selittyy mahdollisuudella purkaa kuorma tarvittaessa käyttöpaikan varastokentälle. Taukojen vähäisyys (0,3 %) selittyy suurella odotusajalla (yhteensä 32,3 %), jolloin kuljettaja ennättää levätä ja syödä eväitä esim. lastin valmistumista odotellessa.



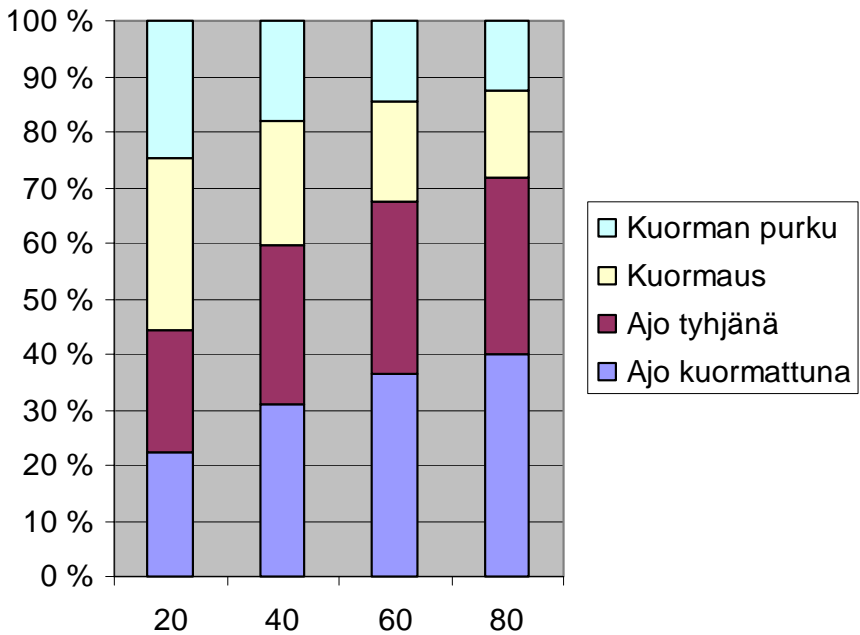
Kuva 2. Vaihtolava-auton kuljettajan työaikajakauma.

Kuvassa 3 on seuratun vaihtolava-auton yksittäiseen kuormaan kuluva laskennallinen tehoajanmenekin jakauma varaston ja käyttöpaikan välimatkan kasvaessa. Kuormaus ja purku ovat seurantajakson keskiarvoja ja ne veivät talvioloissa yhteensä keskimäärin 70 minuuttia. 20 kilometrin etäisyydellä käyttöpaikasta kuorman kuljettamiseen kului aikaa reilut kaksi tuntia ja 60 kilometrin etäisyydeltä n. 3½ tuntia.



Kuva 3. Vaihtolava-auton kuorman laskennallinen kokonaisajanmenekki.

Kuvassa 4 on seuratun vaihtolava-auton kuorman laskennallisen kokonaisajanmenekin jakautuminen kuljetusmatkan mukaan. 20 kilometrin etäisyydellä kuormattuna ja tyhjänä ajoon kuluu kokonaisajasta alle puolet, mutta 80 kilometrin matkalla ajot muodostavat jo yli 70 % kokonaisajankäytöstä.



Kuva 4. Kuorman kokonaisajanmenekin jakautuminen eri matkoilla, vaihtolava-auto.

4.2 Kuormantäyttökokeet

4.2.1 Tavoite

Kokeiden tavoitteena on tehostaa hakeautojen kuormatilan käyttöä. Laboratorio-kokeiden avulla tutkitaan ja kehitetään teknisiä keinoja, joilla kuormasta voidaan nopeuttaa ja saada aikaan riittävän tiivis, koko kuormatilan täyttävä kuorma.

4.2.2 Toteutus

Kuormantäyttökokeita varten on suunniteltu ja rakennettu VTT Energiassa koe-laitteisto, jolla voidaan tutkia erilaisia kuormaukseen ja kuormantäyttöön liittyviä asioita (kuva 5). Sillä voidaan tutkia mm. tutkittavan materiaalin tiivistymistä kuormatilassa, kuormauksen tehontarvetta sekä kuormatilan täyttönopeutta. Laitteisto koostuu pohjakuljettimella varustetusta traktorin perävaunusta, kuormatilana käytettävästä ketjupurkukorilla varustetusta kuorma-autosta, hihnakuljettimista ja puhaltimesta. Siinä voidaan kierrättää tutkittavaa materiaalia perävaunusta kuorma-autoon eri kuljetin vaihtoehdoilla.

Tutkittava hake kuormataan traktorin perävaunuun etukuormaimella. Haketta lisätään perävaunuun etukuormaimella koko sen ajan, mitä kuormatilan täyttymiseen kuluu aikaa. Näin voidaan varmistaa se, että perävaunusta purkautuu haketta tasaisena, jatkuvana virtana. Perävaunussa on mekaanisesti toimiva pohjakuljetin, jolla tutkittava materiaali puretaan vaunusta hihnakuljettimelle. Perävaunun pohjakuljettimen nopeutta voidaan säätää ja sitä käytetään hydraulimoottorilla. Auton kuormatilan koko on noin 44 kuutiometriä. Kuorma-auto punnitaan akselipainovaa'oilla sekä tyhjänä että kuormattuna. Näiden mittausten perusteella lasketaan kuormassa olevan hakkeen paino. Kuormatilassa olevan hakkeen tilavuus määritetään mittaamalla laser-vaakitus koneella ja latalla kuormassa olevan hakkeen pinnan korkeus useasta kohtaa kuormaa. Näiden paino- ja tilavuusmittausten perusteella voidaan laskea hakkeen irtotiheys kuormatilassa. Kuormatilassa oleva hake puretaan pihalle ja seuraavassa koeajossa käytetään samaa haketta. Näin voidaan pitää kuormattava materiaali vakiona eri koeajoissa. Tämä mahdollistaa eri kuljetin- ja täyttövaihtoehtojen hallitun tutkimisen.

Muuttujina kokeissa ovat kuormattava materiaali, kuormantäyttölaitte ja -menetelmä. Tutkittavana materiaalina kokeissa käytetään sekä vihreää että ruskeaa hakkuutähdehaketta. Vuodenajan vaikutus kuorman muodostumiseen tutkitaan tekemällä kuormantäyttökokeita sekä kesällä että talvella. Tutkittavia kuormausvaihtoehtoja ovat: hakkeen puhaltaminen kuormatilaan, kuormaus hihnakuljettimella, kuormaus hihnakuljettimella, joka on varustettu mekaanisella lingolla sekä kauhakippaus. Puhaltimen ja hihnakuljettimen nopeutta sekä lingon pyörimisnopeutta säädetään. Näin saadaan aikaiseksi erilaisia materiaalivirtoja.

Kuormaustehoa eri kuormaimilla tutkitaan aikatutkimuksena eli mitataan tietyn hakemäärän kuormaamiseen kulunut aika. Tämän perusteella voidaan laskea kunkin kuormaustavotteiden kuormausteho. Kuorman muodostumista eri kuormaustavoilla tutkitaan kuvaamalla videolla kuormatilaa koko kuormauksen ajan. Jälkeenpäin voidaan videonauhasta analysoida kuormatilan täyttymistä eri kuormaustavotteiden avulla.



Kuva 5. Kuormaustavotteiden ympäristö.

4.2.3 Tulokset

Ensimmäiset koeajot kuormaustavotteistolla tehtiin huhtikuussa 2001. Tällöin kuormattiin puhaltimella viisi kuormaa ja etukuormaajalla kaksi kuormaa. Puhalluskokeissa käytettiin TT1000-laikkahakkuria, jota pyöritettiin traktorilla. Hakkurin ilmanottoaukkoon syötettiin haketta hihnakuuljettimella ja hakkurin puhallin puhalsi hakkeen kuormatilana olleeseen ketjupurkukorilla varustettuun kuorma-autoon. Kokeita tehtiin kahdella puhaltimen pyörimisnopeudella, jotka olivat 1000 ja 1140 kierrosta minuutissa. Kauhakuormaustavotteissa auton kuormatila täytettiin traktorin etukuormaajalla.

Kuormattavana materiaalina käytettiin pääasiassa kuusesta tehtyä hakkuutähdehaketta, joka ensimmäisissä kokeissa oli lumista, mutta viimeisissä kokeissa lumi oli jo sulanut hakkeen joukkoon. Hakkeen neulaspistoisuus oli 16 prosenttia ja sen keskimääräinen raekoko oli 7,7 millimetriä. Hakkeen kosteus oli eri kuormauksista otettujen näytteiden keskiarvona 54,7 prosenttia. Kosteusnäytteiden vaihteluväli oli 52,6–56,3 prosenttia. Taulukossa 1 on esitetty eri kuormaustavoilla tehtyjen kuormauskokeiden tulosten keskiarvot.

Taulukko 1. Keväällä 2001 tehtyjen kuormauskokeiden keskiarvotulokset.

Kuormaustapa	Kuormausten keskiarvot				
	Kuormien lukumäärä	Hakkeen irtotiheys kuormassa	Hakkeen kosteus	Kuormausteho	
	kpl	kg/m ³	%	m ³ /h	t/h
Puhallus 1000 1/min	2	423	54,6	38,7	16,3
Puhallus 1140 1/min	3	449	53,6	38,3	17,2
Kauhakuormaus	2	546	56,3	40,1	21,9

Mittausten mukaan suuremmalla puhaltimen pyörimisnopeudella (1140 1/min) kuormattaessa saatiin hieman tiiviimpi kuorma kuin pienemmällä (1000 1/min) pyörimisnopeudella. Kuormausteho tonnia tunnissa oli myös isommalla pyörimisnopeudella hieman suurempi.

Vertailumittauksena etukuormaajalla tehdyt kuormat olivat selvästi tiiviimpiä kuin puhaltamalla tehdyt kuormat. Kauhalla kuormattaessa hake pudotetaan suoraan ylhäältä kuormatilaan ja siitä muodostuu selvästi tiiviimpi kuorma kuin puhaltamalla tehdystä kuormasta. Kauhalla kuormattaessa hake ei lajitu kuormatilassa kun taas puhallettaessa se lajittuu. Kuormausteho kauhakuormauksessa oli myös suurempi kuin puhalluksessa.

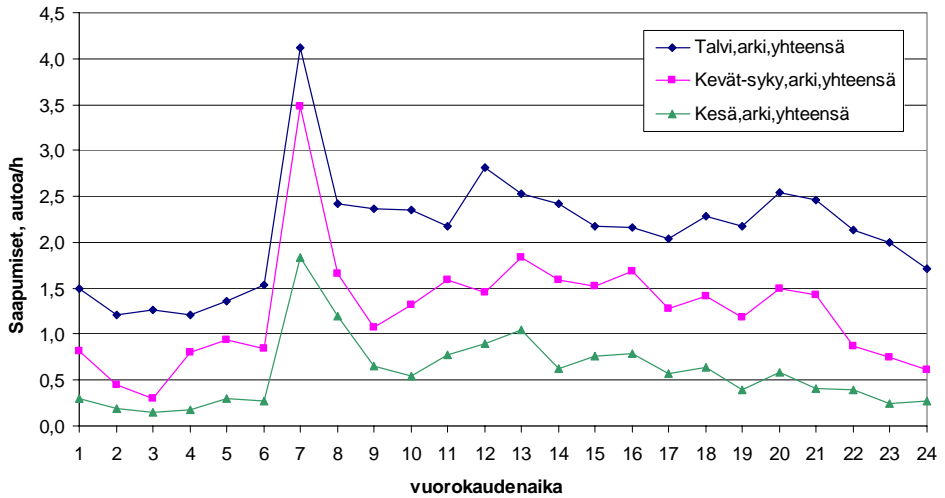
Hakkeen kuormaus puhaltamalla pienemmällä (1000 1/min) pyörimisnopeudella onnistui vain jäisellä hakkeella. Sulanut hake tarttui kiinni puhallustorveen ja se meni tukkoon. Suuremmalla puhaltimen pyörimisnopeudella kuormaus onnistui myös sulalla hakkeella.

Koeajoja jatketaan kesällä 2001 kuivalla hakkeella. Kuormauslaitteina käytetään puhaltimen lisäksi hihnakuljetinta sekä mekaanisella lingolla varustettua hihnakuljetinta.

4.3 Kuvaus polttoaineautojen tehdaspään vastaanottosimuloinnista

4.3.1 Lähtökohta

Useilla pääosin turve- ja puupolttoaineita käyttävillä suurilla lämpövoimalaitoksilla on todettu olevan polttoainekuljetusten ajoituksessa ja tehdaspään vastaanottotoiminnassa kehittämistarvetta. Polttoaineautojen saapumiset keskityvät voimakkaasti tiettyyn vuorokaudenaikaan (kuva 6), mikä aiheuttaa tehtaalla polttoaineen vastaanotossa autojen odotusaikojen kasvua. Erityisesti polttoaineautojen saapumisaikataulutusta kehittämällä sekä voimalaitosten purkuasemien läpimenoaikoja pienentämällä saadaan merkittäviä kustannussäästöjä polttoainekuljetuksissa. Uudet tehokkaammat ratkaisut hyödyntävät siten sekä polttoaineen tuottajia ja kuljetusyrittäjiä että loppukäyttäjiä.



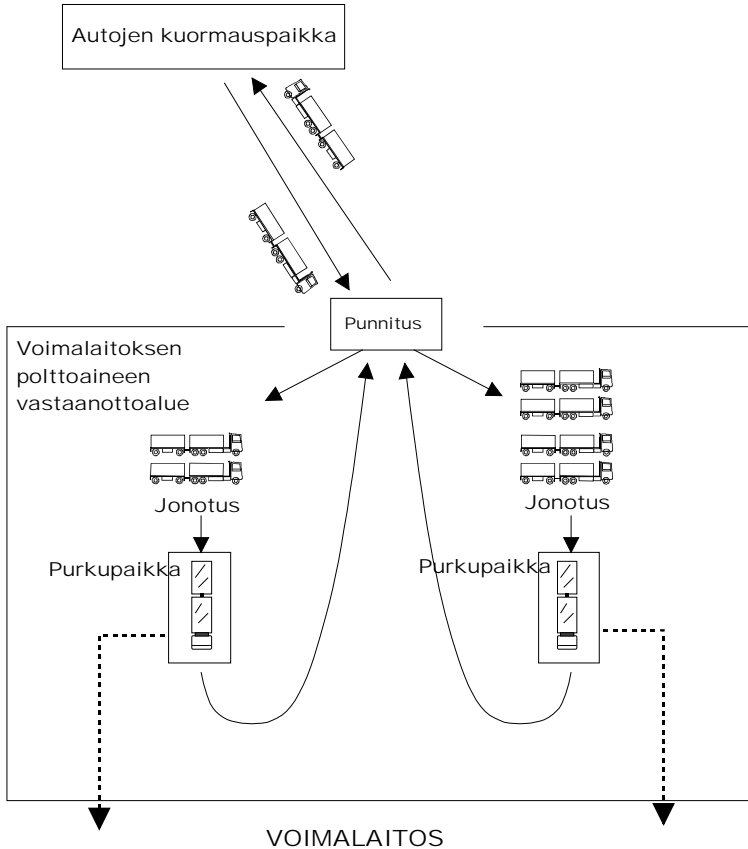
Kuva 6. Saapumisjakauma voimalaitokselle vuorikauden eri aikoina.

Metsähakkeen autokuljetuksen logistiikan ja kuljetuskaluston kehittäminen -hankkeessa tutkitaan kahden esimerkitapauksen pohjalta voimalaitokselle tulevien polttoaineautojen saapumista ja tehdasvastaanoton toimintaa. Tutkimuksen kohteena käyttävät polttoraaka-aineenaan pääosin turvetta ja puuta. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää eri polttoainekäsittelyvaihtoehtojen kustannusvaikutuksia polttoaineen kaukokuljetukselle (jonotuksista aiheutuvat kustannukset) ja polttoaineen tehdasvastaanotolle.

Tutkimusmenetelmäksi valittiin diskreettiaikasimulointi, jonka avulla voidaan tarkastella eri tekijöiden vaikutuksia tutkimuksessa tarkasteltavissa vaihtoehtoisissa ja muuttuvissa olosuhteissa. Simuloinnissa käytettävän perusmallin laadinnassa hyödynnettiin voimalaitosten autovastaanotossa tietokantoihin kerättyjä tietoja autoista, kuormista, toiminnoista ja niiden aikatieoista. Tutkimuksessa olevien voimalaitosten osalta tutkimuskäyttöön saatiin laajat tietokanta-aineistot autojen tehdastoiminnoista ja toimintojen aloitus- ja lopetusajoista. Tutkimukseen mukaan valittujen vaihtoehtoisten kuljetusmäärien ja autovastaanottojärjestelyjen tarkasteluun päästään siten, että muokataan perusmallia tilanteisiin sopiviksi ja simuloidaan näitä malleja.

4.3.2 Simulointimallin kuvaus

Perussimulointimallin pääkomponentit ovat voimalaitokselle polttoainetta kuljettavat yhdistelmäajoneuvot, polttoaineen kuormauspaikka, autojen tehtaalle saapumisen ohjaamisyksikkö, tehtaan portilla tapahtuva tulo- ja lähtöpunnitus, autojen kulkureitit (meno-paluu) tehdasalueen sisällä sekä purkuasemat (kuva 7).



Kuva 7. Polttoaineautojen tehdasvastaanoton simulointiympäristö.

Simulointi toteutetaan työviikon ajalle ja yksittäisissä simulointiajoissa suoritetaan useita viikkokohtaisia ajoja satunnaisuusvaikutusten tasaamiseksi, sillä simulointimallissa käytetään tietokanta-aineistoista laadittuja empirisiä jakaumia eri toiminnoissa. Työviikko on jaettu vuorokausiin ja se taas tunteihin. Simuloin-

timallin kalenteri (ajanseuranta) -elementti ohjaa autojen saapumisia viikko-, vuorokausi- ja tuntitasolla. Autojen saapuminen on määritettävissä malliin kelonajoittain antamalla autojen saapumisfrekvenssi tuntikohtaisesti. Annettu saapumisfrekvenssi on mallissa käytetyn Poisson-jakauman odotusarvo. Malli poimii satunnaisesti Poisson-jakaumasta saapuvien autojen lukumäärän aina seuraavaa simuloitavaa tuntia kohden.

Autot ohjataan tehtaalle lastauspisteestä, jossa tehtaalle lähtevälle autolle määritetään autotyyppi, kuorman koko ja sen sisältö sekä lähtöaika lastauspaikalta. Lastauspisteen ja tehtaanportin välinen kulkuaika on vakio – yksi tunti. Lähtöaika lastauspaikalla määräytyy mallissa tulevan tunnin autojen saapumisfrekvenssin ja niille satunnaislukugeneraattorilla arvotetun lähtöajan perusteella.

Tehdasvastaanottotoiminnot mallissa ovat seuraavat; punnitus, siirtyminen purkupaikalle, purkamista edeltävät valmistelut, purkaminen, siirtyminen lähtöportille. Punnitukseen saapuvalla autolle määritetään purkupaikka ennakkoon määritettyjen kriteerien mukaan. Purkupaikan valintaan vaikuttavat autotyyppi (peräpurku vai sivukippi), kuorman sisältö ja purkua odottavien autojen lukumäärä eri purkupaikoilla. Autojen jonottamiseen vaikuttaa autojen saapumismäärä ja ominaisuudet sekä purkupaikkojen purkuajat. Mallissa purkupaikoille purkuajat määräytyvät empiirisen purkamisjakauman perusteella. Tarvittaessa purkuajoja voi muuttaa halutunlaiseksi. Empiirisiin purkuajajakaumiin on sisällytetty mahdolliset keskeytykset, jotka aiheutuvat itse purkupaikoista.

5. Jatkotoimenpiteet

Kunkin osatehtävän toimenpiteitä jatketaan suunnitelman mukaisesti. Osatehtävien valmistuttua ja niistä saatavien tulosten perusteella laaditaan toimenpideehdotukset toiminnan ohjauksen tehostamiseksi pilottikohteilla ja kaluston tekniseksi ja toiminnalliseksi kehittämiseksi.

6. Projektissa tehdyt julkaisut

Pietilä, J. 2001. Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksen polttoaineiden autokuljetusten logistiikka ja tehdasvastaanotto. Hankeraportti. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 23 s.

Asikainen, A., Ranta, T., Vesisenaho, A. 2000. Metsähakkeen autokuljetuksen tuottavuus ja kuljetuslogistiikan ja terminaalivaiheiden tehostaminen. VTT Energian raportteja 21/2000. 25 s.

Luostarinen, K., Laihanen, M. & Tarjanne, R. 2001. Metsähakevarastojen saavutettavuus. Hankeraportti. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. 20 s. + liitt.

Metsien biomassan nostaminen todelliseksi uusiutuvan energian vaihtoehdoksi – FORPOWER – PUUY12

Arto Timperi
TIMBERJACK Oy/Plustech Oy
PL 474, 33101 Tampere
Puh. 0205 84 6818, faksi 0205 84 6849
e-mail: arto.timperi@fi.timberjack.com

Abstract

Project title in English: Making the Forest Biomass as the real choice of the renewable energy

There is an increasing demand of the forest bioenergy in many forest countries. However, the biomass production chain is very price sensitive and quite often the existing utilization systems are not optimized to burn wood as the main fuel.

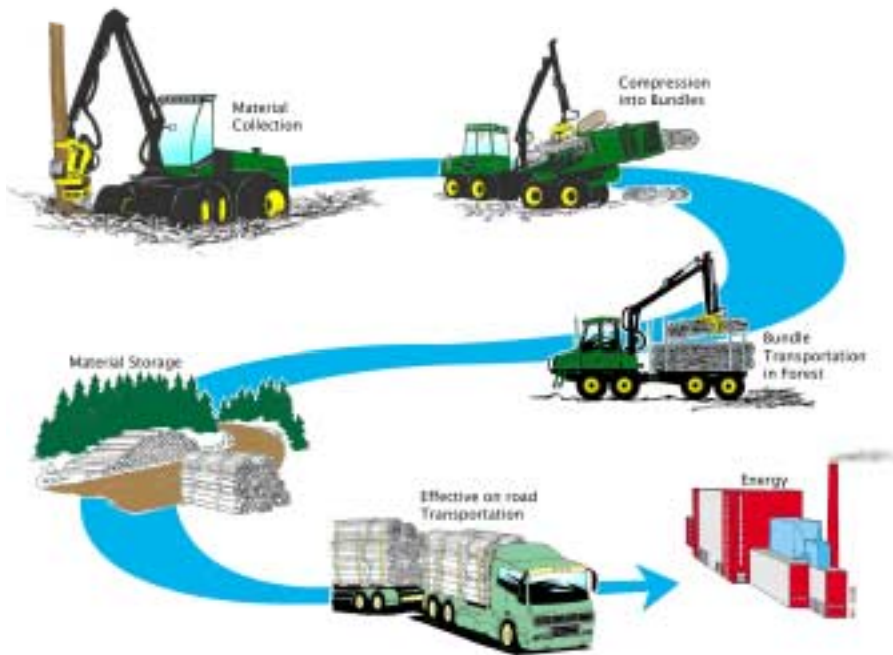
In this project the production chain is considered as a whole (Fig. 1) and the technology is developed for the collection of the forest biomass and also the power plant technology is analysed. The main objective is to study a system that is as much as possible optimized for the wood fuel.

1. Projektin tausta

Puuenergian käyttö elää voimakasta kasvukautta. Uusia menetelmiä on viimeaikoina esitelty mm. hakkuutähteen keräämiseen ja pienpuun käyttöön. Puupolttoaineen käytön kannattavuus verrattuna muihin polttoaineisiin, riippuu monista osatekijöistä kuten mm: metsäkeräilyn tehokkuudesta, kuljetustehokkuudesta, käyttöpaikan kyvystä hyödyntää optimaalisesti puupolttoainetta ja ennenkaikkea ympäristöpolitiikasta.

Timberjack on tehnyt merkittävää kehitystyötä hakkuutähteen ja pienpuun keräämisen tehostamiseksi. Tätä kehitystyötä tehtäessä on havaittu, että puupolttoaineketjussa täytyy jokainen lenkki optimoida, jotta kannattavuus saavutetaan (kuva 1). Timberjackin omat resurssit eivät riitä bioenergian tuotantoketjelmän jokaisen osatekijän kehittämiseen, joten kehitystä on tehtävä teknologia-hankkeena yhteistyössä sopivien partnereiden kanssa.

Puuenergiaa käytettäessä tulisi ympäristö- ja työllisyysvaikutukset huomioida täysimääräisesti. Käytettäessä kotimaista uudistuvaa energiaa, kansantaloudellinen vaikutus on monesti huomattavan suuri. Tämä tulisi huomioida erityisesti poliittisessa päätöksen teossa ja luoda edellytyksiä bioenergian kilpailukyville fossiilisiin tuontipolttoaineisiin verattuna. Päätöksen teon tulisi olla selvälinjais- ta siten, että mahdollistetaan yritystoiminnan pitkäjänteinen suunnittelu ja kehitys.



Kuva 1. Metsäenergian tuotantoketju.

2. Projektin tavoite

Tässä projektissa tavoitteena on kehittää metsäpään keruuteknologiaa, mutta samalla tarkastella myös käyttöpaikan kehitys/optimointimahdollisuuksia, kun polttoaineena käytetään puhdasta puuta. Näillä keinoilla pyritään kehittämään puupolttoaineen tuotantoketjun kokonaiskannattavuutta suhteessa muihin polttoaineisiin.



Kuva 2. Kolme tavaralajia sulassa sovussa: tukit, kuidut ja risutukit.

Tavoitteena on erityisesti kehittää teknologiaa, joka mahdollistaa niputetun biomateriaalin liittämisen puutavaralogistiikkaan yhdeksi uudeksi uudeksi tavaralajiksi. "Risutukki" tavaralaji mahdollistaa normaalin puutavaralogistiikan optimaalisen hyödyntämisen ja säästää näin ollen merkittävästi kustannuksia kaluston hyvän käyttöasteen kautta. Tämä pätee erityisesti suuren mittakaavan logistiikalle. Tässä projektissa keskitytään ensisijaisesti pienen ja keskisuuren mittakaavaan laitoksiin ja järjestelmiin (alle 50 MW).

3. Projektin toteutus

Projektin toteutuksesta vastaa Timberjack Energy Technology Tampereella. Projektipartnerina toimii Varkautelainen Osmo Kaulamo Engineering. Lisäksi käytetään alihankkijoita. TJ keskittyy metsäpähän ja Osmo Kaulamo voimalaitokseen ja itse paloprosessiin.

4. Projektin tulokset

Projektissa käytetään pilotkoneena kuvan 3 mukaista risuniputtajaa. Samaa periaatetta pyritään soveltamaan myös pienpuulle. Projektin olessa alussa, saavutetut tulokset eivät vielä ole esitettävissä muodossa diplomityötä, esitettä ja nettisivuja lukuunottamatta. Nettisivuja päivitetään jatkuvasti projektin edetessä, ja siellä on nähtävissä tuoreita kehitystyön tuloksia.



Kuva 3. Risutukkien tuotantoa talvella.

5. Tulosten hyödyntäminen

Tämän projektin tulokset tullaan hyödyntämään laaja-alaisesti molempien partnereiden tuotekehityksessä. Lisäksi tuloksia markkinoidaan ja tuodaan esille sekä kansallisessa Puuenergian teknologiaohjelmassa, että kansainvälisillä foorumeilla (mm. Bioenergy 2001 -konferenssissa syyskuussa 2001).

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Projekti etenee suunnitelmien mukaisesti ja käytännön demonstraatiohin päästäneen vielä vuoden 2001 aikana.

7. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Kärnä, T. Energian tuotanto kuivalla puupolttoaineella. Diplomityö.

Timberjack Forest Energy nettisivut:

http://www.timberjack.com/energy_technology/index.htm

Timberjack Forest Energy Technology -esite.

Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjä- verkostosta hakkeen tuottamisessa - PUUY15

Mikko Jäkälä

Koneyrittäjien liitto ry

Sitratie 7, 00420 Helsinki

Puh: 09-5600124, 040-9009424, faksi 09-5630329

e-mail: mikko.jakala@koneyrittajat.fi

Abstract

Project title in English: Research and demonstration project about networked contractors in chip production

The aim of the project is to study and develop a business dealing method based on network economy between the contractors. The network can comprise of chipping- and/or forest machine- and/or transport contractors.

The project consists of research and demonstration parts. Research contains two research areas. The first examines possible forms of co-operation between the contractors and concentrates on description of the business connection arrangements, sharing of commercial risk and resources and distribution of income. The second research area contains description of network logistics: crude material and information streams.

The method that has been created will be tested in practise during the demonstration part. Demonstration also contains preparation of quality systems for separate contractors and the whole network. If the network method is functional it can be multiplied to common use.

1. Tausta

Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjätverkostosta hakkeen tuottamiseksi on jatkoa Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeelle ”Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä (PUUT02), jonka jatkosuunnitelmaosiossa esitettiin alustava suunnitelma demonstraation käynnistämisestä.

Energiapuun markkinoita, kuten energiatoimitusten markkinoita yleisemminkin leimaa asiakkaiden vaatimus ehdottomasta toimitusvarmuudesta. Toimitusvarmuuden takaaminen sekä asiakkaan vakuuttaminen toimitusvarmuudesta ovat usein pienyritykselle lähes ylivoimainen tehtävä, joten suurinta osaa markkinoista hallitsevat tällä hetkellä alan suuryritykset.

Hakkeen voi toimittaa käyttöpaikalle mm. metsäteollisuuden organisaatio, metsänhoitoyhdistyksen tai pk-yrittäjien varaan rakennettu organisaatio tai jokin edellä mainittujen yhdistelmästä. Pk-yrittäjien muodostamalla organisaatiolla tarkoitetaan tässä metsäkoneyrittäjiä, hakkuriyrittäjiä, kuljetusyrittäjiä ja metsäpalveluyrittäjiä. Näiden yrittäjien halukkuutta, kykyä ja uskottavuutta muodostaa energiapuuta toimittava organisaatio ei tiedetä.

2. Tavoite

Hanke koostuu kahdesta osahankkeesta, joista toinen on tutkimuksellinen ja toinen painottuu tutkimustulosten testaukseen käytännön toiminnan yhteydessä.

- 1) Osahankkeessa yksi laaditaan liiketaloudellinen malli toiminnalle. Liiketaloudellinen mallinnus sisältää kuvauksen erityyppisistä yritysyhteistyömuodoista, niiden vaatimista yritystoiminnan järjestelyistä sekä kuvauksen informaatio- ja raaka-ainevirran järjestämisestä.
- 2) Osahankkeessa kaksi testataan laaditun mallin toimivuutta käytännössä demonstraatioverkoston avulla.

3. Projektin toteutus

Hankkeen kokonaisvastuu on Koneyrittäjien liitolla. Tutkimuksellisesta osiosta vastaa Metsäntutkimuslaitos. Muut hankkeessa mukana olevat tahot ovat: MTK, Suomen Kaukolämpöyhdistys ja Metsäalan Kuljetusyrittäjät ry.

Energiamarkkinoiden erityisvaatimuksiin soveltuvia yhteistyön muotoja kartoitettiin aikaisempien tutkimusten ja kirjallisuuden perusteella. Koska energia-alalla ei aikaisemmin ole harjoitettu verkostoihin perustuvaa toimintaa jouduttiin malleja hakemaan muilta liiketoiminnan alueilta. Mallinnuksessa otettiin huomioon myös kilpailulainsäädännön yritysysteistoiminnalle asettamat rajoitteet.

Eri toimijaosapuolien toiminnalle asettamien vaatimusten, rajoitteiden ja toiveiden selvittämiseksi tehtiin seuraaville toimijatahoille markkinatutkimustyyppinen esiselvitys: Metsänhoitoyhdistykset, lämpölaitokset, hakeyrittäjät, energia-puun korjuuyrittäjät ja metsäkoneyrittäjät.

4. Tulokset

4.1 Liiketaloudellinen mallinnus

4.1.1 Verkostoitumisen lähtökohta

Mielikuvat hyvin toimivan markkinatalouden tapahtumista, pohjautuvat usein atomistisen täydellisen kilpailun malliin. Malli ei kuitenkaan vastaa arkitodellisuutta, sillä ostajia ja myyjiä ei yleensä ole kovinkaan suurta määrää, kaikilla ei ole täydellistä tietoutta vaihtoehdoista, markkinoille pääsy ja sieltä poistuminen ei käy vaivattomasti, eivätkä ostajan ja myyjän väliset suhteet ole niin epävakaita kuin teoria olettaa. Oleellinen ero on siinä, että teorian epävakaiden ja lyhytkestoisten suhteiden tilalla ovat todellisuuden vakaat ja pitkäkestoiset suhteet, joiden muodostaminen ja toteuttaminen vaatii aikansa ja sisältää riskejä.

Yhteistoimintaverkot syntyvät usein tilanteessa, jossa markkinoiden asettamat vaatimukset ovat yksittäiselle yritykselle liian suuret. Ongelman tiedostavat yritykset yhdistävät resurssinsa pyrkien samalla keskinäisen työnjaon, erikoistumi-

sen ja yhteistyön avulla luomaan sen kaltaista kilpailukykyä, mihin ko. yritykset eivät yksittäisinä pystyisi.

Yritysten taloustieteessä transaktiokustannuksilla tarkoitetaan liiketoimintakustannuksia. Useimmiten vaihdanta edellyttää ainakin toisen osapuolen löytämistä, kaupantekoa alustavia neuvotteluja, sopimuksen tekoa, juridista tarkastusta, petokselta suojautumista ja muutoksiin varautumista. Tuotannon kokonaiskustannukset koostuvat sekä tuotanto että vaihdantakustannuksista. Vaihdantakustannusteorioiden perusväittämänä on, että tuotanto organisoituu siten, että kokonaiskustannukset tulevat mahdollisimman pieniksi ja, että erilaisilla organisaatioratkaisuilla on vaikutusta lähinnä vaihdantakustannuksiin. Kustannuksia voidaan alentaa huomattavassa määrin, siirtämällä vaihdantaa organisaation sisälle. Edullisin organisaatiomuoto riippuu oleellisesti vaihdantaympäristön ja vaihdannan kohteina olevien tuotteiden ominaisuuksista.

4.1.2 Mahdolliset verkostoitumismallit

Yritysten välisessä yhteistyössä voidaan lähteä olettamasta, että yritykset pyrkivät muodostamaan yhteistyön transaktiokustannukset minimoivalla tavalla. Oletama ei kuitenkaan pidä käytännössä täysin paikkaansa, sillä itsenäisten yritysten yhteistyö muodostuu käytännössä useimmiten jatkumoksi, joka etenee löyhästä yhteistyöstä kohti yhä tiiviimpää yhteisen toiminnan järjestämistä tavoitteiden selkiytyessä ja yritysten välisen luottamuksen kasvaessa.

Ryhmänmuodostusprosessi liittyy olennaisesti yritysyhteistyön syntymiseen. Ryhmän katsotaan yleisesti käyvän läpi seuraavat vaiheet kehitysprosessissaan. (Robbins 1994)

1. Ryhmänmuodostusvaihe: Ryhmässä esiintyy epävarmuutta tavoitteista, rakenteesta ja johtajuudesta. Vaihe on ohi kun kaikille ryhmän jäsenille selviää yhteinen hyväksyttävä tavoite.
2. Myrskyvaihe: Ryhmän jäsenet näkevät itsensä sen jäsenenä, mutta eivät täysin hyväksy sen taholta tulevaa kontrollia. Vaihe on ohitettu kun ryhmälle on muodostunut päätöksentekohierarkia.

3. Normienmuodostusvaiheessa ryhmän jäsenten väliset suhteet kiinteytyvät ja ryhmäkoheesio lisääntyy ja yhteisen toiminnan säännöt muotoutuvat.
4. Toimintavaiheessa ryhmärakenne on muodostunut ja jäsenet suuntaavat energiaansa varsinaiseen toimintaan.

Yhteistyön formaalisuus on Vesalaisen (1996) mukaan verkostojohdamisen aluolottuvuuksista selvimmän ulospäin erottuva ominaisuus. Yhteistyön juridinen sitovuus ja muotomääräisyys voi vaihdella löyhästä liitosta erilaisiin sopimuksiin formalisoidun liiton kautta yritysjärjestelyihin.

Viisi erilaista tapaa harjoittaa yritysten välistä yhteistyötä liiketoimintaulottuvuuden ja verkostojohdamisen mukaan jaoteltuna (Vesalainen 1996):

1. Kehittämisrenkas
2. Yhteistyörenkas
3. Projektiryhmä
4. Yhteisyritys
5. Yhteisyksikkö.

Kehittämisrenkas on pienyritysten yhteistyömalli, jossa joukko yrittäjiä koontuu esittelemään toimintaansa ja keskustelemaan erilaisista ongelmista ja kehittämiskohteista. Toimintamuotoja ovat yrityskokousten lisäksi koulutuksen hankkiminen, tutustumismatkat, asiantuntijavierailut yms. Liiketoimintaulottuuteen liittyviä konkreettisia panostuksia ei kehittämisrenkaassa yleensä tehdä.

Yhteistyörenkaan toiminnassa olennaista on se, että ryhmällä on jokin yhteinen resurssi johon kaikilla on käyttöoikeus. Yritykset eivät kuitenkaan esiinny ulospäin siten, että niiden voitaisiin sanoa harjoittavan yhteistä liiketoimintaa vaan yritykset hyödyntävät yhteistä resurssia (ostoyhteistyö, kuljetukset ja muu logistiikka) kukin parhaansa mukaan omassa liiketoiminnassaan. Liiketoimintaulottuvuudella yhteistyörenkas on sekä keskinäisen työnjaon että strategisen intensiteetin suhteen hyvin alhaisella tasolla. Työnjakoa ei tapahdu ja yhteistyö toteutuu pelkästään operatiivisella tasolla. Tästä mallista yhteistyö voi kehittyä työnjaon lisäämisen ja strategisen intensiteetin nostamisen suuntaan. Vaikka yhteistyörenkaan toiminnan tavoitteet eivät liitykään yhteisen liiketoiminnan kehittämiseen, organisoidaan se usein yhteisyrittäjien muotoon.

Projektiryhmälle ominaista on selvä työnjako ja yhteiseksi koettu liiketoiminta. Projektiryhmä on edellä esitettyjä vaihtoehtoja huomattavasti strategisemmalla tasolla. Liiketoimintaulottuvuudella projektiryhmä sijoittuu työnjaon osalta erittäin korkealle, mutta myös strateginen ulottuvuus on voimakasta. Strategista intensiteettiä ei tässä mallissa ole kuitenkaan syytä viedä niin pitkälle, että yrityksillä olisi selvästi yhteinen yhdessä kehitetty liiketoimi. Verkostojohtamisen suhteen projektiryhmän luonne on kaksijakoinen. Projektiryhmän perusmalli on luonteeltaan enemmän konsensus kuin demokratia. Lisääntyvä erikoistuminen ja työnjako yhteiseksi tunnustetun liiketoiminnan kanssa aiheuttaa sen, että enemmistö ei voi päättää yhteistyöryhmän strategiasta ja tavoitteista.

Alkuoletuksena on, että kohteeksi määritelty asiakasryhmä on kiinnostunut ostamaan kokonaisuuksia ja että projektiryhmä on yhdessä kilpailukykyisempi kuin yritykset erillisinä toimittajina. Projektiryhmä on joissain tapauksissa hyödyllistä yhtiöittä, koska asiakkaan on luontevampaa käydä kauppaa juridisen yhtiön kanssa.

Yhteisyrittäessä suurimmat erot aikaisemmin esitettyihin yhteistyömalleihin ovat siinä, että yhteisyrittäksen panostukset ovat strategisia, riskipitoisia, uutta luovia ja vasta pitkällä tähtäimellä hyödyksi realisoituvia. Yhteisyrittäys sijoittuu liiketoimintaulottuvuudeltaan strategisen intensiteetin ääripäähän. Verkostojohtamisen suhteen yhteistyömalli on hyvin formaalinen, yhteisyrittäksen toiminnan luonne on sen kaltainen, että omistuksesta tulee olla selvät määrittelyt jo ennen kuin työhön ryhdytään.

Yhteisyksikkö on pk-yritysten yhteistyömalleista kaikkein formaalisin ja sidoksiltaan tiukin. Toimintamuodossa yhteistyöyrittäykset perustavat itselleen kuoriyrittäksen ja sijoittuvat itse tämän osakeyhtiön sisälle niin, että kaikki vaihdanta ja informaatiovirta yrityksissä ulospäin tapahtuu tämän kuoriyrittäksen nimissä. Kyse ei kuitenkaan ole osakeyhtiölain mukaisesta fuusiosta, sillä kuoriyhtiö ei omista yksikköön kuuluvia yrittäjiä vaan päinvastoin.

4.1.3 Yrittäsyhteistyön rajoitteet

Mitä paremmin yhteistyöorganisaatio pyrkii täyttämään asiakkaan kannalta tärkeät seikat, sen tiiviimpää yhteistyön tulee olla. Tässä tapauksessa ongelmana

kuitenkin saattaa kilpailunrajoituksen lisäksi olla se, että yhteistyö tulisi heti alkuvaiheesta lähtien olla hyvin tiivistä, jolloin osapuolten on hyvä tuntea toisensa jo entuudestaan.

Jos yhteistyössä päädytään kiinteään järjestelyyn, on tavallista, että yhteistyötahot perustavat yhteisyrityksen. Yhteisyritystä perustettaessa on ensimmäisenä päätettävä tulevan yrityksen yhtiömuoto. Hakeverkoston kyseessä ollessa vaihtoehtoisina yhtiömuotoina ovat lähinnä

1. Osakeyhtiö
2. Osuuskunta
3. Työyhteenliittymä.

Osuuskuntaa perustettaessa on syytä huomioida, että Osuuskunnalla on demokraattinen hallinto, jossa noudatetaan ääni/jäsen periaatetta. Työyhteenliittymät ovat olleet tyypillisiä maarakennuslalla. Työyhteenliittymässä yhteistyöyritykset sopivat asiakkaan kanssa tietyn hankkeen toteuttamisesta ja se sopineekin paremmin juuri työkohdetyyppisten tilanteiden tarpeisiin.

Ennen organisatorista mallinnusta, on syytä tarkastella kilpailulainsäädännön asettamia rajoituksia yritysten väliselle yhteistyölle.

Suomessa yritysten yhteistyö pohjaa sopimusvapaudelle; jokainen oikeustoimikelpoinen luonnollinen tai oikeushenkilö voi velvoittautua toista kohtaan niin, että velvoitus sitoo oikeudellisesti. Sopimusvapauden pääperiaatteeseen on kuitenkin myös poikkeuksia – jotkut sopimustyyppit on katsottu yhteiskunnan kannalta sellaisiksi, että halutaan säilyttää mahdollisuus puuttua järjestelyyn. Yhteistyö voi sisältää kilpailua rajoittavia elementtejä tai yhteistyöllä voi olla jopa yksinomaisena tavoitteena kilpailun rajoittaminen. Yksi merkittävimmistä elinkeinonharjoittajien ja näiden yhteenliittymien toimintaa rajoittavista säädöksistä onkin kilpailunrajoituslaki.

Yhteistyön järjestämisessä on otettava huomioon erityisesti seuraavat kiellettyjä kartelleja koskevat rajoitteet:

Kilpailunrajoituslain 5§

Elinkeinotoiminnassa ei saa soveltaa sopimusta tai yhteisymmärryksessä toisen kanssa muuta järjestelyä, jonka mukaan tavaran myymistä, ostamista tai palveluksen suorittamista tarjouskilpailussa:

- 1) jonkun on luovuttava tarjousten tekemisestä
- 2) jonkun on annettava korkeampi tai alempi tarjous kuin toisen tai
- 3) tarjoushinta, ennakko tai luottoehto perustuu tarjoajien yhteistoimintaan muutoin on kielletty.

Myynti- ja ostoyhteistyöllä pyritään yleensä tehokkaampaan toimintaan. Keskitämällä myynti yhteiselle elimelle pyritään säästämään tavallisesti markkinointikustannuksissa ja usein myös parannetaan tuotteiden markkinointia. Kilpailuviraston pelkona tämän kaltaisissa järjestelyissä on ollut, että mukana oleville yrityksille on asetettu ehto toimia ainoastaan yhteisen elimen kautta. Onkin edellytetty, että mukana olevilla yrityksillä on aina oltava mahdollisuus myös toimia yhteiselimen ohi.

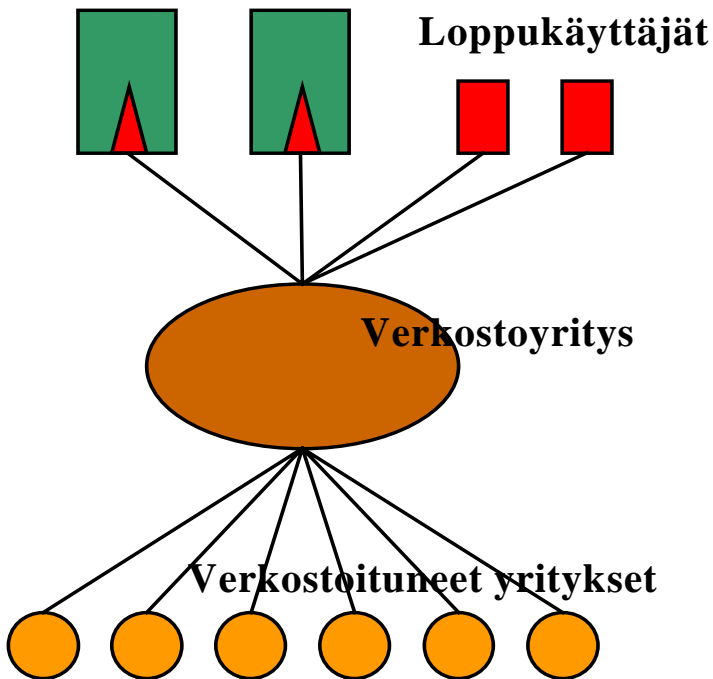
Kilpailunrajoituslain 6§

Samalla tuotanto- tai jakeluportaalla toimivat elinkeinonharjoittajat tai näiden yhteenliittymät eivät saa sopimuksella, päätöksellä tai niihin rinnastettavalla menettelyllä

- 1) määrätä tai suosittaa elinkeinotoiminnassa perittäviä maksettavia hintoja tai vastikkeita tai
- 2) rajoittaa tuotantoa, jakaa markkinoita tai hankintalähteitä, elleivät ne ole välttämättömiä järjestelyille, jotka tehostavat tuotantoa tai jakelua taikka edistävät teknistä tai taloudellista kehitystä ja hyöty pääosin tulee asiakkaille ja kuluttajille.

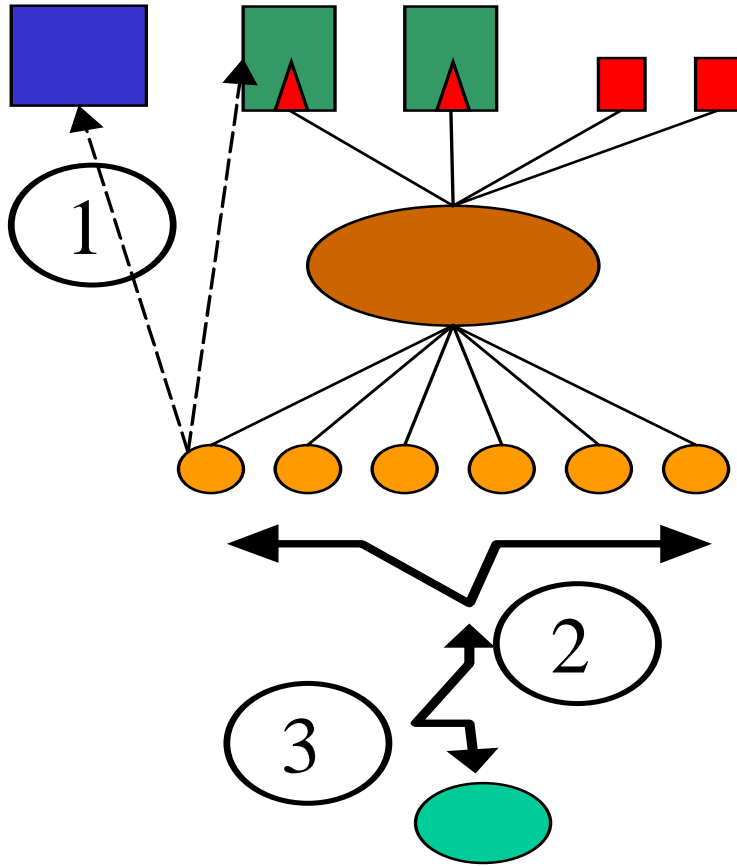
Siltä osin, kun on kyse markkinoiden jaosta, kyseeseen saattaa tulla myös ”automaattinen poikkeus” KRL 6§:n 2 kohdan mukaan, eli järjestely voi automaattisesti ilman eri toimenpiteitä jäädä KRL:n soveltamisen ulkopuolelle. Esimerkkinä on mainittu erityisesti pienten ja keskisuurten yritysten yhteistyön markkinoilla, joilla kilpaillaan muutaman suuren yrityksen kanssa

Yhteistyöverkoston perusorganisaatio esitetään kuvassa 1. Mallilla on haluttu kuvata tässä vaiheessa parhaalta näyttävän ratkaisun perusmallia. Esitetyn kaltainen malli on ollut pitkään käytössä eri puolella Suomea sijaitsevilla eri kokoisissa Kuljetuskeskuksissa (KTK).



Kuva 1. Yhteistyön perusmalli.

Perusmallissa verkostoituneet yrittäjät perustavat yhteisomistukseen Osuuskunta- tai Osakeyhtiömuotoisen markkinointiyhtiön, joka koordinoi verkoston toimintaa ja hoitaa verkostoa koskevat neuvottelut ja sopimukset asiakkaan suuntaan. Verkostoon kuuluvien yritysten määrä ei ole rajattu vaan se voi ottaa myös uusia yhteistyöhaluisia yrityksiä mukaan toimintansa laajentuessa ja kehittyessä.



Kuva 2. Yhteistyön rajoitteet.

Kuvassa 2 on havainnollistettu kilpailunrajoituslain asettamia rajoitteita yhteistoimintaverkoston toiminnalle. 1) Jokaisella yhteisyritystä omistavalla, ja näin ollen verkostoon kuuluvalla osapuolella, tulee olla oikeus myydä palveluaan verkostoyrityksen ohi sekä suoraan verkostoyrityksen asiakkaalle sekä mahdolliselle kolmannelle osapuolelle. 2) Verkoston palvelun hinnoittelussa ei saa ilmetä hintayhteistyötä vaan verkostoyritys hinnoittelee palvelunsa suoraan asiakkaalle ja jokainen verkostoyrityksen omistajayritys hinnoittelee oman työnsä erikseen yhteisyrityksen kanssa tekemällä yksilöllisen sopimuksen. 3) Hankintalähteet: verkostoon kuuluvilla yrityksillä ei saa olla sopimuspakotetta, jolla heidät veloitetaan tekemään tietty osa hankinnoistaan sovitusta lähteestä.

4.2 Osahanke 2

Yritysyhteistyön lähtökohtana tulee olla paitsi verkostoituneiden yritysten omaa toimintaa koskeva eduntavoittelu myös toiminnan kehittymisen mahdollistava asiakashyöty. Koko tuotantoketjusta vastaava verkosto joutuu toimimaan useiden osapuolien kanssa, joiden tarpeiden huomioiminen on onnistuneen toiminnan perusedellytyksiä.

Tarpeiden kartoittamiseksi toteutettiin kyselytutkimuksia, joilla kartoitettiin sen yrittäjien, loppukäyttäjien ja metsänhoitoyhdistysten yhteistoimintahalukkuutta ja kokemuksia energiapuun ja erityisesti metsähakkeen käytöstä.

Kyselylomake lähetettiin kaikille metsänhoitoyhdistyksille, 231 lämpölaitokselle, 219 metsäkoneyritykselle sekä 48 koneyritykselle, jotka työskentelivät haketuksen ja energiapuun korjuun parissa. Kyselyä ei toistaiseksi lähetetty kuljetusalan yrityksille, joita kuitenkin saattaa kuulua verkoston muodostavaan yritysyhmään.

4.2.1 Metsänhoitoyhdistykset

Käytännössä yritysverkoston pääraaka-ainelähteenä toimisivat todennäköisesti metsänhoitoyhdistykset. Metsähakkeen käyttökohteita metsänhoitoyhdistysten alueella oli keskimäärin 4, joista keskimäärin 2 kpl oli vastaajien mukaan taloudellisesti merkittäviä. Harvennushakkuista keskimäärin 48 % tehtiin valtakirjakaupoin ja uudistushakkuista keskimäärin 46 %.

Lomakkeessa tiedusteltiin avoimella kysymyksellä kuinka kukin vastaaja kehittäisi Metsänhoitoyhdistyksensä alueen energiapuun korjuuta. 73 vastaajaa antoi parannusehdotuksia, jotka jaettiin seuraaviin luokkiin.

1. Lisää käyttökohteita, 28 mainintaa. Suurimmaksi ongelmaksi koettiin paikallisten lämpölaitosten puute.
2. Hintaa, 25 mainintaa. Hakkutähdehakkeelle vaadittiin kantohintaa sekä kokonaisuudessaan parempaa käyttöpaikkahintaa metsähakkeelle. Ratkaisuksi

ehdotettiin mm. eriasteisia tukimuotoja ja nykyisten tukien parempaa hyödyntämistä.

3. Hakkeen toimitusorganisaatio, 23 mainintaa. Metsähakkeelle toivottiin luotettavaa, paikallista ja itsenäistä suuryritysten ulkopuolista toimitusorganisaatiota.

4.2.2 Lämpölaitokset

Tutkimuksessa selvitettiin lämpölaitosten edustajien mielipidettä mahdollisten oheispalvelujen tarpeellisuudesta. Kiinnostus oheispalveluiden eri muotoja kohtaan vaihteli loppukäyttäjän kokoluokan mukaan. Pienehköt miehittämättömät laitokset olivat kiinnostuneita lähinnä mahdollisuudesta tarjota osittaista valvontavastuuta laitoksen toiminnasta omien tarkastuskäyntiensä vähentämiseksi, kun taas suurten laitosten kiinnostus painottui varastovastuuseen. Vastaajat olivat kiinnostuneita seuraavista oheispalveluista:

1. osittainen valvontavastuu laitoksen toiminnasta
2. varastovastuu
3. tuhkapesän valvonta
4. tuhkan poiskuljetus.

Lähes kaikki metsähakkeen käytöstä lämpölaitoksille aiheutuneet ongelmat koskivat sen laatua. Laatuongelmista tyypillisin oli hakkeen kosteus. Joissain tapauksissa laatuongelmat koettiin pikemminkin laitoksesta ja sen vanhentuneesta tekniikasta aiheutuviksi kuin metsähakkeesta ja toimitusorganisaatiosta aiheutuviksi.

Vastaajia pyydettiin asettamaan toimitusorganisaation ominaisuuksia tärkeysjärjestykseen siten, että tärkeimpänä pidetty seikka sai arvon 1 ja vähiten tärkein arvon 6.

A: Toimitusvarmuus

B: Toimittajan laatujärjestelmä ja tuotteen oikea laatu

C: Hakkeen hinta käyttöpaikalla

D: Mahdollisuus oheispalvelujen tarjontaan

E: Mahdollisuus toimittaa metsähakkeen lisäksi myös muita polttoaineita

F: Toimiva ympäristöjärjestelmä / sertifikaatti (mahdollisuus hakkeen alkuperän todentamiseen).

Myös toimitusorganisaation ominaisuuksien arvostuksen kohdalla oli nähtävissä selvää vaihtelua laitosten kokoluokan mukaan. Pienet ja keskisuuret (alle 10 MW) käyttäjät arvostivat erityisesti toimitusvarmuutta, joka nähtiin jopa käyttöpaikkahintaa tärkeämpänä ominaisuutena. Suurten laitosten kohdalla nousivat toimitusvarmuuden ohii hallitseviksi tekijöiksi toimitusorganisaation toimiva laatu-järjestelmä ja käyttöpaikkahinta. Suurimmassa kokoluokassa arvostettiin myös organisaation kykyä tarjota hakkeen lisäksi muuta polttoainehuoltoa, kuten turvetoimituksia.

Käyttäjiltä kysyttiin myös halukkuutta käyttää yrittäjävetoisen toimitusrenkaan palveluita. Halukkuutta toimittajapohjan laajentamiseen oli kaikissa käyttäjäkokoluokissa, joskin alle 1 MW kokoluokassa kiinnostus jäi suhteellisen vähäiseksi, mikä selittyy pitkälle pienkäyttäjien harjoittamalla yhden toimittajan politiikalla. Suuremman kokoluokan käyttäjillä osa polttoaineesta sen sijaan hankitaan vuosittain ns. spot kaupoilla, jotka mahdollistavat suuremman liikkumavaran toimittajia valittaessa.

Taulukko 1. Kiinnostus polttoaineen hankkimiseen yrittäjävetoiselta toimitusorganisaatiolta.

Laitoksen koko	Kiinnostus hankintaan verkostolta		
	Kyllä (%)	Ehkä (%)	Ei (%)
alle 1 MW	33,3	33,3	33,3
1–5 MW	57,1	38,1	4,8
5–10 MW	71,4	28,6	0
Yli 10 MW	55,6	33,3	11,1

4.2.3 Hakkuri- ja energiapuun korjuuyrittäjät

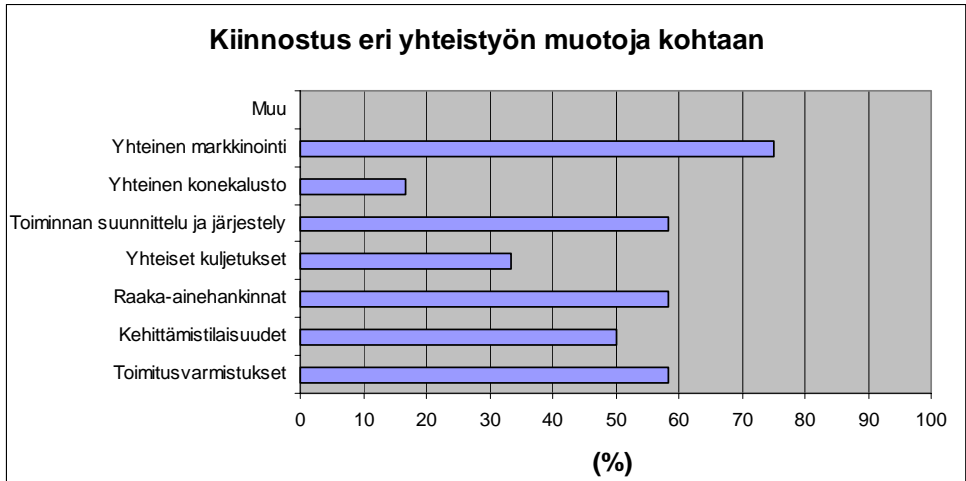
Kyselyyn vastanneet yrittäjät jakautuvat ympäri maata Oulu–Kajaani linjan eteläpuolelle.

Suurimmalla osalla yritysmuotona oli kommandiitti yhtiö tai toiminimi ja vain joka kolmas oli osakeyhtiö. Yritysmuodon jakaantuminen noudattaa koneyritysten yleistä jakaumaa maassamme. Suurimmalla osalla kyselyyn osallistuneista yrityksistä oli yksi tai kaksi omistajaa.

Kyselyyn vastanneiden yrittäjien liikevaihto vaihteli huomattavasti. Osalla vastaajista toiminta energiapuun tuottamisen koneurakoinnissa muodosti yrityksen pääasiallisen toimialan, osalla taas toiminnan pääpainona olivat muut koneyrityksen alat.

Yritysten tuottama hakemäärä vaihteli huomattavasti. Vastaajista suurin osa arvioi tuotettavan hakemäärän kasvavan tai vähintäänkin säilyvän ennallaan seuraavan viiden vuoden kuluessa, mikä heijastuu myös yritysten kalustoinvestointisuunnitelmiin. Vastaajista 75 prosenttia aikoi investoida joko uuteen energiapuun korjuun ja hakkeen tuotannon kalustoon tai modifioida jo olevaa kalustoaan paremmin energiapuun tuotantoon soveltuvaksi. Investointeja suunniteltiin sekä uuteen haketuskalustoon että metsäkuljetuksen tehostamiseen.

Aikaisempaa kokemusta yrittäjien välisestä yhteistyöstä oli maatalouskoneiden yhteisomistuksesta, koneyhteistyöstä, lämpöyrittämisestä renkaassa ja hakettajien välisestä yhteistyöstä. Pääsääntöisesti yritysyritys yhteistyöstä ei ollut aiempaa kokemusta mutta kaikki vastaajat olivat kuitenkin kiinnostuneita yhteistyön kehittämisestä sen jossakin muodossa.



Kuva 3. Vastaajien kiinnostus eri yhteistyön muotoja kohtaan.

5. Tulosten hyödyntäminen ja projektin jatko-suunnitelmat

Projekti on edennyt vaiheeseen, jossa liiketoiminnalliset mallit ja laatujärjestelmät ovat selvillä. Näiden toimivuudesta käytännön markkinoilla ei kuitenkaan ole varmuutta ennen demonstraatio-osion kokemusten analysointia. Demonstraatiosta saatavat tulokset eivät Case-tutkimusluonteisuutensa vuoksi ole täysin pätevästi yleistettävissä, sillä oikean toimintamallin löytäminen ja toiminnan organisointi ovat jossain määrin tapauskohtaisia.

Demonstraation käynnistämiseksi kartoitetaan mahdollisia toimijaosapuolia. Koska pk-yrittäjäverkostoihin perustuva liiketoiminta on alueellisesti rajoittunutta, on haasteena löytää rajatulta maantieteelliseltä alueelta riittävä määrä toiminnasta kiinnostuneita funktionaalisesti toisilleen soveltuvia yrityksiä.

Mikäli demonstraatio-osion kokemukset osoittautuvat toimiviksi on yrittäjävetoista toimintamallia tarkoitus monistaa yleisesti käytössä olevaksi toimintavaihtoehdoksi. Yrittäjäverkostoja on mahdollista hyödyntää myös muilla kone-yrittämisen toimialoilla.

Energia-alan pk-sektorin toimijoilla ei ole vielä olemassa laatujärjestelmämallia. Syntyvää mallia markkinoidaan yleiseen käyttöön hankkeen päätyttyä.

6. Julkaisut ja raportit

Jäkälä, M. 2000. Verkostoitumalla kilpailukykyä hakeyrittämiseen. KL-Uutiset 6/2000.

Jäkälä, M. 2001. Lämpölaitokset toivovat lisää suoria yrittäjätoimituksia ja oheispalveluja. Koneyrittäjä 3/2001.

Jäkälä, M. 2001. Koneyrittäjät ja metsänhoitoyhdistykset energiapuun hankinnassa. Koneyrittäjä 4/2001.

Jäkälä, M. 2001. Hakeyrittäjien kiinnostusta yhteistyöhön selvitettiin. KL-Uutiset 5/2001.

Mäntynen, E. 2001. Yritysyhteistyöllä lisää kilpailukykyä PK-sektorille. Koneyrittäjä 1/2001.

7. Lähteet

Kalliomaa-Puha, L. 1995. Kielletyt kartellit ja hyödyllinen yhteistyö. Lakimiesliiton kustannus.

Robbins, S. P. 1994. Management. 5th ed. Prentice Hall International. Inc. Englewood Cliffs.

Vesalainen, J. P. 1999. Yritysyhteistyön malleja – käsikirja yhteistyön edistäjille. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 18/1996.

Puupolttoaineklinikka – PUUY07

Dan Asplund & Pirjo Nikku
Jyväskylän Teknologikeskus Oy
PL 27, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-4451 112, faksi 014-4451 199
e-mail: dan.asplund@jsp.fi, pirjo.nikku@jsp.fi

Abstract

Project title in English: Technology clinic for wood fuel technologies

Jyväskylä Science Park runs the wood fuel technology clinic, funded by the Technology Development Centre Tekes. The clinic assists the entrepreneurs in starting a project, offers funding and expert services. The services of the wood fuel technology clinic are designed for SM Enterprises, which develop new components or equipment for production or utilisation of wood fuels.

In the beginning the services of the clinic were connected to the production of wood fuels. In 2000 the services of the clinic expanded to consist the projects related to small-scale utilisation of wood fuels. These mean development projects related to fireplaces, small and large real estate boilers, district heating and small-scale power plants. Development objectives can include all the components and services related to delivery of a boiler plant.

The clinic creates a flexible funding system for the projects of small and medium sized companies, which develop and constructs partial solutions or components. A Company can get expert services needed in the development work. Technology development services include e.g. measuring and reporting services.

1. Tausta

Jyväskylän Teknologiakeskus Oy on koordinoanut vuoden 1996 lopulla käynnistynyttä puupolttaineklinikkaa. Klinikassa on ollut kaikkiaan kolme vaihetta. Klinikkan markkinointi on ollut laajaa ja hankkeet ovat käynnistyneet nopeasti.

Suomen ja EU:n keskeisenä tavoitteena on edistää pk-yritysten teknologiakehitystä eri tavoin. Bioenergian tutkimusohjelmassa kehitettiin menestyksellisesti uusia tuotantomenetelmiä erityisesti painopistealueena olevalla puupolttainepuolelle. Energian osalta keskeinen mahdollisuus on uudistushakkuissa, johon on kehitetty kolme uutta tuotantomenetelmää. Lisäksi ohjelmassa kehitettiin useita muita puupolttaineidien tuotantoon liittyviä menetelmiä, koneita ja laitteita. Ohjelman ulkopuolella on myös kehitetty uutta teknologiaa.

2. Puupolttaineidien tuotanto

Uusien tuotantomenetelmien optimoinnissa ja kehittämisessä kaupallisiksi tuotteiksi on kuitenkin vielä tehtävää ja erilaisia osakomponentteja tarvitaan, vaikka useimmat menetelmät ovatkin jo demonstraatiovaiheessa. Myös jo kaupallisten menetelmien kohdalla on mahdollista pienin teknologisin muutoksin tehdä tuoteparannuksia. Erityisesti pk-sektorilta löytyy uusia ideoita näiden osakomponenttien kehittämiseen ja valmistamiseen sekä tuoteparannusten tekoon. Pk-sektori on jo alalla merkittävä tuote- ja komponentti valmistaja.

Päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuussa kehitettiin useita uusia menetelmiä Bioenergia tutkimusohjelmassa ja myös ohjelman ulkopuolella. Perinteisen tienvarsihaketusmenetelmän kehityskohteena on ollut metsäkuljetuksen tehostaminen ja erityisesti Kotimaiset Energiat Pekka Lahti Ky:n kehittämä Evolution-hakkuri. Logset Oy:n Chipset-palstahakkuriin perustuva uusi päätehakkuumenetelmä on jo saavuttanut kaupallisen vaiheen. Siinä on kuitenkin vielä kehityspotentiaalia esim. syöttöpöydän osalta. Hakkurilla varustetun MOHA-SISU kuorma-auton, joka voi kulkea palstalla, ja siirtokonttien käyttöön perustuvalla tuotantoketjulla päästään kilpailukykyiseen hintaan. MOHA-SISU mahdollistaa uudenlaisen polttihakkeen tuotantologistiikan, joka tarjoaa etuja perinteiseen toimintatapaan ja muihin tuotantoketjuihin nähden. Lisäksi on kehitetty kontti-hakkuri ja paalaus kone.

Meneillään oleva Puuenergia-teknologiaohjelma on tuonut uusia hankeaihoita myös klinikalle ja tuottanee niitä edetessään jatkossa lisää.

Keskeinen uusi mahdollisuus liittyy uudistushakkuun tähteiden suoraan vientiin käyttölaitokselle hakettavaksi. Näiden menetelmien edelleen kehittäminen edellyttää menetelmien optimointia ja sitä kautta erityisesti erilaisten uusien laitekomenttien kehittämistä.

Puupolttoaineen pientuotannossa on ohjelmassa kehitetty uusi, maataloustraktoriin perustuva ja aikaisempaa halvempi laitesukupolvi. Kaato- ja karsintavaiheeseen on kehitetty useita puita käsitteleviä harvestereita. Mefor Oy:n AM 240-hakkuulaite alentaa tuotantokustannuksia noin 20–25 %. Samaan tehtävään sykeperiaatteella toimivat hakkuulaitteet ovat kehittäneet Pentin Paja Ky ja Metso-Metalli Oy. Sekä NaarvaSyke- että Arkro-Stroke-hakkuulaitteet ovat kaupallisessa käytössä ja niitä on myyty 250 kpl. Merkittävä määrä laitteista on mennyt vientiin.

Itse lämmityspilkkeen tekoon on kehitetty menetelmä, jossa pilkettä tuotetaan suoraan kuljetushäkkeihin. Näissä puut voivat myös kuivua. Polttopuun karsintaan on kehitetty traktorisoitteinen ketjukarsijalaitteisto. Tämä piiskaa oksat irti ja irrottaa osan kuoresta, mikä tehostaa polttopuun kuivumista.

Taimikon hoidon ja nuorten metsien kunnostuksella saadaan hyvin vähän teollisuudelle kelpaavaa raaka-ainetta. Tätä kautta saadaan pääasiassa polttoainetta. Puun kaato suoritetaan pääsääntöisesti manuaalisesti ja toimenpidettä varten on kehitetty uusi työntökahvalla varustettu moottorisaha, joka on kaupallisessa vaiheessa. Puun karsintaan ja kuljetukseen on kehitetty kauko-ohjattava metsäkone. Tämä mahdollistaa kevyemmän ratkaisun kehittämisen. Koneen prototyyppi on ollut kokeiltavana metsässä ja teknisesti laite on toiminut odotusten mukaisesti. Myös Chipset®:iin perustuva palstahaketus kokopuuhakkeen tuotantoon on kehitetty.

Lupaavimmat uusiin laitteisiin perustuvat menetelmät taimikon hoitoon ja nuorten metsien kunnostukseen ovat

- siirtelykaato ihmistyönä, Chipset-palstahakkuri
- siirtelykaato ihmistyönä, kuljetus kuormatraktorilla, haketus varastolla

- koneellinen keräilykaato, kuljetus metsätraktorilla, ketjukarsinta-kuorinta-haketus tehtaalla.

Pk-sektorin erityisongelma – toisaalta mahdollisuus – on, että kehitettävät osaratkaisut ovat pieniä panostuksia vaativia. Joustava ja nopea rahoitus on siten tarpeen. Myös ohjelman teknologiakehittäjien palvelut, mittaus ja raportointi ovat tärkeä osa kehitystyötä. Klinikatoiminta tarjoaa joustavan mahdollisuuden myöntää klinikaperinteiden mukaisesti pienimuotoisia, mutta tärkeitä pk-sektoreille suunnattuja tuotekehitysavustuksia ja tarjota siihen liittyvää teknologiapalvelua ohjelmassa mukana oleville tahoille. Tutkimuspalveluja tuottavat organisaatiot: Metsäteho Oy, Metla, Työtehoseura ja VTT Energia, jotka ovat olleet mukana kehittämässä päämenetelmiä ja tekemässä niihin liittyvää seurantaa demonstraatiovaiheessa, pystyisivät tarjoamaan palveluja myös pk-sektorille.

3. Polttopuun pienkäyttö

Uutena alueena klinikkaan on käynnistynyt puupolttoaineiden pienkäyttö. Alueena on tulisijat, pien- ja suurkiinteistökatilat. Kehityskohteena voi olla kaikki kattilalaitoksen toimittamiseen liittyvät laitekomponentit tai palvelut.

Pienkattiloiden palamisprosessin kehittäminen vähäpäästöisemmäksi on tärkeää. Vaikka Suomessa ei olekaan virallisia päästömääräyksiä, vientimarkkinoille pyrittäessä kattilat on hyväksyttävä virallisessa testauslaboratoriossa. Tällä hetkellä eri maissa on vielä erilaisia määräyksiä ja testausmenetelmiä: Viime vuoden lokakuussa hyväksyttiin uusi EN-normi alle 300 kW kiinteän polttoaineen kattiloille. Siirtymäajan jälkeen kattilan testaus yhdessä EU-maassa tämän normin mukaisesti on voimassa koko EU:n alueella. Hyötysuhde- ja päästövaatimukset voivat vaihdella eri maissa, mutta testaus tehdään kuitenkin samalla tavalla kaikissa maissa.

Tulisijoille vastaavanlainen EN-normi on tulossa. Luonnos tulee viralliseen äänestykseen ensi vuoden puolella.

Polton päästöjen alentaminen vaatii erilaisia teknologisia innovaatioita, joita nopealla klinikkarahoituksella on hyvä kehittää. Tutkimuslaitos voi olla hankkeissa mukana. Tyypillisesti tutkittavat asiat voivat liittyä mm. tulipesän rakenteeseen,

arinnan rakenteeseen, palamisilman syöttöön, kattilan säätöjärjestelmän muutokseen, kattilan mitoittamiseen, savukaasujen puhdistimiin, prototyypin rakentamiseen ja testaamiseen jne. Vastaavanlaisia hankkeita voidaan rahoittaa polttoaineen varastointi- ja syöttöjärjestelmien kehittämiseen, polttoaineen laadun parantamiseen, polttoaineen kuivausratkaisuihin jne.

Pienkäytöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä pientalojen, maatilojen, muiden asuin- ja teollisuuskiinteistöjen lämmitystä, maatilojen tuotantotoiminnassa käytettävän energian tuotantoa, pienten sahojen kuivausenergian tuottamista omista polttoaineista sekä pienten aluelämpölaitosten, teho alle 10 MW_{th}, polttotekniikkaa sekä kaikkiin edellisiin liittyvää polttoaineen käsittelyä ja savukaasujen puhdistustekniikkaa. Energiamuodoista pääpaino on puulla, mutta myös sen yhteiskäyttö muiden polttoaineiden kanssa sekä sähkön kanssa lämmöntuotannossa kuuluu ohjelman piiriin.

Rakennusten lämmityksessä kevyt polttoöljy on eniten käytetty energiamuoto. Polttopuuta käytetään vielä runsaasti, enemmän kuin sähköä. Sähkölämmitys on kuitenkin suosituin uusissa omakotitaloissa ja myös uusissa teollisuusrakennuksissa ja palvelurakennuksissa. Rivitaloista rakennetaan valtaosa kaukolämpöalueille, mutta näiden alueiden ulkopuolelle rakennettavista rivitaloista suuriin osaan valitaan sähkölämmitys.

Savukaasujen puhtaudelle asetetaan eräissä Euroopan maissa jo hyvin tiukkoja vaatimuksia. Jotta suomalaisten laitteiden nykyinen vienti on turvattu ja uutta vientiä saadaan alulle, teknologian kehittäminen on suorastaan elinehto.

Kehittynyt säätötekniikka antaa paljon mahdollisuuksia päästöjen alentamiseen ja laitteiden automaattisempaan toimintaan erityisesti kun käytetään biopolttaineita. Nämä mahdollisuudet on kuitenkin toistaiseksi huonosti hyödynnetty. Keskieurooppalaisissa kattiloissa on happisäätö yleinen myös pienkattiloissa, johtuen tiukoista päästörajoista.

Tulipesien ja polttolaitteiden suunnittelussa voitaisiin hyödyntää paremmin numeerisia virtauslaskentamenetelmiä, joita käytetään yleisesti suurempien kattiloiden mitoittamisessa. TULISIJA – Puun polton teknologiaohjelman (1997–1999) pääasiallinen tarkoitus on ollut kehittää tulisijojen suunnitteluun tietoko-

nemalli. Tätä työkalua kannattaa käyttää uusien tulisijaratkaisujen ideoinnissa ja tuotekehityksessä.

Käyttötekniikan kehittämistavoitteena on kohottaa teknologian tasoa kilpailukykyä parantaen niin, että savukaasupäästöt alittavat Euroopan tällä hetkellä voimassa olevat päästörajat 50 %:lla ja samalla laitteiden suorituskyky- ja turvallisuusvaatimukset täyttyvät.

Mahdollisia käyttöön liittyviä tuotekehityskohteita:

- kiinteistöjen lämmitys
- tulisijojen soveltuvuus kotitalouksissa syntyvän palavan jätteen polttoon
- polttoaineen kuivaus
- stokeripolttotekniikka
- säätötekniikka
- savukaasujen puhdistus.

4. Tavoite

Klinikatoiminta keskittyy puupolttoaineiden tuotannon ja pienkäytön koneisiin ja laitteisiin sekä jo kehitettyjen menetelmien optimointiin. Tavoitteena on kehittää pk-sektorin tuella täydentäviä, uusia optimaalisia komponenttiratkaisuja. Tavoitteena on polttoaine- ja energiantuotantomenetelmien kilpailukykyyn parantaminen edellä mainitulla toiminnalla siten, että tarjotaan joustava rahoitusjärjestelmä pk-sektorille osaratkaisujen ja laitekomponenttien kehittämistä varten.

5. Tehtävät ja tulokset

Klinikkaa pyörittää klinikakeskus, Jyväskylän Teknologikeskus Oy, jolla on laajat bioenergiaan liittyvät verkostot. Klinikan markkinointi on ollut laajaa ja hankkeet ovat käynnistyneet nopeasti.

Tavoitteena on tarjota nopeasti ja joustavasti pienimuotoista, pääsääntöisesti alle 100 000 mk:n tuotekehitysavustusta Tekesin ehtojen mukaisesti pk-yrityksille, jotka kehittävät uusia komponentteja ja uusia tuotteita tai tuoteparannuksia puupolttoaineen tuotannon kilpailukyvyn parantamiseksi puupolttoaineen pientuotantoon ja -käyttöön sekä suurtuotantoon.

Tyypillinen klinikkaprojekti on kustannuksiltaan 20 000–200 000 markkaa ja Tekesin tuki enintään 100 000 markkaa ja enintään 50 %. Päätettyjen klinikka-
projektien keskimääräinen kokonaisrahoitus on ollut 235 000 mk ja Tekesin avustus 75 000 mk. Projektien kesto on 1–6 kuukautta. Asiantuntijapalveluina on käytetty eniten Työtehoseuran palveluja.

Klinikkaa on markkinoitu laajasti sähköpostijakelulla, esitteellä sekä useissa erilaisissa puun pientuotantoon ja käyttöön liittyvissä alueellisissa ja valtakunnallisissa tilaisuuksissa ja seminaareissa. Myös asiantuntijaorganisaatiot ovat esitelleet klinikkaa omissa tilaisuuksissaan.

Hankkeilla on jatkuva haku ja niiden käynnistämistä edetään nopeasti. Klinikka-päätökset tehdään pääsääntöisesti viikon sisällä siitä kun hakemus on saapunut Teknologiakeskukseen.

Klinikkahankkeiden yhteistyökumppaneita ovat olleet Metsäteho Oy, Työtehoseura, VTT, Joensuun yliopisto, Savonlinnan ammattikorkeakouluja eräät konsulttiyritykset.

Kaikkiaan puupolttoaineklinikassa on ollut 20 projektia. Projektien kokonaiskustannukset ovat olleet yhteensä 4,7 milj. mk. Tekesin rahoitusosuus on ollut 1,5 milj. mk. Eniten klinikkaprojekteja on käynnistynyt edelleenkin Työtehoseuran kautta, mutta myös yritysten suorat yhteydenotot ovat lisääntyneet.

Taulukko 1. Käynnistyneet puupolttoaineklinikkaprojektit (12/1996–5/2001).

Yhteensä	20
Polttopuun tuotanto	3
Pienhaketus	3
Suurhaketus	6
Muu puupolttoaineen tuotanto	4
Polttolaitteet	4

Klinikkaprosessi käynnistyy yhteydenotolla toimintaa pyörittävään Jyväskylän Teknologikeskukseen. Hankkeesta keskustellaan ja tarvittaessa Teknologikeskuksen asiantuntijat käyvät tutustumassa yritykseen ja hankkeeseen. Jos hanke täyttää klinikkaehdot, laaditaan projektisuunnitelma. Suunnitelmassa kuvataan lyhyesti tausta, tavoitteet, toimenpiteet sekä laaditaan kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma. Klinikkarahoituksen hakemuslomakkeen voi tilata Teknologikeskuksesta tai Internetistä osoitteesta: www.finbioenergy.fi/puupolttoaineklinikka/.

Yritys toimittaa suunnitelman klinikalle, joka hakee sille Tekesin rahoituspäätöksen. Klinikka avustaa tarvittaessa sopivan alihankkijan, tutkimuslaitoksen tai muun asiantuntijapalvelun valinnassa. Klinikka lähettää sopimus allekirjoitettavaksi ja hanke käynnistyy. Alihankkijan työn jälkeen yritys maksaa laskun ja toimittaa kustannuserittelyn ja loppuraportin koko kehitystyöstä klinikalle. Jyväskylän Teknologikeskus Oy maksaa Tekesin rahoitusosuuden yritykselle.



Kuva 1. Klinikkaprosessi: keskimäärin yritys saa rahoituspäätöksen viikossa hakemuksen jättämisestä.

6. Aikataulu

15.4.2000–31.5.2001.

7. Organisointi

Vastuullisena johtajana teknologiajohtaja Dan Asplund. Operatiivinen päätös tehdään teknologiajohtajan ja Tekesin vastuuhenkilön Heikki Kotilan päätöksellä.

Risutukkitekniiikan edellytykset suuri- mittaisessa puupolttoainehankinnassa – PUUY19

Juha Poikola
Pohjolan Voima Oy
PL 40, 00101 Helsinki
Puh. 09-693 061, faksi 09-6930 6555
e-mail: juha.poikola@pvo.fi

Abstract

Project title in English: Bundling system in large scale utilization of forest energy

Oy Alholmens Kraft Ab has been founded to build and operate a 240 MWe power plant beside the UPM-Kymmene paper mill in Pietarsaari. The owners are Finnish Pohjolan Voima, Katternö, Oulun seudun sähkö and Swedish Graningen, Skellefteå Kraft and Revonsähhö. Swedish ownership is about 40% of the company Alholmens Kraft.

The annual fuel consumption is estimated to be 3500 GWh, of which about 40% is wood processing industry's by-products, 10% forest residues, 5–10% is coal and the missing 45% is peat.

With this project the target is to increase the utilization of harvesting residues up to 300 GWh which equals 150 solid m³. To achieve this we need 6 bundling machines to work 10 months in a year. Project target is to increase productivity, improve storage systems, desing terminal crusher, modell fuel flows at the mill and minimize enviromental effects.

1. Tausta

UPM-Kymmene Oyj:n Pietarsaaren tehtaiden yhteyteen rakennetaan biopolttoaineita käyttävä suurvoimala, Oy Alholmens Kraft Ab. Voimalaitos käynnistyy lokakuussa 2001. Osakkaina hankkeessa ovat Pohjolan Voima Oy, UPM-Kymmene Oyj, Kokkolan Kaupunki, Perhonjoki Oy, Päijät-Hämeen Voima Oy, Graningeverkens Abb, Skellefteå Kraft, Perhonjoki Oy, Revon Sähkö Oy, Oulun Seudun Sähkö.

Voimalaitoksen polttoaineiden vuosikäyttö tulee olemaan noin 3,5 TWh. Siitä noin puolet tyydytetään puuperäisillä polttoaineilla. Puunkuorta ja sahanpurua Pietarsaaren tehtailta tulee noin 1 TWh:n verran. Metsäpolttoaineiden (risutukit, irtotähde, metsäpäässä tehty polttohake) osuudeksi tavoitellaan täydessä tuotantokäytössä 0,4 TWh, mikä vastaa noin 200 000 kiintokuutiometriä. Suurin osa tästä tullaan hankkimaan risutukkitekniikalla.

Hakkuutähteiden paalaus tukkimaisiksi kappaleiksi tarjoaa varmimman ja käytännössä helpoimmin toteutettavan tuotantoketjun suurkanäyttöön. Lisäksi sen käyttöönotto on nopeaa verrattuna useimpiin muihin polttohakkeen tuotantotekniikoihin, koska ainoa erikoislaitte on paalainkomponentti. Risutukkien käsittely ja kuljetus hoituu tavanomaisella puutavarakalustolla ja logistiikalla. Risutukkien haketus tai murskaus voidaan aloittaa olemassa olevalla mobiilikalustolla, vaikka suurkanäytössä kiinteään haketusasemaan perustuva tuotantotapa onkin edullisempi.

2. Tavoitteet ja tehtävien kuvaus

Projektin tavoitteena on luoda tekniset ja taloudelliset edellytykset tuottaa risutukki-tekniikalla 300 000 MWh/a metsäpolttoainetta Pietarsaaren (Oy Alholmens Kraft Ab) voimalaitokselle ja käynnistää siihen yltävä tuotanto.

Tavoitteen saavuttamiseksi projektissa on tehtävät mm. seuraavaa:

1. voimalaitoksen polttoainevirtojen suunnittelu, jossa otetaan huomioon eri polttoaineiden laadun ja polttoteknisten toimenpiteiden yhteensovittaminen

2. haketus- ja murskaustekniikoiden vertailu haketusaseman investointipäätöksen perustaksi
3. risutukkitekniikkaan perustuvan tuotantoketjun tuottavuustutkimukset nykykalustolla, kaluston ja tuotantomenetelmän kehittämiskohtien paikantaminen ja taloudellisuustarkastelut
4. hankintalogistiikan luonti ja käyttöönotto
5. vastaanottomittauksiin liittyvä kehittäminen
6. polttoaineen laadun hallinta ja varastoinnin tekninen toteutus
7. 4–6 uuden paalainyksikön varustaminen käyttöön
8. risutukkihankintaan perustuvan tuotantoketjun ympäristövaikutusten tarkastelu.

3. Toteutus

Projektin toteuttajina ovat VTT Energia, Metsäteho ja YTY-Konsultointi. Projektin vetovastuu on Pohjolan Voimalla, UPM-Kymmene ja Alholmens Kraft ovat mukana rahoittamassa ja toteuttamassa hanketta.

4. Tulokset

Voimalaitoksen polttoainevirrat on mallinnettu ja niistä on johdettu ajoneuvo-tiheudet sekä puun ja metsähakkeen %-osuudet eri vuodenaikoina.

Murskainkokeissa päästiin 7:llä testatulla laitteella 50–160 kuutiometrin tunti-tuotoksiin, vain kahdella laitteella päästiin tavoiteltuun 160 kiintokuutiometrin tavoitteeseen. Palakoon osalta ongelmia ei ollut. Paalinarut eivät katkenneet haluttuun alle 1 metrin pituuteen, joten niistä saattaa tulla ongelma.

Tuottavuustutkimukset, varastointi- ja kuivauskokeet ovat vielä kesken, eikä niistä ole vielä raportoitavaa.



Kuva 1. Risutukkien paalain. Kuva: Timberjack.



Kuva 2. Risutukit kuljetetaan murskattavaksi tukkirekoilla. Kuva: Timberjack.



Kuva 3. Risutukkeja varastoituna voimalaitokselle. Kuva: Timberjack.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Hankkeen tuloksien avulla määriteltiin tehokas ja toimiva murkain, joka hankitaan Oy Alholmens Kraft Ab:n voimalaitokselle. Paalaimen ja metsäkuljetuksen tuottavuustietojen avulla voidaan yhteistyössä laitevalmistajan kanssa kehittää hankintaketjua. Kehitettävän varastoinnin avulla nostetaan hakkeen energiasisältöä ja varmistetaan ympärivuotinen polttoaineen toimitus.

Polttoainevirtojen mallinnuksen tuloksia hyödynnetään liitännäisprojektissa, jossa arvioidaan kattilan eroosio- ja likaantumisriskejä.

6. Jatkosuunnitelmat

Voimalaitoksen käynnistyminen syksyllä 2001 mahdollistaa tuotantomittakaavaisen toiminnan käynnistymisen kaikilta osin. Tämä tarjoaa hyvät mahdollisuudet jatkaa tutkimusosioita suunnitelman mukaan.

7. Julkaisut ja raportit

Hanketta esitelty tutkimusohjelman seminaareissa.

Hakkuutähteen hankinnan ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä – PUUY21

Timo Hartikainen
Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd
Sirkkalantie 17, 80100 Joensuu
Puh. 050-5875072
e-mail: timo.hartikainen@carelian.fi

Heikki Karppinen
Metsäkeskus Pohjois-Karjala
PL 17, 80101 Joensuu
Puh. 0500-186603
e-mail: heikki.karppinen@metsakeskus.fi

Abstract

Project title in English: Combi-method for forest residual transportation and cutting area preparation:

The aim of this project is further develop method for forest residual transportation and cutting area preparation. Prototype machine has been built and preliminary tests have been implemented in 2000. During the summer 2001 method will be studied with a large serie of tests in North Karelia.

Benefits of the method: High productivity. The method takes into account forest owners point of view and it can be easily fitted to the systems of private forestry organisations, forest industries and machine entrepreneurs.

1. Kehitystyön tausta

Tällä hetkellä hakkuutähdehakkeen korjuumenetelmien kehittämisessä on tunnusomaista energiapuun korjuun integroiminen osaksi ainespuun korjuuta ns.

uutena puutavaralajina. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikki hakkuutähteiden korjuuseen liittyvä toiminta organisoidaan puunhankinnan tai siihen kiinteästi liittyvien toimintojen ehdoilla. Tämä on johtanut siihen, että samalla päätehakkuukohteella käy uudistamishakkuun suunnittelun ja metsän uudistamistoimenpiteiden välisenä aikana jopa kuusi eri metsäkonetta ja useita toimintaa ohjaavia organisaatiota, mikä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja toiminnan tehottomuutta.

Projektin aikana kehitettävä hakkuutähteen korjuun ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä on vaihtoehto nykyisin käytössä oleville menetelmille. Uuden menetelmän kehitystyössä otetaan huomioon myös metsänomistajan ja koneyrittäjien näkökulma ja samalla luodaan kustannustehokas suuren mittakaavan hakkuutähteen korjuujärjestelmä.

Menetelmän perusajatus on yhdistää hakkuutähteen korjuu osaksi metsänuudistamiseen liittyvää maanmuokkaustoimintaa.

Hakkuutähteen korjuun ja maanmuokkauksen yhdistävän koneen kehitystyö on käynnistetty keväällä 2000 rakentamalla koneen prototyyppi Puupolttoaineklinikan osarahoittamana ja tekemällä alustavia testejä. Metsäkeskus Pohjois-Karjala ja koekoneen rakentamisesta vastannut Metsäkoneurakointi Antti ja Matti Varis ovat hakeneet menetelmälle patenttia.

Hankkeen merkitystä kasvattaa se, että metsänhoitoyhdistykset ovat ensimmäistä kertaa mukana laajassa mittakaavassa kehittämässä hakkuutähteen hankintaan tähtäävää toimintaansa.

2. Kehitettävän menetelmän kuvaus

Hakkuutähteen korjuu nivelletään osaksi metsänuudistamista siten, että samalla peruskoneella voidaan yhtenä työvaiheena korjata hakkuutähteet ja muokata uudistamisalue viljelyä varten. Kone on varustettu hakkuutähteen korjuun edellyttämin apulaittein ja maanmuokkausvarustein. Menetelmälle on tunnusomaista, että yhdistelmäkone ei ole tarkoitettu vain hakkuutähteiden korjuuseen ja maanmuokkaukseen, vaan se pystyy suoriutumaan myös normaalista ainespuun ajosta.

Menetelmässä hakkuutähteiden korjuu ja maanmuokkaus ovat osa puunmyyntisuunnitelmaa, puunhankintasuunnitelmaa, uudistamissuunnitelmaa sekä hakkuutähteen korjuusuunnitelmaa.

Menetelmän edut:

1. Mahdollistaa uudenlaisen hakkuutähtehankintajärjestelmän kehittämisen.
2. Voidaan osoittaa hyötyjä metsänomistajille ja koneurakoitsijoille helpommin kuin nykyisin menetelmin.
3. Maanmuokkaus ja hakkuutähteen korjuu yhtenä työvaiheena keventää työn organisointia ja organisaatiokustannuksia voidaan kohdentaa molemmille työlajeille.
4. Hakkuutähteen korjaaminen ainespuunkorjuun yhteydessä tuo varastotilaongelman, joka poistuu osin uuden menetelmän avulla.
5. Menetelmä mahdollistaa ns. ruskean hakkeen tuottamisen, mutta se soveltuu myös vihreän hakkeen tuotantoon.
6. Minimoi tarpeettoman ravinteiden kulkeutumisen kasvupaikalta.
7. Vähentää kloorin ja kaliumin aiheuttamia korroosio-ongelmia voima- ja lämpölaitoksilla.
8. Soveltuu osaksi havutukkien tuotannon logistista ketjua.
9. Mahdollistaa hyödynnettävissä olevien hakkuutähteen hankintakohteiden laajentamisen.
10. Soveltuu yksityismetsätalouden, metsäteollisuuden ja koneurakoitsijoiden järjestelmiin.

3. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena on tutkia ja kehittää maanmuokkauksen ja hakkuutähteen korjuun yhdistävää menetelmää, testata toimintamallia Pohjois-Karjalassa, kehittää tarvittavat tietohallintojärjestelmät ja kartoittaa koneen ongelmakohdat jatkokehitystyötä varten.

Projektin tuloksena menetelmä kehittyy niin, että sitä soveltaen voidaan Pohjois-Karjalan alueelta hankkia vuosittain 100 000 i-m³ hakkuutähdhaketta. Lisäksi tavoitteena on, että menetelmä otetaan käyttöön muualla Suomessa ja soveltuvin osin mm. pohjoismaissa.

Tavoitteena on myös aloittaa yhdistelmäkoneiden valmistus jonkun suomalaisen metsäkonevalmistajan toimesta. Neuvottelut on aloitettu.

4. Projektin toteutus

Projektin vastuuorganisaatio on Joensuun Tiedepuisto Oy – Puu- ja metsäosamiskeskus. Muut hankeosapuolet ovat Joensuun Seudun Metsänhoitoyhdistys, Länsi-Karjalan Metsänhoitoyhdistys, Vaara-Karjalan Metsänhoitoyhdistys, UPM Kymmene Metsä ja Metsäkoneurakointi Antti ja Matti Varis.

Asiantuntijaorganisaatioina hankkeessa ovat mukana Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd ja Metsäkeskus Pohjois-Karjala. Tutkimustoiminnasta vastaa Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskus.

4.1 Tutkimustavoitteet kesällä 2001

1. Aikatutkimuksin selvitetään koneen tuottavuus hakkuutähteen metsäkuljetuksessa ja äestyksessä.
2. Korjuu- ja äestysjälki inventoidaan ja sitä verrataan tavanomaiseen äestysjälkeen ja kaivuriläikutukseen sekä työn lopputuloksen että kustannusten osalta.

3. Logistiikkatarkastelussa selvitetään yhdistelmäkoneen käyttöalue.
4. Seurantatutkimuksessa selvitetään koneen tekninen luotettavuus sekä käytännön tuottavuus ja kustannukset yhden toimintakauden touko–lokakuun 2001 ajalta.
5. Aikatutkimuksien aikana mitataan koneen värinä ja kuljettajan rasittuminen sekä koneen kuormittuminen.
6. Aika- ja seurantatutkimuksen tulosten perusteella laaditaan toimenpideohjelma koneen tekniseksi ja toiminnalliseksi kehittämiseksi ja arvioidaan menetelmän käytettävyyttä osana hakkuutähdehakkeen toimitusjärjestelmiä.

**Hakkuuketjussa: Hakkuukone,
2 kpl ajokoneita**



**Hakkuutähteiden keruu ja maan-
muokkaus samalla koneella**



Kuva 1. Menetelmän toimintaperiaate.



Kuva 2. Yhdistelmäkone hakkuutähteen korjuuseen ja maanmuokkaukseen.

Laatu ja käyttö

Ensiharvennuspuun hyödyntäminen – PUUT06

Raimo Alén, Marian Martina, Teppo Parikka,
Riikka Rautiainen & Jaakko Toivanen
Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto
PL 35, 40351 Jyväskylä
Puh. 014-260 2562, faksi 014-260 2581
e-mail: ralen@cc.jyu.fi

Abstract

Project title in English: Utilization of wood material from early thinnings

The aim of this research project was to find out ways of promoting the use of first-thinning pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pendula* / *B. pubescens*) woods as competitive raw materials for energy production by studying the suitability of these wood resources for the manufacture of kraft pulp. The work in 2000 was mainly divided into the following subtasks:

- kraft pulping of different parts of pine stemwood,
- characterization of physical properties of birch wood, and
- kraft pulping of birch wood.

The laboratory-scale cooking experiments indicated that no significant differences in properties of bleached pine kraft pulps from first-thinning and industrial feedstock were found. The results also suggested that prior to delignification, with respect to papermaking properties, a proper fractionation of stemwood (i.e., in the short-fiber inner and long-fiber outer parts) offers some benefits. Several birch wood samples were analysed in terms of average fiber length and fiber length distribution within stemwood. The data obtained confirmed a generally known trend that, for example, average fiber length increases towards the outer parts of the stem. In addition, variations in chemical composition within the birch stemwood were determined.

1. Tausta

Ensiharvennusikäiset metsät ovat merkittävä teollisuuden raaka-ainevarasto /Hakkila et al. 1998/. Puunkäytön lisästarve Suomessa edellyttäisi ensiharvennushakkuista saatavan puumateriaalin tehokkaan hyödyntämisen. Toisaalta ensiharvennusten vuosittainen tarve on 250 000 ha, joka vastaa noin 10 milj. m³ vuotuista runkokuun poistumapotentiaalia. Männyn osuus on noin 60 % ensiharvennettavasta puustosta. Vuosittaisten ensiharvennushakkuiden toteutumaksi on arvioitu vain noin 3 milj. m³. Teolliseen käyttöön korjattu kotimaisen puun määrä oli vuonna 1999 noin 56 milj. m³ (puunkasvu 75 milj. m³ ja nettotuonti 12 milj. m³) /Anon. 2000/. Kemiallinen metsäteollisuus käyttää puuraaka-ainetta vuosittain noin 40 milj. m³.

Ensiharvennus pohjaisen puuvarannon hyödyntäminen merkitsisi kuitenkin korjuumenetelmien tehostamista entisestään ja tarvetta selvittää entistä laajemmin harvennuspuun soveltumista teollisen energiatuotannon ohella selluloosamassan valmistuksen raaka-aineeksi. Viimeksi mainitussa tapauksessa olisi merkittävää tutkia erityisesti ensiharvennuspuun ja nykyisin käytettävän teollisen kuitupuun välisiä ominaisuuseroja sekä verrata keskenään kyseisiin raaka-aineisiin pohjautuvien kuitutuotteiden valmistusta (esim. sulfaattikeiton saanto sekä massan jäännösligniinipitoisuus ja valkaistavuus) ja lujuusominaisuuksia. Lisäksi projektin alussa käytettävissä olevan tiedon perusteella voitiin olettaa, että ensiharvennuspuun tehostettu hyödyntäminen näyttäisi edellyttävän kyseisen puumateriaalin tarkoituksenmukaisen fraktioinnin.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mänty- ja koivuensiharvennuspuumateriaalien soveltuvuutta niiden suoraa energiantuotantoa korvaavan kemiallisen massanvalmistuksen raaka-aineiksi. Lisäksi pyrittiin selvittämään tiettyjen fyysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien vaihtelua kyseisten harvennusraaka-aineiden runkokuuosassa. Analyysitietämystä oli tarkoitus käyttää hyväksi etsittäessä mahdollisuuksia kehittää puumateriaalin tehostetun hyödyntämisen arviointiin ja mahdolliseen teolliseen fraktiointiin soveltuvia spektroskooppisia menetelmiä.

3. Toteutus

Tutkimushanke toteutettiin 1.5.1999–23.1.2001 välisenä aikana Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen soveltavan kemian osastolla. Yhteistyötä tehtiin VTT Energian, UPM-Kymmene Oyj:n ja Jyväskylän Teknologiateollisuuden Oy:n kanssa. Hanke oli jatkoa Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) rahoittamalle Bioenergian tutkimusohjelman projektille "Ensiharvennuspuun hyödyntäminen -133", joka tehtiin aikavälillä 15.7.1996–31.12.1998 yhteistyössä VTT Energian (Jyväskylä) kanssa. Tässä yhteydessä raportoidaan kuitenkin ensisijaisesti tutkimustuloksia vain vuoden 2000 osalta. Projektiin liittyen on valmistunut loppuraportti (28.2.2001) "Mänty- ja koivuensiharvennuspuun hyödyntäminen sellu- ja paperiteollisuuden raaka-aineena".

4. Tehtävä

Projektin tehtävät jaettiin seuraaviin osakokonaisuuksiin:

- Ensiharvennusmänty tutkimus
 - sulfaattikeitot
 - valkaisut
 - tuotteiden lujuusominaisuudet
- Ensiharvennuskoivu tutkimus
 - sulfaattikeitot
 - valkaisut
 - tuotteiden lujuusominaisuudet.

5. Tulokset

5.1 Ensiharvennusmänty tutkimukset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ensiharvennusmäntyrunгон eri osista valmistetun sulfaattimassan soveltumista hienopaperin raaka-aineeksi. Lisäksi tutkittiin ECF-valkaisun ja jauhatuksen vaikutusta ensiharvennusmäntysulfaattimassan paperitekniisiin ominaisuuksiin. Tutkimus jakautui viiteen osaan:

- sulfaattikeitot
- ECF-valkaisut
- jauhatus
- laboratorioarkkien ominaisuuksien analysointi ja
- ominaisuuksien analysointi hienopaperin koostumusreseptin mukaan valmistetuista laboratorioarkeista.

Tutkittavina ensiharvennuspuina käytettiin Keski-Suomessa puolukkatyyppisellä paikalla kasvaneita noin 30-vuotiaita mäntyjä (*Pinus sylvestris*). Ensiharvennusmäntyä tutkittiin sekä kokopuuna (K) että jaettuna rungon säteen suunnassa kuidunpituuden mukaan pitkäkuituiseen pinta- (P) ja lyhytkuituiseen sisäpuufraktioon (S). Kaikki kolme haketyyppiä sekä Pietarsaaresta UPM-Kymmenen tehtailta saatu vertailuhake kuidutettiin keittämällä ne sulfaattimassaksi (V1). Sulfaattikeiton olosuhteet olivat seuraavat: aktiivialkali 30 % (NaOH:na laskettuna), sulfiditeetti 40 % ja paineaika 85 minuuttia maksimilämpötilassa 170 °C. Massat valkaistiin OD₀EoD₁EpD₂-sekvenssillä Pietarsaareissa UPM-Kymmene Pulp Centerissä. Toiseksi vertailumassaksi saatiin Pietarsaaren UPM-Kymmenen tehtailta teollisuusprosessin läpikäynyttä ECF-valkaistua havumassaa (V2). Valkaisun jälkeen jokainen massa jauhettiin Jämsänkoskella Genecorin tehtailta PFI-jauhimmella käyttämällä kierroksia 0, 200, 900, 4000 ja 8000. Kaikista jauheista näytteistä mitattiin SR-luku ja valmistettiin laboratorioarkeja. Arkeista analysoitiin stardardien mukaisesti Jyväskylässä VTT Energiassa seuraavat ominaisuudet: neliömassa, paksuus, karheus, opasiteetti, vaaleus, repäisy- ja vetolujuus.

Taulukon 1 ja kuvan 1 perusteella ensiharvennusmännystä valmistetut ECF-valkaistut ja jauhetut massat poikkesivat paperiteknisiltä ominaisuuksiltaan vertailumassoista (V1 ja V2) seuraavasti:

- nopeampi jauhautuminen eli sama vetolujuus pienemmällä jauhatusmäärällä
- tiheämpi ja sileämpi arkki
- hyvä valonsirontakerroin ja opasiteetti sekä
- suurempi vetolujuus ja pienempi repäisylujuus.

Ensiharvennusmassojen ja vertailumassojen järjestykset (ominaisuuksien paremmuuden tai suuruuden mukaan) mitattujen ominaisuuksien mukaan olivat: tiheys ($S > K > P > V2, V1$), sileyks ($S > K > V1, V2 > P$), opasiteetti ($S > K > V2 > V1 > P$), vetolujuus ($S > K > V2 > P > V1$) ja repäisylujuus ($V2 > P > V1, K > S$).

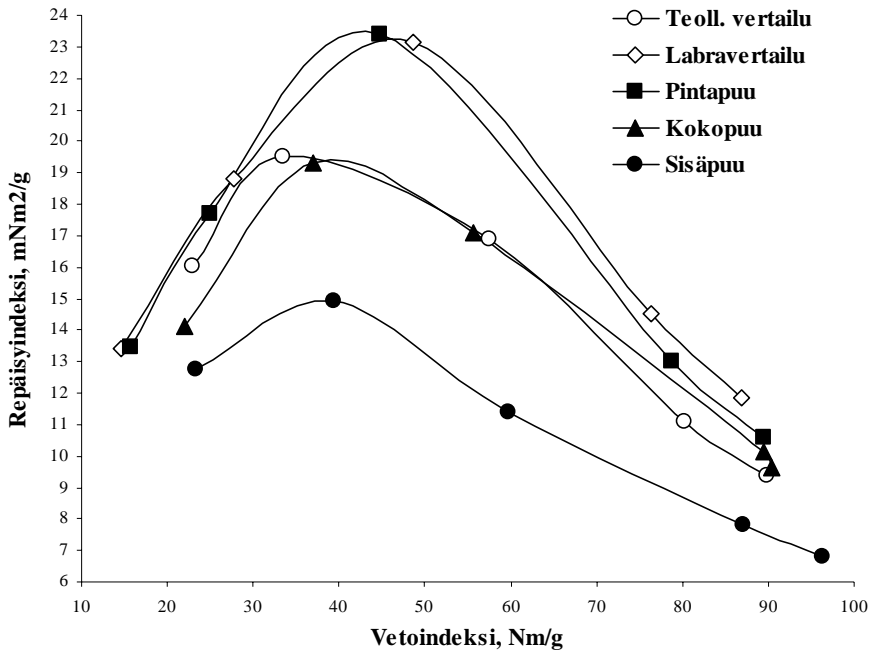
Taulukko 1. Pietarsaaressa ECF-valkaistujen massojen paperitekniset ominaisuudet vetoindeksissä 70 Nm/g.

Näyte	PFI-kierros-luku	SR-luku	Tiheys kg/m ³	Bulkki cm ³ /g	Karheus ml/min	Opasiteetti %	Valonsironta-kerroin m ² /kg	Vaaleus B(ISO)	Repäisyindeksi mNm ² /g
V1	3297	18.0	584	1.72	1484	64.8	22.1	84.2	16.4
V2	2606	22.0	574	1.74	1437	63.7	22.2	86.3	13.7
K	2221	17.0	590	1.69	1368	66.3	24.3	84.3	14.1
P	3207	17.5	605	1.65	1695	62.5	20.4	83.9	15.7
S	2065	19.5	643	1.56	1183	67.8	25.3	84.0	10.0

V1 on laboratoriossa UPM-Kymmenen Pietarsaaren tehtailta saadusta havuhakkeesta keitetty massa

V2 on UPM-Kymmenen Pietarsaaren tehtaan ECF-valkaistua havuselluloosaa

Ensiharvennusmännynäytteet ovat kokopuumassaa (K), pintapuumassaa (P) ja sisäpuumassaa (S)



Kuva 1. Pietarsaassa ECF-valkaistujen ensiharvennuskänty- ja vertailumassojen repäisyindeksit vetoindeksin funktiona.

Kuvasta 1 havaitaan pintapuun massan lujuuksien olevan laboratorioissa valkaistun Pietarsaaren tehtaan havuhakkeesta keitetyn vertailumassan tasolla. Kokopuumassan lujuudet ovat teollisuusmassan kanssa samalla tasolla. Lisäksi voidaan huomata, että teollisuusprosessit vaikuttavat massan ominaisuuksiin voimakkaammin kuin laboratoriokeitot. Jos ensiharvennuskäntymassojen lujuuksien oletetaan heikkenevän teollisuusprosessin aikana vertailumassan tavoin, pintapuun massassa olisi lujuuksiltaan yhtä hyvää teollisuusmassan kanssa ja kokopuumassassa vertailumassojen heikompaa. Fraktioitua pintapuun massaa voitaisiin siis mahdollisesti soveltaa armeerausmassaksi hienopaperiin.

Hienopaperin reseptin mukaisesti tehdyissä arkeissa käytettiin valkaistun ensiharvennuskäntymassan pitkäkuituista pintaosaa tai kokopuuta korvaamaan hienopaperin käntymassaa loppuosan ollessa teollisuusvalmisteista koivu- tai käntymassaa. Sisäpuun massalla korvattiin sekä hienopaperin känty- että koivumassaa. Perusarkkina käytettiin arkkiä, jossa oli koivumassaa 50 % ja käntymassaa 50 %. Vertailunäytteinä käytettiin hienopaperin reseptin mukaisia arkkeja koivu-

massa/mäntymassa-suhteen ollessa 50/50, 60/40 ja 70/30. Seosarkkien valmistamiseen käytetyt ensiharvennismäntymassat olivat jauhamattomia, laboratoriossa OD₀E₁D₁E₂D₂-sekvenssillä valkaistuja massoja. Teollisuusmassoina käytettiin Metsä-Serlan Kankaan paperitehtaalta saatuja kuivattuja, valkaistuja ja jauhamattomia mänty- ja koivumassoja. Taulukossa 2 on esitetty hienopaperia vastaavien arkkien prosenttikoostumukset. Arkeista analysoitiin stardardien mukaisesti Jyväskylässä VTT Energiassa seuraavat ominaisuudet: neliömassa, paksuus, karheus, opasiteetti, vaaleus sekä repäisy- ja vetolujuus.

Taulukko 2. Hienopaperia vastaavien koearkkien valmistamiseen käytettyjen massalajien prosenttiosuudet. Ko = koivumassa, M = mäntymassa, K = ensiharvennuspuusta (kokopuu) valmistettu sulfaattimassa, P = ensiharvennismännyn pintapuusta valmistettu sulfaattimassa ja S = ensiharvennismännyn sisäpuusta valmistettu sulfaattimassa. Luvut lyhenteiden perässä tarkoittavat kyseisen massan prosenttiosuutta arkissa.

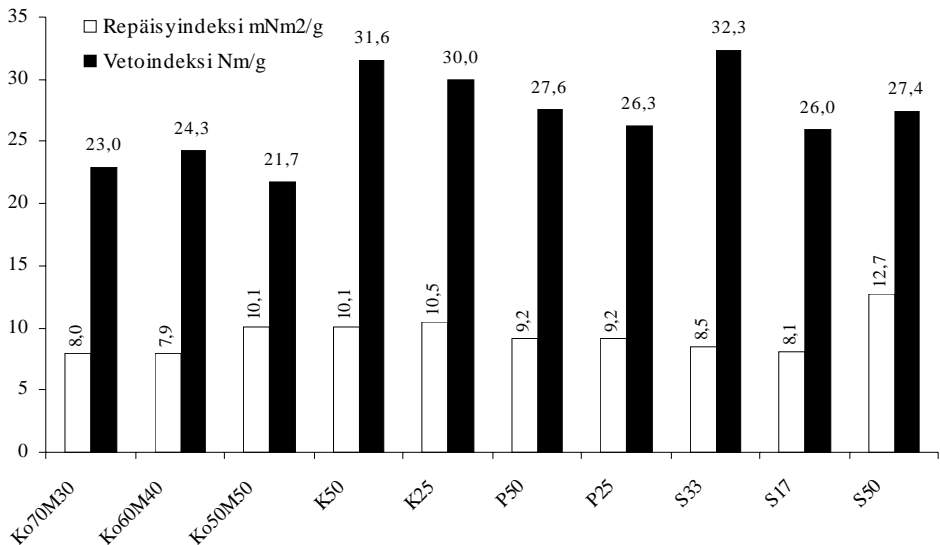
Sulppu	Koivumassa %	Mäntymassa %	Ensiharvennismäntymassa		
			K %	P %	S %
Ko70M30	70	30	-	-	-
Ko60M40	60	40	-	-	-
Ko50M50	50	50	-	-	-
K50	50	-	50	-	-
K25	50	25	25	-	-
P50	50	-	-	50	-
P25	50	25	-	25	-
S33	50	17	-	-	33
S17	50	33	-	-	17
S50	-	50	-	-	50

Taulukosta 3 ja kuvasta 2 havaitaan, että hienopaperin reseptin mukaan valmistetuista koearkeista saatiin parempia tuloksia käytettäessä arkeissa kokopuumassaa kuin pintapuumassaa. Kokopuumassaa sisältävien arkkien ominaisuudet oli-

vat myös vertailunäytteitä parempia. Tämän tutkimuksen mukaan ensiharvennumännyn kokopuuhakkeesta laboratorio-oloissa valmistetun massan lujuus olisi riittävä hienopaperin valmistamiseen. Kokopuumassaa voitaisiin siis soveltaa ilman fraktiointia paperin raaka-aineeksi.

Taulukko 3. Hienopaperin koostumusprosentin mukaan tehtyjen arkkien paperiteknisten ominaisuuksien keskiarvot (lyhenteet, kts. taulukko 2).

Sulppu	Neliö- massa g/m ²	Paksuus mm	Tiheys kg/m ³	Bulkki cm ³ /g	Karheus ml/min	Opasiteetti %	Valonsironta- kerroin m ² /kg	Vaaheus B(ISO)	Repäisy- indeksi mNm ² /g	Veto- indeksi Nm/g
Ko70M30	67,5	0,116	582	1,72	664	72,0	28,8	86,0	8,0	23,0
Ko60M40	63,4	0,110	576	1,74	665	72,2	28,1	85,1	7,9	24,3
Ko50M50	65,3	0,113	577	1,73	874	76,7	32,2	86,1	10,1	21,7
K50	66,3	0,107	622	1,61	363	74,7	33,0	85,5	10,1	31,6
K25	65,8	0,110	596	1,68	398	75,6	35,0	86,0	10,5	30,0
P50	65,2	0,108	605	1,65	479	73,5	32,0	85,9	9,2	27,6
P25	64,7	0,111	586	1,71	456	75,8	35,8	86,2	9,2	26,3
S33	63,7	0,104	612	1,63	369	74,8	34,4	85,9	8,5	32,3
S17	61,7	0,107	577	1,73	426	75,3	36,3	86,0	8,1	26,0
S50	60,2	0,104	581	1,72	511	72,6	33,0	85,7	12,7	27,4



Kuva 2. Hienopaperia vastaavien arkkien repäisy- ja vetoindeksit.

Samoissa keitto-oloissa ensiharvennusmäntymassan saanto oli hieman pienempi kuin teollisuuden havuhakkeesta valmistetun vertailumassan. Fraktioiden kesken pienin saanto ja suurin rejekti oli sisäpuumassalla. Sulfaattimassan ligniinipitoisuus oli ensiharvennusmäntymassalla pienempi kuin vertailumassalla. Valkaistavuus oli samaa luokkaa vertailumassan kanssa. Ensiharvennusmassan saantoa voisi kuitenkin parantaa keittämällä se erilaisissa olosuhteissa kuin teollisuudessa havuselluloosa keitetään.

Ensiharvennusmäntyselluloosan kuidut ovat lyhyempiä kuin teollisuuden käyttämän havuselluloosan kuidut, millä on suuri merkitys ensiharvennusmäntyselluloosan paperitekniisiin ominaisuuksiin. Ensiharvennusmännyn rungon kuidunpituuden sisäisellä vaihtelulla oli myös merkitystä paperitekniisiin ominaisuuksiin. Pitkäkuituisella pintapuumassalla oli hyvät lujuudet kun taas lyhyempikuituisella sisäpuumassalla oli hyvät optiset ominaisuudet sekä sileys. Puun fraktiointi osiin voi tulla kysymykseen, jos jotain tiettyä ominaisuutta tarvitaan tietyn paperilajin valmistamiseen. Läpimitaltaan pienen ensiharvennusmännyn fraktiointi voi kuitenkin muodostua hankalaksi ja kalliiksi. Ensiharvennusmännyn sekä erityisesti pintapuumassan lujuus riittää hienopaperin armeerausmassaksi. Ensiharvennusmäntymasa lyhytkuituisena soveltuu myös hienopaperissa koivuselluloosan korvaamiseen. Ajettavuuden kannalta tärkeitä ominaisuuksia, kuten märkä- ja pintalujuutta sekä murtositkeyttä, tulisi kuitenkin tutkia vielä lisää. Fraktioimattoman ensiharvennusmäntymassan paperitekniset ominaisuudet soveltuvat mm. seuraaviin paperilajeihin: hienopaperi, taivekartonki sekä hionta- ja pehmo-paperi.

5.2 Ensiharvennuskoivututkimukset

Sulfaattikeittokokeilla tutkittiin ensiharvennuskoivujen soveltuvuutta kemiallisen massan ja paperin valmistuksen raaka-aineeksi. Lisäksi selvitettiin, onko ensiharvennusikäisillä hies- ja rauduskoivuilla eroja massan raaka-aineena ja onko vaikutusta hakkeen puunsisäisellä alkuperällä (ts. miltä korkeudelta runkoa hake valmistettiin) vaikutusta. Tutkimus jakaantui edelleen kolmeen osaan:

- sulfaattikeitot
- ECF-valkaisut ja
- laboratorioarkkien ominaisuuksien analysoinnit.

Tutkittavina ensiharvennuskoivuina oli 12 hies- (H) ja 12 raudus- (R) koivua. Rungot haketettiin sulfaattikeittokokeita varten. Sekä hies- että rauduskoivun tapauksessa 12 näytepuun hakkeet yhdistettiin korkeudelta 0–1 m näytteiksi H1 ja R1, korkeudelta 1–2 m näytteiksi H2 ja R2 sekä korkeudelta 2–3 m näytteiksi H3 ja R3. Näiden lisäksi otettiin seitsemäs hakenäyte, joka edusti tavallista teollista koivuhaketta (referenssi).

Hieskoivut olivat peräisin Keski-Suomesta mustikkatyypin kankaalta ja rauduskoivut Keski-Pohjanmaalta isovarpuiselta rämeeltä. Tyvikiekoista laskettujen vuosirenkaiden perustella hieskoivut olivat keskimäärin 27 vuotta ja rauduskoivut 21 vuotta vanhoja.

Sulfaattikeittokokeiden tarkoituksena oli selvittää ensiharvennuskoivusta valmistetun massan paperitekniisiä ominaisuuksia. Keittokokeet tehtiin konventionaalisella laboratoriomitan (18 l) pyörivällä lämpövaippakeittimellä. Tavoitteena keitoissa oli kappaluku 20 ja mahdollisimman hyvä saanto. Sulfaattikeitoissa käytettiin seuraavia olosuhteita:

- keittolämpötila 160 °C
- paineaika 70 min
- sulfiditeetti 35 %
- aktiivialkali 23 % (NaOH:na)
- neste/puu-suhde 4,5 l/kg
- hakeannostus 2500 g (abs. kuivaa)
- teoreettinen H-tekijä n. 600.

Massojen valkaisu (OD₀E₀D₁E_pD₂) ja jauhatukset tehtiin Pietarsaaressa UPM-Kymmene Pulp Centerissä. Valkaistut massat jauhettiin PFI-jauhimmalla käyttämällä kierroksia 0, 250, 500, 1000, 2500. Kaikista jauhetuista massoista mitattiin SR-luku ja keskimääräiset kuidunpituudet. Kuidunpituuden muutos massan valmistuksen aikana on selvitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kuidunpituuden muutos massanvalmistuksen aikana.

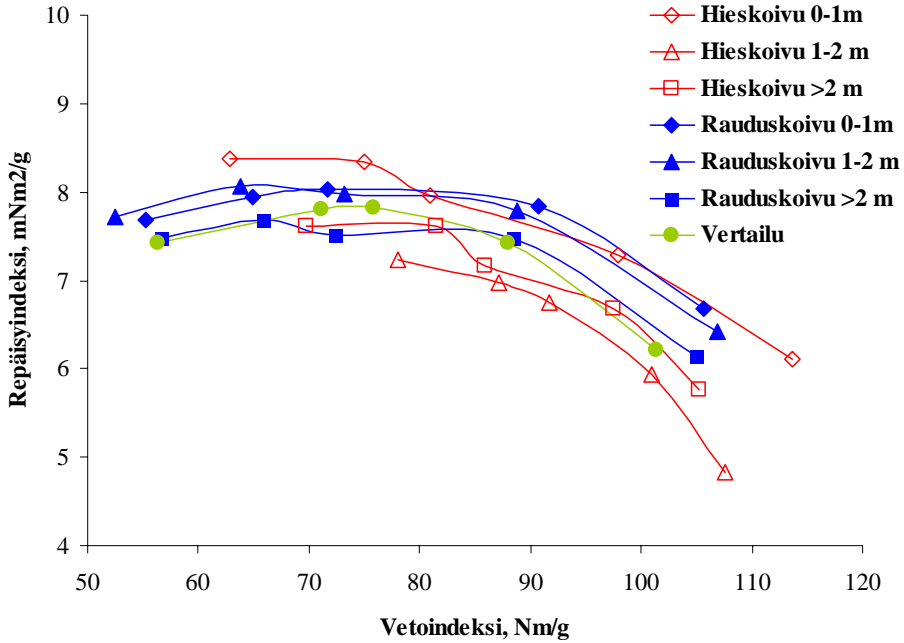
Näyte	Maseroitu, mm	Ruskea massa, mm	Valkaistu massa, mm
H1	1.00	0,85	0,76
H2	0,93	0,82	0,79
H3	0,97	0,83	0,80
R1	0,89	0,79	0,77
R2	0,98	0,77	0,75
R3	0,95	0,77	0,74
Ref.		0,82	0,77

Arkit analysoitiin standardien mukaisesti Jyväskylässä VTT Energiassa. Pietarsaarella tehdyistä laboratorioarkeista määritettiin seuraavat ominaisuudet: neliömassa, paksuus, karheus, opasiteetti, vaaleus, repäisyindeksi sekä vetoindeksi. Mittaustuloksista lasketut keskiarvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Mittaustulosten keskiarvot.

Näyte	Kierros- luku	SR-luku	Neliö- massa g/m ²	Paksuus mm	Tiheys kg/m ³	Bulkki cm ³ /g	Karheus alapuoli ml/min	Karheus yläpuoli ml/min	Opasitetti %	Vaaleus B(ISO)	Veto- indeksi Nm/g	Repäisy- indeksi mNm ² /g
H1	0	19.0	65.1	0.079	824	1.21	103.8	470.6	65.8	85.6	62.8	8.4
H1	250	22.0	65.8	0.079	835	1.20	88.0	507.1	63.9	85.5	75.0	8.3
H1	500	24.0	64.0	0.077	833	1.20	83.2	546.9	61.7	85.1	81.0	8.0
H1	1000	30.0	65.6	0.078	845	1.18	57.1	530.0	59.9	84.3	97.9	7.3
H1	2500	55.0	64.2	0.073	879	1.14	25.8	699.9	52.4	81.6	113.6	6.1
H2	0	25.5	64.7	0.079	818	1.22	74.3	429.6	67.6	80.8	78.1	7.2
H2	250	28.5	65.4	0.078	835	1.20	60.2	446.0	65.7	80.3	87.1	7.0
H2	500	33.5	65.2	0.077	843	1.19	54.1	470.1	63.6	79.5	91.7	6.7
H2	1000	45.0	63.3	0.074	857	1.17	31.5	560.4	59.1	78.2	100.9	5.9
H2	2500	77.5	63.5	0.071	895	1.12	29.1	746.0	48.7	73.1	107.6	4.8
H3	0	22.0	64.6	0.079	813	1.23	92.3	438.7	67.8	84.8	69.8	7.6
H3	250	24.5	65.1	0.079	820	1.22	75.7	447.4	65.8	84.4	81.4	7.6
H3	500	27.0	63.3	0.076	832	1.20	71.4	485.6	63.0	84.0	85.9	7.2
H3	1000	33.5	65.3	0.076	859	1.16	49.5	542.7	60.8	83.2	97.5	6.7
H3	2500	64.0	65.0	0.073	888	1.13	23.6	727.0	52.5	80.1	105.2	5.8
R1	0	20.5	64.8	0.084	774	1.29	122.2	470.8	67.7	86.5	55.3	7.7
R1	250	23.0	66.6	0.073	800	1.25	102.9	507.8	66.2	86.2	64.9	7.9
R1	500	25.0	65.4	0.081	807	1.24	92.1	526.4	63.9	85.8	71.7	8.0
R1	1000	33.0	66.4	0.079	837	1.19	58.9	544.4	61.0	84.9	90.7	7.8
R1	2500	64.0	64.4	0.074	865	1.16	26.1	725.9	53.2	82.4	105.7	6.7
R2	0	20.0	64.6	0.081	796	1.26	102.1	418.7	67.7	85.4	52.5	7.7
R2	250	23.5	65.9	0.081	811	1.23	87.2	469.5	66.1	85.0	63.8	8.1
R2	500	25.0	65.1	0.080	817	1.22	81.0	558.5	64.2	84.6	73.2	8.0
R2	1000	33.5	64.9	0.077	840	1.19	53.1	538.7	61.3	83.6	88.8	7.8
R2	2500	66.0	64.0	0.074	870	1.15	26.9	687.2	52.1	79.8	106.9	6.4
R3	0	20.5	64.2	0.082	784	1.28	107.7	429.8	67.7	83.2	56.7	7.5
R3	250	24.0	64.5	0.081	795	1.26	90.1	461.4	66.5	82.3	65.9	7.7
R3	500	27.0	64.1	0.080	804	1.24	80.6	496.3	64.3	82.0	72.3	7.5
R3	1000	34.0	64.7	0.078	830	1.20	52.9	541.3	61.3	81.3	88.4	7.5
R3	2500	66.0	64.2	0.073	877	1.14	24.7	745.9	51.4	77.5	104.9	6.2
Ref.	0	19.0	64.9	0.081	805	1.24	109.5	563.6	66.9	86.6	56.4	7.4
Ref.	250	22.0	66.5	0.081	819	1.22	93.2	465.9	65.7	86.0	71.1	7.8
Ref.	500	23.0	65.6	0.080	825	1.21	94.0	502.5	63.4	85.5	75.8	7.8
Ref.	1000	28.5	65.1	0.078	835	1.20	70.0	621.7	60.2	84.8	87.9	7.4
Ref.	2500	55	64.1	0.074	861	1.16	25.3	722.1	52.7	81.8	101.4	6.2

Lujuusominaisuuksien tulkinna helpottamiseksi on piirretty kuva 3, jossa repäisyindeksi on esitetty vetoindeksin funktiona. Tuloksista havaitaan, ettei näytteiden välillä ollut merkittäviä eroja lujuusominaisuuksissa. Ainoa vetoindeksiin liittyvä ero oli, että hieskoivumassoilla esiintyi heti alussa ennen jauhatusta paremmat vetolujuudet.



Kuva 3. Repäisyindeksi vetoindeksin funktiona.

Tulosten perusteella ennustettiin mitatut suureet vetoindeksissä 70 Nm/g. Tällöin eri raaka-aineista tehtyjen arkkien välisiä eroja voitiin verrata keskenään. Lasketut arvot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Tutkittujen massojen paperitekniset ominaisuudet vetoindeksissä 70 Nm/g.

		H < 1m	H 1-2 m	H > 2 m	R < 1m	R 1-2 m	R > 2 m	Vertailu
PFI kierrosluku		112	< 0	0	419	450	411	184
SR-luku		19,6	25,6	22,0	24,5	24,6	26,0	21,4
Paksuus	mm	0,081	0,081	0,079	0,083	0,081	0,082	0,083
Tiheys	kg/m ³	828	805	813	804	815	799	817
Bulkki	cm ³ /g	1,19	1,24	1,23	1,24	1,23	1,25	1,22
Karheus alapuoli	ml/min	95,6	87,8	92,3	95,7	79,9	84,2	99,8
Karheus yläpuoli	ml/min	490	457	439	497	503	465	457
Opasiteetti	%	64,7	71,269	67,8	65,1	64,8	66,0	65,5
Vaaleus	B(ISO)	85,4	80,9	84,8	85,9	84,9	82,5	86,1
Repäisyindeksi	mNm ² /g	8,5	7,1	7,6	8,0	8,3	7,8	7,7

Keittokokeissa havaittiin, että ensiharvennuskoivut soveltuvat hyvin sulfaattimassan valmistukseen. Ylikeittyminen oli suurin ongelma pyrittäessä keittämään massaa tavoitekappalukuun 20. Poikkeuksena oli näyte H2, jonka kappaluku jäi hieman korkeaksi. Saannon kannalta ensiharvennuskoivuhakkeet osoittautuivat hieman huonommaksi raaka-aineeksi kuin vertailuhake.

ECF-valkaisu onnistuivat kohtuullisen hyvin. Tietyn ongelman muodosti joidenkin valkaisuvaiheiden heikko sekoitus, mikä aiheutti epätasaisuutta valkaisuissa. Sekoitusta olisi voitu tietyissä määrin parantaa, mutta silloin kuidut olisivat kärsineet, mikä olisi puolestaan heikentänyt massojen lujuusominaisuuksia. Näytteen H2 valkaisu epäonnistui, johon suurimpana syynä oli sen muihin massoihin verrattuna korkeampi lähtökappale. Korkea kappaluku tosin huomioitiin jo valkaisu kemikaaleja annosteltaessa. Massan valmistuksessa havaittiin, että kuidunpituus lyheni laboratorioprosessin aikana enemmän kuin normaalisti teollisuusprosessissa. Tähän suurimpana syynä oli ilmeisesti massojen homogenointiin käytetty laboratoriomenetelmä.

PFI-jauhatuksessa havaittiin, että ensiharvennuskoivunäytteet jauhautuivat huomattavasti suurempiin SR-lukuihin samalla kierrosmäärällä kuin referenssinäyte. Toisin sanoen ensiharvennuskoivunäytteille saatiin sama jauhatustaso kuin referenssinäytteille pienemmällä jauhatuksen määrällä.

6. Tulosten hyödyntäminen

Ensiharvennusmäntyselluloosan kuidut ovat lyhyempiä kuin teollisuuden käyttämän havuselluloosan kuidut, millä on suuri merkitys ensiharvennusmäntyselluloosan paperitekniisiin ominaisuuksiin. Projektissa tutkitun ECF-valkaistusta ensiharvennusmäntymassasta valmistetun paperin tärkeimpiä ominaisuuksia olivat sileä pinta, tiheys, opasiteetti, kimmokerroin sekä vetolujuus. Ensiharvennusmännyn rungon kuidunpituuden sisäisellä vaihtelulla oli merkitystä rungosta valmistetun kemiallisen massan paperitekniisiin ominaisuuksiin. Pitkäkuituisella pintapuomassalla oli hyvät lujuudet, kun taas sitä lyhyempikuituisella sisäpuumassalla oli hyvät optiset ominaisuudet sekä sileys. Puun keittoa edeltävä fraktiointi voi tulla kysymykseen, jos jotain tiettyä ominaisuutta tarvitaan määrätyn paperilajin valmistamiseen. Ensiharvennusmännyn ja erityisesti pintapuomassan lujuus riittää hienopaperin armeerausmassaksi. Ajettavuuden kannalta tärkeitä

ominaisuuksia, kuten märkä- ja pintalujuutta sekä murtositkeyttä, tulisi kuitenkin vielä tutkia lisää. Ensiharvennusmääntymässä lyhytkuituisena soveltuu myös hienopaperissa koivuselluloosan korvaamiseen. Lämpimältä pienen ensiharvennusmännyn fraktiointi voi muodostua hankalaksi ja kalliiksi. Fraktioimattoman ensiharvennusmääntymässä paperitekniset ominaisuudet soveltuvat seuraaviin paperilajeihin: hienopaperi ja taivekartonki sekä hionta- ja pehmopaperi.

Koivumassoista valmistettuja arkkeja analysoitaessa havaittiin lujuusominaisuuksien osalta, etteivät ensiharvennuskoivuarkit poikenneet vertailuarkkien lujuusominaisuuksista. Ensiharvennusraudus-koivusta tehtyjen arkkien repäisyjuudet olivat hieman parempia kuin ensiharvennushieskoivuista valmistettujen arkkien. Arkeissa ei myöskään havaittu optisten ominaisuuksien osalta juurikaan eroja eri koivulajien välillä. Ainoa ero, joka optisissa ominaisuuksia mitattaessa todettiin oli se, että ensiharvennusrauduskoivumassa vaaleus parani raaka-aineen ollessa peräisin ylempää rungonsuunnassa. Hieskoivumassa-arkit olivat tiheämpiä kuin rauduskoivumassa-arkit. Syy tähän havaittiin, kun laskettiin kaikki paperitekniset ominaisuudet vetoindeksissä 70 Nm/g. Tällöin samalla todettiin, että ensiharvennushieskoivu jauhautui huomattavasti helpommin kuin muut näytteet.

Saatujen tulosten perusteella ensiharvennuskoivu soveltuu yhtä hyvin raaka-aineeksi sulfaattiselluloosan valmistukseen kuin täysikasvuinen koivu. Ainoana selkeänä erona havaittiin ensiharvennuskoivun pienempi jauhatuksen tarve. Ensiharvennuskoivuissa ei havaittu tutkitulla korkeusalueella kuin pieniä pituus-suuntaisia eroja. Jatkotutkimuksissa kannattaisi tämän takia selvittää rungonsuunnassa suurempaa näytteenottoväliä käyttäen järkevän hyötykäytön yläraja.

7. Jatkosuunnitelmat

Projekti päättyi vuoden 2000 lopussa. Aiheeseen liittyvä jatkohanke on suunnitella.

8. Projektin raportit ja yhteenvetojulkaisut

Myyryläinen, R. 1999. Ensiharvennuspuun soveltuminen hienopaperin valmistamiseen. Erikoistyö. Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto, 90 s.

Toivanen, J. 1999. Puumateriaalin koostumuksen ennustaminen FTIR/PLS-menetelmällä. Lisensiaatintutkimus. Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto, 64 s.

Marttina, M. 2000. Ensiharvennusmäntynäytteiden ja niistä valmistettujen sulfaattimassojen kuidunpituusjakauma. Lisensiaatintutkimus. Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto, 95 s.

Alén, R., Marttina, M., Parikka, T., Rautiainen, R. & Toivanen, J. 2000. Ensiharvennuspuun hyödyntäminen – PUUT06. Kirjassa: Alakangas, E. (toim.) Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. Espoo. S. 167–183.

Alén, R., Marttina, M., Parikka, T., Rautiainen, R. & Toivanen, J. 2001. Ensiharvennuspuun hyödyntäminen – PUUT06. Loppuraportti. 47 s.

9. Kirjallisuus

Anon. 2000. Key to the Finnish Forest Industry, Finnish Forest Industries Federation, Helsinki, 108 s.

Hakkila, P., Rieppo, K. & Kalaja, H. 1998. Ensiharvennuspuun erilliskäsittely tehdasvarastolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 700, 40 s.

Erilaisten korjuuketjujen tuottaman metsähakkeen käyttö suurten voimaloiden leijukerroskattiloissa – PUUT08

Markku Orjala & Riikka Ingalsuo

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014-672 534, faksi 014-672 597

e-mail: Markku.Orjala@vtt.fi, Riikka.Ingalsuo@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Utilisation of forest chips, produced with different harvesting chains, in fluidised bed boilers of large power plants

When combusting wood fuels the chemical composition of wood fuels can cause fouling and high-temperature corrosion of the heat transfer and superheater surfaces of the boiler. Problems are caused especially by forest chips, which include high quantities of needles and thin branches. Even though low alkali metal and chlorine contents are typical for wood fuels, the problem is that they are easily vaporised during combustion. Depending on the combustion conditions, the alkali metals can be oxidised to alkali metal oxides or they can form sulphates or chlorides. When combustion pure wood the sulphur content in combustion process is low and alkali metal compounds form chlorides easily, which can be condensed on the heat transfer surfaces of the boiler and form a significant high-temperature corrosion risk. If the sulphur content of the combustion process is increased e.g. by additional utilisation of peat, the chemistry of alkali metals is directed to formation of alkali metal sulphates instead of chlorides, and the chlorine liberated in the furnace forms gaseous hydrogen chloride (HCl). Hydrogen chloride, formed in combustion of wood fuels, is transferred in low concentrations in flue gases out of the boiler so it does not cause significant chlorine corrosion or emission risk.

1. Johdanto

Suomen tärkein uusiutuva polttoaine on puubiomassa. Markkinakelvottoman metsäbiomassan talteenotto energiakäyttöön elvyttää maaseudun elinvoimaisuutta, koska se luo uusia työpaikkoja ja edistää metsien hoitoa. Tekesin Puuenergia teknologiaohjelman metsähakkeen tuotanto- ja käyttötavoitteen saavuttaminen on mahdollista käyttämällä metsähaketta suurten voimaloiden kattiloissa nykyisissä ja uusissa laitoksissa. Energiasisältönä 2 milj. m³ metsähaketta vastaa n. 5 milj. MWh, mikä edellyttää polttoainetehona n. 800 MW lisäkäyttöä. Tämä on mahdollista vain voimalaitoksilla. Metsähakkeen käyttöön vaikuttaa poltetaanko hake yksin tai käytetäänkö sitä muiden polttoaineiden joukossa. Lämpölaitokset sekä metsäteollisuuden ja yhdyskuntien voimalaitokset polttavat metsähakkeen tyypillisesti seoksena muiden polttoaineiden kuten turpeen, metsäteollisuuden puu- ja kuorijätteiden, lietteiden sekä hiilen kanssa.

Metsähakkeen poltto-ominaisuuksiin vaikuttaa sen tuhkan koostumus ja ominaisuudet. Tuhkan koostumus riippuu hakkeen sisältämisestä puun eri lajeista ja puun eri osista: onko mukana puun ylimmät hienot osat sekä onko kyseessä neulaset sisältävä viherhake vai ruskea hake, josta neulaset ja osa hienoimmista oksista ovat karisseet. Ylimmät elävät osat ja kuori sisältävät runsaammin tuhkaa ja niihin on konsentroitunut runsaammin ravinteita ja hivenaineita kuin runkopuuhun.

2. Projektin tavoitteet

Vaikka palamislämpötila leijukerroskattilassa on matala, tuhkan epätoivottu käyttäytyminen aiheuttaa monia ongelmia biopolttoaineita poltettaessa. Näistä tyypillisimmät ovat erityisesti alkalimetallien taipumus muodostaa matalassa lämpötilassa pehmeneviä ja sulavia yhdisteitä, jotka kriittisinä pitoisuuksina aiheuttavat

- pedin agglomeroitumista, joka saattaa johtaa kattilan äkilliseen alasajoon
- kerrostumien muodostumista lämpöpinnoille, joka vaikuttaa lämmönsiirtymiseen savukaasuista höyrypiiriin.

Biopolttoaineilla on havaittu lisäksi joissakin tapauksissa kloorikorroosiota, vaikka kattilaan polttoaineen mukana sisäänmenevä klooripitoisuus on pieni.

Kaikki edellä kuvatut ongelmakohdat vaativat lisäselvitystä, jotta ne voidaan enustaa ajoissa. Viime vuosien tutkimuspanoksesta huolimatta biomassassa olevan epäorgaanisen aineksen roolia pedin sintraantumiseen ja kerrostumien muodostumiseen ei vielä täysin ymmärretä. Pedin sintraantumisen kannalta lisäselvitystä kaivataan erityisesti pedissä esiintyvien paikallisten pelkistävien alueiden sekä pedin sekoittumisen vaikutuksesta pedin agglomeroitumiseen. Pedin huono sekoittuminen saattaa johtaa paikallisiin korkeisiin lämpötiloihin, jolloin on vaarana leijukerroksen paikallinen slagiintuminen. Biomassan helposti vapautuvista alkaleista johtuen pedin sintraantumisongelmaan johtavia syitä on pyrittävä vähentämään mm. polttoaineen syöttöön ja leijukerrosmateriaaleihin liittyvin toimenpitein.

Biopolttoaineissa tulipesäolosuhteissa vapautuvien alkalimetallien kuten kaliumin pitoisuudet ovat selvästi korkeammat kuin turpeessa ja hiilessä, mikä todennäköisesti yhdessä pienienkin klooripitoisuuksien kanssa on jo nyt aiheuttanut korroosio-ongelmia joissakin monipolttoainekattiloissa. Tilanne on aivan viime vuosina vielä jonkin verran pahentunut, koska on alettu polttaa enenevässä määrin myös hakkuutähteitä, jotka luonnostaan sisältävät klooria enemmän kuin puun kuori tai runkoaines.

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää tyypillisimpien ja käyttömääriltään merkittävimpien metsähakelaatujen sekä niiden ja muiden polttoaineiden seoksien turvalliset poltto-olosuhteet aluksi BFB- ja CFB-laboratoriokoelaitteilla. Saatuja tuloksia laboratoriokoelaitteilla demonstroitiin voimalaitoskattiloissa optimaalisilla seosolosuhteilla sekä kierto- ja kerrosleijukattiloille tyypillisissä palamisolosuhteissa ja höyrylämpötiloissa. Puupolttoaineiden aiheuttamaa kuonaantumisen- ja korroosioriskiä selvitettiin kokeiden ja analyysien avulla. Päästöjä pyrittiin minimoimaan ja selvittämään niihin seospoltossa vaikuttavia tekijöitä. Yleisenä tutkimuksen tavoitteena oli edistää puupolttoainepotentiaalin tehokasta hyödyntämistä energiantuotannossa parantamalla erilaisten metsähakelaatujen käytettävyyttä ja tarjota polttoaineen tuotantoketjujen koemateriaaleille poltettavuusmäärittäyksiä.

3. Projektin toteutus

VTT Energian kerros- ja kierto-leijukoelaitteilla tehtiin useita kokeita pelkällä metsätähdehakkeella ja kokopuuhakkeella sekä myös seospolttaen metsätähdehaketta turpeen, kuoren tai siistausjätteen kanssa. Laboratoriokokeiden avulla puupolttoaineille etsittiin sopivia poltto-olosuhteita päästöjen minimoimiseksi, leijuntahäiriöiden vähentämiseksi ja haitallisten kerrostumien muodostumisen estämiseksi. Tärkeä tarkastelun lähtökohta oli mm. metsätähdehakkeen varastointiaika. Sen vaikutuksien selvittämiseksi poltossa koepolttoaineina käytettiin suoraan kaadosta saatua metsätähdehaketta, puolivuotta varastoitua ja puolitoistavuotta varastoitua haketta. Vaikka käytettyjen metsätähdehakkeiden klooripitoisuus on varsin alhainen (0,04 %), haitallisten alkalikloridien muodostumisen riski on silti olemassa. Kerrostumien muodostumista tutkittiin kerros- ja kierto-leijukoelaitteisiin asennetuilla kerrostumasondeilla. Polttoaineen rikki-kloori suhteen vaikutusta kerrostumiin ja savukaasun vetykloridipitoisuuteen (HCl) tutkittiin lisäämällä metsätähdehakkeen sekaan turvetta: rikkipitoisuudeltaan 0,16 % ja 0,41 %.

Voimalaitoskokeet tehtiin syyskuussa 2000 Mikkelissä Pursialan voimalaitoksen kierto-leijukattilalla (CFB, 84 MW_{th}) ja marraskuussa 2000 Tampereella Naistenlahden voimalaitoksen kerrosleijukattilalla (BFB, 190 MW_{th} retrofit). Kierto-leijukattila on erityisesti suunniteltu puun polttoon ja sitä poltetaan turpeen kanssa tavallisesti noin 40 %. BFB-kattilan pääpolttoaineen turpeen kanssa poltetaan tavallisesti 10–15 % puuta: purua, kuorta, metsähaketta. Tärkein kokeissa tutkittava polttoaine oli metsätähdehake, jota poltettiin 15–33 % turpeen tai muun puun seassa tai sellaisenaan pääpolttoaineena. Koetaseiden aikana kerrostumasondin metalliset näyteholkit ja niiden pinnoille muodostuneet kerrostumat analysoitiin SEM-EDS analyysillä.

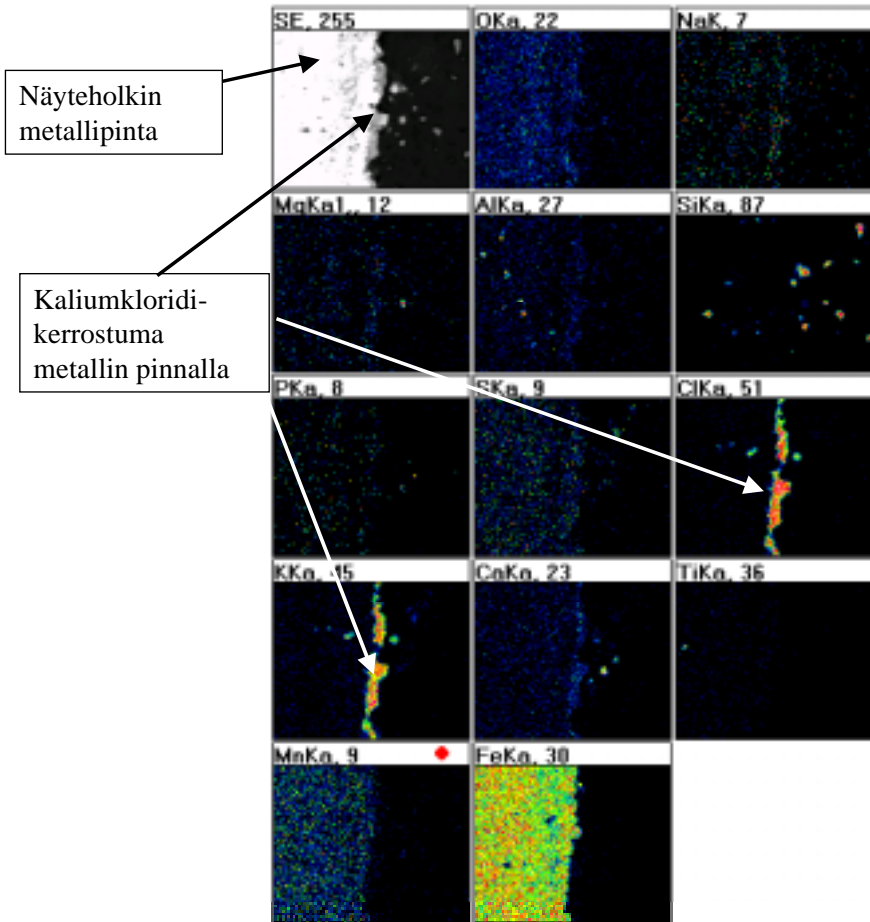
4. Tulokset

4.1 Kerrostumien muodostus ja koostumus laboratoriokeissa

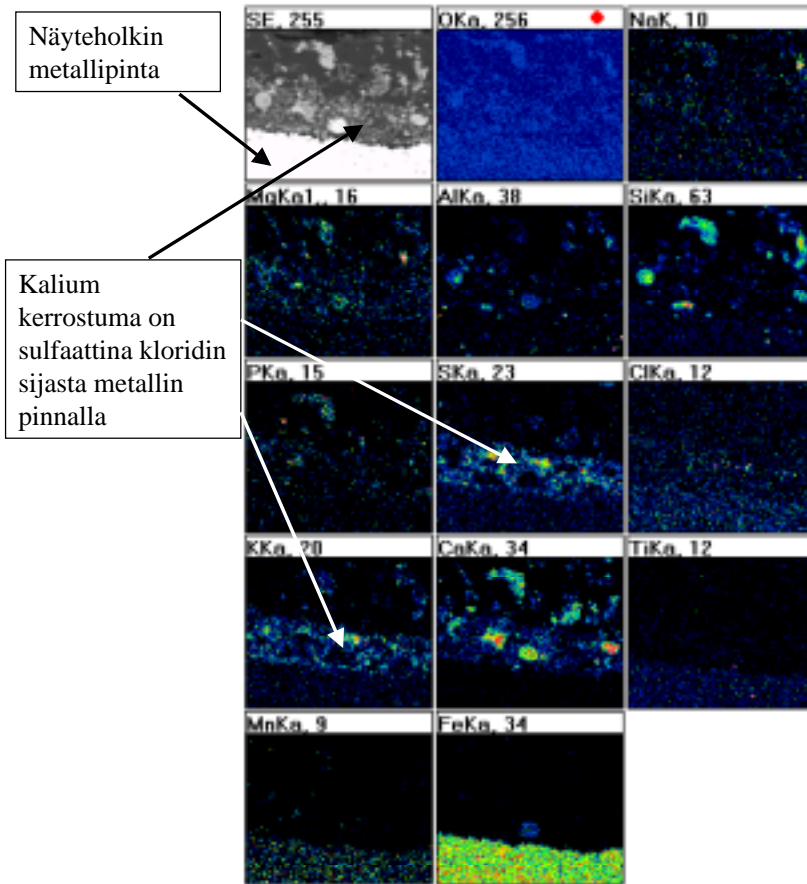
Alkalikloridit ovat matalassa lämpötilassa sulavia suoloja, ja näin muodostavat tahmeita kerrostumia kattiloiden tulistinpinnoille. Tällaisten kerrostumien poistaminen tulistinputkien pinnoilta kattilan nuohustoimenpiteen yhteydessä on hankalaa. Myös alkalisulfaatit saattavat kerrostua lämmönsiirtopinnoille, mutta nämä pystytään nuohouksen avulla yleensä poistamaan selvästi kloridikerrostumia paremmin.

Laboratoriopolttokokeissa havaittiin metsätähdehakkeen aiheuttavan haitallisia alkalikloridikerrostumia, kuva 1. Kun metsätähdehakkeen kanssa poltettiin turvetta, ei vastaavaa alkalikloridikerrostumaa ollut havaittavissa, kuva 2. Rikki- tai turpeen läsnäollessa kloori vapautuu savukaasun mukana kloorivetyä (HCl) eli suolahappohöyryä ja alkalit sitoutuvat rikin kanssa muodostaen sulfaatteja. Kuvassa 1 näkyy selvä KCl/NaCl-kerros keräinputken rajapinnalla. Kloridikerros näyttäisi diffuntoituvan päälimmäisen kerroksen läpi putken pintaan polttojakson aikana. Kuvan 2 tapauksessa on hakkeen kanssa poltettu turvetta 50 % ja KCl/NaCl-kerrosta ei ole havaittavissa.

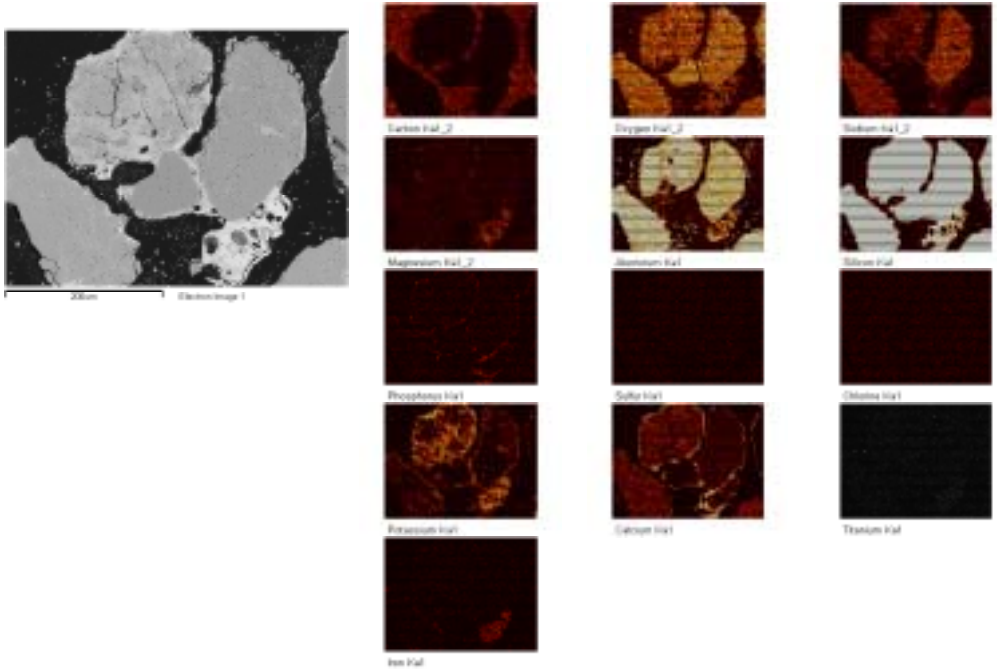
Turpeen lisäkäytöllä pystytään vaikuttamaan leijukerros-poltossa myös kerros- tai kiertomateriaalin käyttäytymiseen. Tutkimuksissa on havaittu, että metsätähdehakkeen poltossa leijukerros-hiekan yhteenliimautumisen seurauksena partikkelikoko kasvaa häiriten leijuntaa. Hake sisältää kalsiumia ja kaliumia, jotka silikaattien kanssa muodostavat agglomeroivia aineita, kuva 3. Pelkkää puuta poltettaessa leijukerrosin sintraantuminen saattaa muodostua ongelmaksi. Ongelmaa pystytään tietysti valvomaan tihentämällä petimateriaalin vaihtoa, mutta tämä luonnollisesti nostaa laitoksen käyttökustannuksia. Metsätähdehakkeen seospolttoturpeen kanssa on suositeltavaa. Arviolta 30–40 %:n turpeen osuudella voidaan parantaa kerrostumien laadun ja leijukerrosin käyttäytymisen hallintaa.



Kuva 1. 650X BEI -röntgenkartta kerrosleijukokeen kerrostumasta pelkän hakkeen poltossa 827 °C:n lämpötilassa. Kerrostuma keräyty jäähdytetylle (480 °C) putkipinnalle. Kalium on kloorin (Cl) kanssa rajapinnalla.



Kuva 2. 330X BEI -röntgenkartta kerrostumasta, kun turvetta ja metsähaketta poltettiin yhdessä lämpötilan ollessa 873 °C. Kerrostuma keräty jähdytetylle (480 °C) putkipinnalle. Rajapinnalla ei näy klorideja.



Kuva 3. BEI-kuva 300X suurennoksella kiertoileijupolton petihiekan agglomeroitumasta, kun metsätähdehaketta poltettiin koelaitteen lämpötilassa 870 °C.

4.2 Voimalaitoskokeet

Eri aikoja varastoitujen hakkeiden laboratoriomittakaavassa saatuja polttotuloksia varmennettiin myös voimalaitoksilla CFB- ja BFB-kattiloissa. Kokeisiin hankittiin mm. selvästi eri ajan varastoituja hakkeita: alle puolivuotta varastoitua ja yli vuoden varastoitua. Kerrostumasondimittauksien näyteholkit, materiaaleiltaan X20, AC 66, SAN 28 ja 10 CrMo 9 10, analysoitiin SEM-EDS:llä ja tulokset viittasivat siihen, että korroosioriski on pienempi yli vuoden varastoidulla hakkeella kuin alle puoli vuotta varastoidulla hakkeella, mutta molemmissa tapauksissa on hyvä polttaa turvetta tai muuta rikkiä sisältävää polttoainetta seassa. Erityisesti, jos hakkuutähdehakkeen neulasosuus on > 15 %, haketta ei suositella poltettavaksi pelkän puun kanssa.

Joissakin tapauksissa metsähakkeen tai minkä tahansa puupolttoaineen poltto voi aiheuttaa kattilan tehon vajeusta. Syynä useimmiten on polttoaineen syöttöjärjes-

telmät, jotka on alunperin suunniteltu muulle polttoaineelle, esim. turpeelle. Tampereen BFB-kattilan syöttöjärjestelmät oli suunniteltu alunperin turpeen poltolle, jolloin täyttä tehoa ei saavutettu pelkällä metsähakkeella. Mikkelissä CFB-kattila on suunniteltu puun poltolle, joten täysi teho saavutettiin polttoaineesta riippumatta. Kokeissa poltettiin myös muun puu seassa 30 % yli vuoden varastoitua haketta, jonka kosteus oli alhainen ja lämpöarvo säilynyt puulle tyypillisellä tasolla. Tällöin ei tehovajausta luonnollisestikaan havaittu.

Puunpoltolla voidaan pienentää savukaasupäästöjä. Puun alhainen rikkipitoisuus sinällään jo vähentää rikkidioksidipäästöjä, mutta myös puun alkalinen tuhka sitoo vapautuvaa rikkidioksidia. BFB-kattilakokeissa analysoitujen sähkösuodintuhkien mukaan rikin sitoutuminen tuhkaan tehostui puun osuuden kasvaessa. Saadut tulokset vahvistavat aikaisempia havaintoja, joiden mukaan rikkidioksidin päästörajan 140 mg/MJ (350 mg/Nm³) alle voidaan päästä polttamalla n. 20–30 % puuta turpeen kanssa (kiertoleijukattila, turpeen rikkipitoisuus keskimäärin 0,22 %). Puupolttoaineen osuuden kasvaessa näyttävät typioksidipäästöt laskevan hiukan. Puun NO_x-päästövaikutus peittyy usein kuitenkin lämpötila- ja ilmanjaon muutoksien aiheuttamaan vaihteluun. Palaminen kattiloissa oli yleensä täydellistä ja CO-päästöt matalia. Savukaasun kiintoainepäästöihin puupolttoaineilla ei ollut vaikutusta ja ne olivat aina alle ohjearvojen (CFB-kattila 25 mg/MJ, BFB-kattila 50 mg/m³_n).

CFB-kattilassa tehdyissä polttokokeissa muun polttoaineen osuus oli vallitseva, metsätähdehakkeen tai turpeen osuus kohosi enintään 33 %. Materiaalilämpötila oli verraten korkea. Turpeen lisäyksestä oli näissä olosuhteissa niukkaseosteisen teräksen 10 CrMo 9 10 kestävyuden kannalta lyhytaikaisistakin (6h) kokeista saadun kokemuksen mukaan hyötyä. Toisaalta materiaalilämpötila (530 °C) oli siinä määrin korkea, että niukkaseosteisen teräksen kestävyys ei ole sittenkään riittävä. Sopivan laatuisen turpeen yhteispoltto saattaa olla tulistimen korroosion hallintaan soveltuva ratkaisu, mikäli höyryn loppulämpötilasta voidaan jonkin verran tinkiä.

Kun pääpolttoaineena on puu, näyttää siltä että materiaalin X20 kestävyys ei ole riittävä metsähakkeen poltossa turpeen lisäyksestä huolimatta. Mielenkiintoinen havainto oli, että metsähakkeen laatu vaikutti turpeen lisäystä enemmän materiaalin X20 pinnan morfologiaan ilmeisen haitallisella tavalla.

BFB-kattilassa tehtiin polttokokeita, joissa oli kokeiltavana sekä 100 % turpeen poltto että 100 % vihreän, alle puoli vuotta varastoidun, metsätähdehakkeen poltto. Materiaalilämpötila (480 °C) ja savukaasulämpötilat (n. 600 °C) olivat matalat. Tästä syystä eroosion ja savukaasureaktioiden merkitys oli materiaalihäviössä paljon suurempi, kuin CFB-kokeissa. Pelkkä vihreä metsätähdehake oli eroosio- ja korroosiovaikutuksen takia tuhoisa kaiken tyyppisille koemateriaaleille. Materiaali X20 oli polttokokeissa, joissa seoksessa oli pääasiassa turvetta, suhteellisen kestävä materiaali. Tämä perustuu siihen, että kerrostumissa on tällöin verraten happamat olosuhteet, eikä kovin paljon klooria. Materiaalin X20 kestävydestä pitkällä aikavälillä ei voida olla kovin varmoja. Koeteknisten seikkojen ja koetulosten tulkinnan samoin kuin pinnan käsittelyn vaikutus austeiniittisten ruostumattomien terästen korroosiokestävyyteen ja sen arvioimiseen on aihetta selvittää tarkoin. Näitä seikkoja ei kirjallisuudessakaan esitetyissä tarkasteluissa ole otettu riittävästi huomioon. Jatkotutkimuksissa materiaalien keston kannalta avoimiksi jääneisiin kysymyksiin haetaan ratkaisuja mm. tekemällä pitkäaikaisia altistuskokeita prosessiolosuhteissa ja täydennetään aloitettua ilmiötason työtä laboratoriokokein ja teoreettisin laskelmin.

5. Tulosten hyödyntäminen

Puun ja turpeen yhteispoltolla saavutetaan etuja päästöjen vähentämisessä, kattiloiden rakennemateriaalien kannalta haitallisten kerrostumamuodostuksien hallinnassa sekä voidaan parantaa kattilalaitoksen käytettävyyttä. Tulosaineistoa voidaan hyödyntää suunniteltaessa puu käytön lisäystä tai etsiessä käytettyjen polttoaineiden turvallisia seossuhteita. Tutkimuksessa käsitellään metsähakkeiden mahdollisia aiheuttamia ongelmia ja kuinka niitä pystytään ehkäisemään.

Kerrostumasondimittauksien analyysitulokset viittasivat siihen, että korroosioriski on pienempi yli vuoden varastoidulla hakkeella kuin alle puoli vuotta varastoidulla hakkeella, mutta molemmissa tapauksissa on hyvä polttaa turvetta tai muuta rikkipitoista polttoainetta seassa. Erityisesti, jos hakkuutähdehakkeen neulasosuus on > 15 %, haketta ei suositella poltettavaksi pelkän puun kanssa.

Voidaan suositella, että puupolttoaineiden seassa olisi aina hyvä polttaa 10–30 % turvetta tai vastaavassa suhteessa muuta rikkipitoista polttoainetta, jotta vähennetään pedin agglomeroitumisongelmia ja alkalikloridien muodostumista tulis-

tinpinnoille. Metsähakkeen poltossa turpeen osuus olisi hyvä olla vielä korkeampi eli 30–40 %.

Luonnollisesti uusia voimalaitoksia rakennettaessa kattilan suunnittelulla voidaan merkittävästi parantaa puupolttoaineiden ja etenkin hakkuutähteiden käytettävyyttä. Erityisesti lämpöpintojen sijoittelulla, sopivalla kaasujen virtaustaiden geometrialla ja väljyydellä sekä tulistinmateriaalien oikealla valinnalla voidaan vähentää haitallisten kerrostumien muodostumista ja niiden tulistinputkia korrodoivaa vaikutusta. Kun tavoitteena on nostaa hyötysuhdetta ja käytetään korkeita höyryn tulistustemperatuureja, yli 530 °C, edellä mainitut seikat ovat ratkaisevan tärkeitä kattilan hyvän keston ja käytettävyyden saavuttamisessa.

6. Jatkosuunnitelmat

Projektin lopulliset tulokset ja johtopäätökset raportoitiin johtoryhmälle aikataulun mukaisesti keväällä 2001.

VTT Energia on käynnistänyt uuden hankkeen Puuenergiaohjelmaan, jonka tavoitteena on jatkaa tutkimuksia puupolttoaineiden vaikutuksista kattilan käytettävyyteen ja hyödyntää Metsähakkeen Poltto -projektissa saavutettuja tuloksia. Yleisenä tavoitteena on määrittää puupolttoaineiden kriittiset ominaisuudet voimalaitoksen käytettävyyden kannalta, määrittää optimaaliset olosuhteet haittojen vähentämiseksi ja selvittää millä tavalla puupolttoaineiden varastointi ja käsittely vaikuttavat käytettävyyteen.

7. Julkaisu ja raportit

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Metsähakkeen poltto – ensimmäinen väliraportti, laboratorikokeita. VTT Energia, Jyväskylä 1999, Tutkimusselostus ENE33/K0143/99. 28 s.

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Metsähakkeen poltto – toinen väliraportti, laboratorikokeita. VTT Energia, Jyväskylä 2000, Tutkimusselostus ENE3/T0063/2000. 42 s.

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Metsähakkeen poltto 84 MW:n kiertoileijukattilassa (CFB); Voimalaitosmittaukset – kolmas väliraportti. VTT Energia, Jyväskylä 2000, Tutkimusselostus ENE3/T0098/2000. 22 s.

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Combusting of wood chips, produced by different harvesting methods, in fluidised bed boilers. World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry in Sevilla, Spain 5–9 June 2000. S. 1447–1552.

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Metsähakkeen poltto 190 MW:n kerrosleijukattilassa (BFB); Voimalaitosmittaukset – neljäs väliraportti. VTT Energia, Jyväskylä 2001, Tutkimusselostus ENE3/T0023/2001. 24 s.

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Metsähakkeen Poltto – Loppuraportti. VTT Energia, Jyväskylä 2001, Tutkimusselostus ENE3/T0042/2001. 52 s.

Orjala, M., Ingalsuo, R., Paakkinen, K., Hämäläinen, J., Mäkipää, M., Oksa, M., Malkow, T., Fordham, R.J & Baxter, D. How to control superheater tube corrosion in FB boilers which use wood and wood waste as fuel. 10th International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry. Julkaistaan elokuussa 2001.

Hakkuutähteiden laadunhallinta – PUUT09

Kari Hillebrand
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 611, faksi 014-672 749
e-mail: kari.hillebrand@vtt.fi

Juha Nurmi
Metsäntutkimuslaitos
PL 44, 69101 Kannus
Puh. 06-8743211, faksi 06-8743201
e-mail: juha.nurmi@metla.fi

Abstract

Project title in English: Quality management of logging residue

The effects of different storage methods on drying and quality control of logging residue from final fellings were studied. The research concentrated on the fore-part of energy wood procurement chain – the storage of the residues on a clear-cut area in harvester made heaps and on roadside landings in large piles. The storage of both fresh and dry logging residues were studied. The objective was to study the storage logistics, by which it is possible to reduce the moisture content of the logging residues below 40%, and to maintain the quality gained during the storage.

Drying of logging residue on the clear-cut area in harvester made heaps has clear advantages: material will dry effectively and the nutrient-rich needles will largely fall off and be retained on the site. The optimum length of a drying period on the clear-cut area is 1–3 weeks depending on the weather conditions. Moisture content of stored material will decrease down to 25–30%. After drying the material should be transported to roadside as soon as possible for storage in large piles. If logging is carried out in winter time and if the goal is not to dry logging residue over the next summer, it should be transported from the logging

site to the roadside storage immediately after roundwood logging. When logging residues are stored in piles at the roadside the result can be improved by covering the piles. This will result in a decrease moisture content by 10–15% lower moisture content in comparison with the uncovered piles.

The transportation of elements from needles to branch wood was not observed during one summer's drying period on the clear-cut area. However, because of the considerable decrease in the needle mass during storage, the chlorine content was also cut in half. Both heavy metal and ash contents of logging residues were very low. Also neither the storage area nor the storage method seems to have significant effect of the concentrations.

The amount of microbes, mostly fungi, occurring in the chips was so high that it has to be taken into account when evaluating possible health risks among people handling the material. During the chipping of logging residues it is advisable to use class P3 respirator.

1. Tausta

Polttoaineen laadun hallinta on yksi vaikeimmista kohdista metsähakkeen hankintaketjussa. Tutkimustulosten ja käytännön kokemusten mukaan kostean poltohakkeen pitkäaikainen varastointi aiheuttaa huomattavia kuiva-ainetappioita, energiasisällön alenemista ja jopa terveyshaittoja. Toisaalta pitkä talvi vaatii puskurivarastoja jatkuvien polttoainetoimitusten takaamiseksi. Uudistusalojen hakkuutähteeseen (hakkuualalle jäävä hukkarunkopuu sekä oksa- ja latvusmassa) sisältyvä energiapotentiaali on herättänyt kysymyksiä runsaan polttoainereservin laadunhallinnasta. Uudistushakkuitten pinta-ala on vuosittain keskimäärin 150 000 ha ja tyypilliselle kuusikon päätehakkuualalle jää hakkuutähdettä noin 100 m³ hehtaarille (n. 40 tonnia kuivamassaa), kun ainespuuta on korjattu 200–250 m³/ha. Talteensaatavat hakkuutähdemäärät vastaavat yleensä 25–30 % hakkuualalta korjattavan runkopuun määrästä.

Hakkuutähdihakkeen käyttö on Suomessa lisääntymässä. Suurkäyttökohteina ovat ennen kaikkea metsäteollisuuden voimalat sekä energiayhtiöiden ja kaupunkien turvevoimalat. Hakkuutähteiden käyttö energialähteenä edellyttää kilpailukykyistä hintaa, toimitusvarmuutta ja vaatimukset täyttävää laatua. Hak-

kuutähteiden kuivauksella alennetaan tähteiden kosteutta ja kasvatetaan hakkeen energiatiheyttä. Hallitulla kuivauksella parannetaan myös polttihakkeen laatua. Hakkuutähdehakkeen laatuun vaikuttavista yksi tärkeimmistä tekijöistä on tähteiden kosteus, joka vaikuttaa suoraan hakkeen teholliseen lämpöarvoon. Kuivaamalla hakkuutähteitä lämpöarvoa voidaan kasvattaa tilavuusyksikköä kohden noin 10 %.

Varastointi on oleellinen osa hakkuutähteen hankintaketjua ja logistiikkaa, ja hakkuutähteiden eriasteisilla varastoinnilla varmistetaan polttoaineen saatavuus vuoden kaikkina aikoina sekä parannetaan polttoaineen laatua. Varastointivaiheen suunnittelun lähtökohtana on toisaalta varaston sijaintipaikka ja toisaalta varastoinnin ajoitus hankintaketjun muitten toimintojen suhteen. Tässä tutkimuksessa hakkuutähdettä varastointiin hakkuukoneen tekemissä pienissä kasoissa palstalla ja tienvarsivarastossa.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena oli tutkia varastointitekniikoiden vaikutuksia uudistusalojen hakkuutähteiden kuivumiseen ja laadun hallintaan. Varastointitutkimus painottui energiapuun hankintaketjun alkupäähän, varastointiin palstalla ja tienvarsivarastossa.

Päätavoitteena oli selvittää tekniset keinot, joiden avulla polttoaineen hankinnan ja varastoinnin aikana tuore (55–60 %) hakkuutähde voidaan kuivata alle 40 %:n kosteuteen sekä saavuttaa ja säilyttää tavoiteltu laatutaso välivarastossa. Samalla pyritään raaka-aineen kosteuden homogenisointiin. Hankkeessa selvitettiin varastoinnin aikana polttoaineen laadunmuutoksiin vaikuttavat tekijät sekä tarkasteltiin tienvarsihaketusketjun kustannuksia.

3. Toteutus

Projekti toteutettiin yhteistyössä VTT Energian ja Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) kanssa. Yritysosapuolina projektiin osallistuivat Fortum Power and Heat Oy, StoraEnso Oy ja UPM-Kymmene Oy. Projektin kustannusarvio oli

1 604 000 mk. Rahoituksesta Tekesin osuus oli 1 004 000 mk ja osallistuvien yritysten 600 000 mk.

Projektin vastuullisena johtajana toimi erikoistutkija Kari Hillebrand VTT Energiasta ja projektiryhmään kuuluivat Juha Nurmi Metlasta ja Markku Marttila VTT Energiasta. Projektiin osallistuivat myös Jaakko Miettinen Metlasta sekä Pertti Frilander ja Tapio Ranta VTT Energiasta. Projektin käytännön järjestelyissä autoivat myös useat yritysten edustajat.

Projektin johtoryhmään kuuluivat Dan Blomster Fortum Power and Heat Oy:stä, Timo Kalliola UPM-Kymmene Oyj:stä, Pekka Parviainen StoraEnso Oyj:stä, Heikki Kotila Tekesistä, Juha Nurmi Metsäntutkimuslaitoksesta sekä Pentti Hakikila, Ismo Nousiainen ja Kari Hillebrand VTT Energiasta. Johtoryhmän puheenjohtajana toimi Ismo Nousiainen ja sihteerinä Kari Hillebrand.

Hanke sovellettiin yritysosaapuolien käyttötarpeisiin ja infrastruktuuriin. Pääkohteena oli tärkein metsäpolttoainepotentiaali: uudistushakkuiden hakkuutähteet. Hakkuutähteet varastoitiin kokonaisina ja erilaisia palsta- ja tienvarsivarastoja tehtiin eri puolille Suomea. Varastokasoja analysoitiin systemaattisesti 0,5 kk–1,5 vuoden ajan. Varastokasoista seurattiin hakkuutähteiden kosteuden, alkuaineiden ja neulasten muutosta varastointijakson aikana.

Tutkimus jakaantui seuraaviin osatehtäviin:

Osatehtävässä 1 perustettiin hakkuutähteiden varastoverkosto, joka käsitti erilaisia varastoalueita eri puolilla Suomea. Varastoalueiden sijainnit valittiin projektissa mukana olleiden yritysten tarpeiden mukaan. Hakkuutähteiden varastokasoja tehtiin neljälle eri paikkakunnalle, Hartolaan, Juupajoelle, Längelmäelle ja Muurameen. Tienvarsivarastokasoja tehtiin yhteensä 28 kpl, joissa hakkuutähdettä oli noin 11 500 kehys-m³. Varastokasoja tehtiin sekä tuoreista että palstalla tietyn ajan kuivuneista hakkuutähteistä. Lisäksi osa tähteistä jätettiin pysyvästi palstalle hakkuukoneen tekemiin kasoihin. Osa varastokasoista tehtiin aluspuiden päälle ja osa kasoista peitettiin.

Osatehtävässä 2 tutkittiin eri varastoissa polttoaineen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Laatuun vaikuttavat varastointitekniikat, hakkuuajankohta, varaston maantieteellinen ja paikallinen sijainti sekä kokoluokka. Hakkuutähteet varastoitiin pals-

talla ja tienvarsivarastoissa. Erilaisissa hakkuutähteen varastointitekniikoissa otettiin huomioon mm. kasojen sijainti, koko, muoto, alusta ja peittäminen. Energiakäytön kannalta tärkeitä ominaisuuksia ovat hakkuutähteen kemiallinen koostumus, puuaineen tiheys, kosteus, tuhkapitoisuus sekä näistä määräytyvä lämpöarvo.

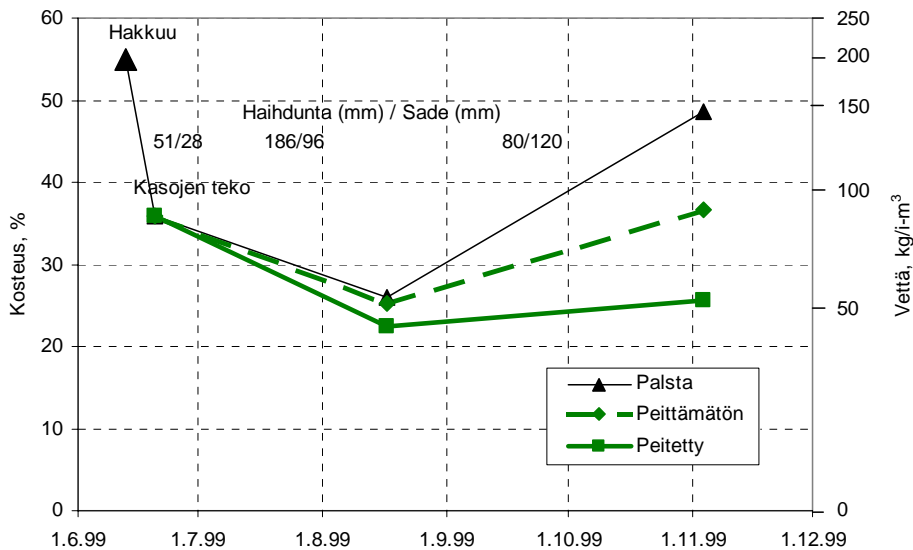
Osatehtävässä 3 arvioitiin varastointitapojen ja -tekniikoiden vaikutukset tuotannon kustannuksiin.

Osatehtävässä 4 laadittiin vuoden 1999 päätuloksista väliraportti 27.3.2000 ja loppuraportti 23.2.2001.

4. Tulokset

4.1 Hakkuutähteet kuivuvat hyvin

Alkukesän hyvissä sääoloissa, jolloin haihdunta oli selvästi sadantaa suurempi, hakkuutähteet kuivuivat kesäkuun alussa tehdyissä tienvarsivarastokasoissa nopeasti, 14–20 %-yksikköä ensimmäisen kahden kuukauden aikana. Kosteus pysyi alhaisena koko kesän, mutta syksyllä sateiden vaikutus näkyi etenkin palttasojen kastumisena. Peitetyissä kasoissa tähteen kosteus oli 10–15 %-yksikköä alhaisempi kuin peittämättömissä. Talvihaketuksen yhteydessä kosteus voi kuitenkin kohota merkittävästi, etenkin leutona talvena, jos lumen sulamisvesi pääsee imeytymään hakkuutähteisiin.



Kuva 1. Kesäkuun alussa tuoreesta tähteestä tehtyjen varastokasojen ja palstalla olleiden tähteiden kosteudet Längelmäellä. Kuvaajiin on laskettu kaikkien peitettyjen ja peittämättömien tienvarsivarastokasojen keskikosteudet.

Kuivattaessa hakkuutähteitä palstalla ennen tienvarsivarastokasan tekoa, optiimikuivatusaika on yhdestä kolmeen viikkoa sääoloista riippuen. Tänä aikana hakkuutähteet kuivuvat alle 40 %:n kosteuteen ja niiden neulas- ja klooripitoisuus pienenee noin puoleen. Kuivia tähteitä ei kannata jättää palstalle, vaan ne siirretään välivarastoon kasoihin, jotta kuivatuksesta saatu etu säilyisi mahdollisimman kauan. Säilyvyyttä voidaan parantaa peittämällä kasat huolellisesti voimapaperilla tai muovilla. Näin meneteltäessä ravinteikas neulasmassa varisee suurelta osin palstalle, hakkuutähde kuivuu parhaiten ja sen säilyvyys talviaikaisiin haketuksiin on turvattu. Mikäli kasoja ei peitetä, ne tehdään mahdollisimman korkeiksi, jolloin vesi jää kasan ylimpään osaan.

Syksyn ja talven hakkuutyömailta syntyvää tuoretta tähdettä ei kannata jättää palstalle hakkuukoneen tekemiin kasoihin talven ajaksi, jolloin niihin kertyy runsaasti lunta ja jäätä. Tällaisissa kasoissa hakkuutähteen kosteus on yli 60 prosenttia, mikä tekee tähteestä polttoon kelpaamattoman. Talven yli kasoissa seisoneita hakkuutähteitä voidaan yrittää kuivattaa seuraavana kesänä. Vaikka neulas-

ten kuivatusominaisuuksia ei tällöin voida enää hyödyntää, kosteus voi laskea alle 40 prosentin.

Hakkuutähdekasojen alla olevista aluspuista on hyötyä etenkin haketusvaiheessa, sillä puiden päältä hakkuutähteet voidaan kerätä tarkemmin ja nopeammin hakkuriin. Aluspuut vähentävät myös maa-aineksen pääsyä tähteen joukkoon sekä maan kosteuden imeytymistä alimpiin hakkuutähteisiin ja tähteidän jäätymistä maahan kiinni.

4.2 Kasan peittämisellä suojataan hakkuutähteidän uudelleenkastuminen

Hakkuutähteidän peittämisän hyötyyn vaikuttaa oleellisesti käytetyn peitteen leveys, kestävyys, ja hakettavuus. Lisäksi kasan muoto on tärkeä tekijä. Kapealla paperipeitteellä on helposti taipumusta kuroutua kasaan ohueksi raidaksi kasan päälle tuulen vaikutuksesta. Tämä voidaan kuitenkin estää asettamalla hakkuutähdekourataakkoja painoksi paperin molemmille laidolle tarpeeksi tiheään. Näin menetellen kasan päällä oleva paperi estää suurimman osan sadevedestä, mutta talvihaketustulosten perusteella se ei ole riittävä suojaamaan kasaa syyssateilta ja lumelta. Kokeissa paremmaksi vaihtoehdoksi osoittautui kahdeksan metriä leveä muovi, joka ulottui jonkin verran hakkuutähdekasan reunojen yli. Tällä tavalla peitetyissä varastokasoissa hakkuutähteet säilyivät kuivina, eikä peitteen havaittu haittaavan tähteidän kuivumista. Haittapuolena on kuitenkin työläämpi levitys ja korkeampi kustannus.



Kuva 2. Osa tutkimuskasoista peitettiin paperilla.

4.3 Neulaset varisevat kuivumisen aikana

Ravinteiden vapautuminen neulasista on hidasta kaikilla varastopaikoilla. Vapautumista tärkeämpää onkin kuivumista seuraava neulasten variseminen. Hakkuutähteen palstavarastoinnissa ravinnerikkaat kuivat neulaset tippuvat metsän pohjalle viimeistään keräilyvaiheen aikana.

Kun hakkuutähteet kerätään välivarastoon välittömästi hakkuun jälkeen, saadaan suurin osa neulasista talteen. Kuivissa olosuhteissa kesällä neulaset alkavat varista varsin pian hakkuun jälkeen ja alle kuukauden kuluessa suuri osa neulasista on varissut maahan.

Tuoreella kuusitähteellä neulasosuus on noin 30 %. Kesäkuun alussa tehdyissä varastokasoissa neulasten osuus koko massasta oli keskimäärin 7 %-yksikköä alhaisempi tuoreeseen tähteeseen verrattuna. Tähän vaikutti alkukesän kuivattavat olosuhteet hakkuun ja tähteidän keruun välisenä aikana, jolloin osa neulasista

varisi palstalle keruun yhteydessä. Palstalla noin kaksi kuukautta kuivuneissa tähteissä neulasten osuus pieneni keskimäärin 18 %:iin. Haketusvaiheessa mitatut neulasosuudet olivat vastaavasti tuoreista tähteistä tehdyissä varastokasoissa n. 17 % ja kuivista tähteistä tehdyissä varastokasoissa n. 11 %. Varastoinnin aikana kuivumisen myötä neulaset irtoavat myös varastokasoissa. Kuitenkin haketusvaiheessa suurin osa niistä saadaan talteen, sillä ne kulkeutuvat hakkuriin suurissa kourataakoissa ja vain pieni osa neulasmäärästä jää kasan pohjalle. Tuoreitten tähteiden neulasten osuus aleni kuivauksen ja tienvarsivarastoinnin aikana noin puoleen ja kuivien tähteiden noin kolmasosaan alkuperäisestä neulasmäärästä. Palstakasoissa olleiden tähteiden neulasten osuus pieneni kesän aikana noin 5 %:iin.

4.4 Kuivuminen vaikuttaa myös alkuainepitoisuuksiin

Neulasten osuuden pieneneminen varastointivaiheiden aikana heijastuu myös suoraan mm. hakkuutähdehакkeen klooripitoisuuteen. Alkalimetallit, natrium ja kloori, ovat alkuaineita, joiden tiedetään edistävän voimalaitosten kattiloiden tulistinpintojen korroosiota. Hakkuutähteestä natriumia löytyy kuitenkin vain erittäin pieninä pitoisuuksina (5–35 mg/kg). Klooria sen sijaan on tuoreessa hakkuutähteessä runsaammin (200–350 mg/kg). Se on lähes kokonaan neulasissa, josta sitä vapautuu varastoinnin aikana. Erityisesti neulasten variseminen edesauttaa hakkuutähteen klooripitoisuuden alenemista. Kuivan hakkuutähteen klooripitoisuudet olivatkin 50–150 mg/kg neulasten määrästä riippuen.

Hakkuutähteiden tuhkapitoisuudet olivat varastojen teon yhteydessä n. 2,1 % (vihreä hake), mutta pienenevät kuivumisen myötä n. 1,4 %:iin (ruskea hake). Puu- ja kuoriaineen lahotessa mikrobitoiminnan tuloksena puun orgaanista ainetta hajoaa, jolloin tähteen tuhkapitoisuus kohosi hieman. Hakkuutähteen sisältämien raskasmetallien, kuten molybdeenin, kadmiumin, lyijyn ja nikkelin pitoisuudet olivat hyvin alhaiset, eikä varastopaikalla tai varastointimenetelmällä näyttänyt olevan vaikutusta niihin.

Projektissa tutkittiin myös ravinteiden ja muiden alkuaineiden mahdollista siirtymistä neulasesta oksarankaan kuivumisen aikana. Aineiston perusteella ravinteet eivät kuitenkaan näytä siirtyvän neulasista oksiin kuivumisen seurauksena. Sen sijaan ravinteiden vapautuminen selittää metallien osuuden lisääntymisen.

4.5 Mikrobeilta kannattaa suojautua

Hakkuutähteistä määritettiin mikrobipitoisuudet varastokasojen teon sekä haketuksen yhteydessä. Jo varastointijakson alussa mikrobipitoisuudet hakkeessa olivat suhteellisen suuret (kertaluokkaa 10^7). Haketusvaiheessa mitattujen mesofiilisten bakteerien määrä oli kaksinkertainen ja mesofiilisten sienten kymmenkertainen varastokasojen tekovaiheen tilanteeseen verrattuna. Sen sijaan termotoleranttien mikrobien pitoisuudet olivat suhteellisen alhaiset (10^4 – 10^5) koko varastointijakson aikana. Haketusvaiheessa esiintyvien mikrobipitoisuuksien määrä oli niin korkea, että se tulee ottaa huomioon arvioitessa työntekijöille aiheutuvaa terveydellistä riskiä. P2-luokan hiukkassuodattimet suojaavat terveydelle haitallisia pölyjä vastaan, mutta haketuksen yhteydessä on suositeltavaa käyttää P3-luokan suodatinta, joka suojaa myös myrkyllisiä hiukkasia vastaan sekä mikrobeilta.

5. Julkaisut

Hillebrand, K., Marttila, M. & Nurmi, J. 2000. Puupolttoaineiden laadunhallinta, väliraportti 1999. Tutkimusselostus ENE32/T0016/2000, VTT Energia. 22 s. + liitt. 6 s.

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2001. Hakkuutähteiden laadunhallinta. VTT Energian raporteja 2/2001. 51 s. + liitt. 11 s.

Hillebrand, K. 2000. Hakkuutähteiden kuivauksella laadukkaampaa polttohaketta. Puuenergia 3/4, 2000. Puuenergia ry. Helsinki 2000.

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2000. Puupolttoaineiden laadunhallinta – PUUT09. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205, s. 205–216. Espoo 2000.

Nurmi, J. 2000. Hakkuutähteessä on ytyä. Metsäntutkimus 3, 2000. METLAN asiakaslehti.

Nurmi, J. & Hillebrand, K. 2000. The Fuel Quality of Norway Spruce Logging Residue in Relation to Storage Logistics. IEA Task 18 Conventional Forestry Systems for Bioenergy, International Workshop on Bioenergy from sustainable Forestry: Principles and Practice. Coffs Harbour, NSW, Australia, 16–20 October 2000.

Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen – PUUT15

Raija Kuoppamäki
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672540 tai 0400-344034
Faksi 014-672598
e-mail: raija.kuoppamaki@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Improvement of the combustion technical properties of by-products in mechanical forest industry.

The objective of the research is to improve the combustion technical properties of by-products formed in mechanical forest industry by developing the fuel storage and processing. The research is divided into three subprojects: 1) the optimisation of the storage of bark, 2) reduction of the moisture content of the bark, and 3) removal of harmful substances from the fuel.

Behaviour of spruce and pine bark in the storage was studied during a period of three months in the first storage researches. Main results of the storage researches were that the barks tested dried 6,5–10,5% during the storage period and no significant changes were observed in the calorific value of the dry matter. Reduction of the moisture content increased the effective calorific value by 8,0–14% compared to the initial value. Apparently a significant part of the increase of the calorific value was lost due to the SD-losses during the storage. Unfortunately the precise value of DS-losses could not be measured during the tests.

1. Johdanto

Yleensä kuoren varastointi sahoilla tapahtuu ulkona eri muotoisissa kasoissa, missä ne ovat täysin sääoloille alttiina. Myös varastointiaika vaihtelee sahakoh-
taisesti huomattavasti. Ongelmaksi sahoilla on nähty se, että tietoa siitä, miten
varastointi vaikuttaa kuoren ominaisuuksiin ja miten varastointi tulisi suorittaa ei
ole saatavilla. Myös kuoren kosteus etenkin talvella ja kuoren sekaan joutuneet
epäpuhtaudet aiheuttavat ongelmia kuoren poltossa ja käsittelyssä.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää miten eri varastointitavat vaikuttavat kuo-
ren kosteuteen ja kuiva-ainetappioihin sekä muihin kuoren laatuominaisuuksiin.
Tuloksien perusteella määritetään optimaalinen varastointiaika ja -tapa kuoresta
saatavan hyödyn maksimoimiseksi.

Lisäksi projektin tavoitteena on selvittää mekaanisen puristuksen ja termisen
kuivauksen teknis-taloudellinen soveltuvuus kuoren kuivaukseen sahatteollisuu-
dessa sekä määrittää kuoren joukkoon joutuvan lumen ja jään vaikutukset kuo-
ren kosteuteen.

Projektissa arvioidaan myös epäpuhtauksia (kiviä ja hiekkaa) sisältävän kuoren
määrä ja laatu sahatteollisuudessa sekä selvitetään kivien ja hiekan erotukseen
soveltuvat mahdolliset erotustekniikat.

3. Projektin toteutus

Toimenpiteiden osalta tutkimus jakaantuu kolmeen suurempaan tutkimusosa-
alueeseen: 1) kuoren varastoinnin optimoimiseen, 2) kuoren kosteuden alentami-
seen ja 3) kuoren sekaan joutuneiden haitallisten aineiden poistamiseen.

3.1 Kuoren varastointi

Tutkimus sisältää kirjallisuusosan ja varastointikokeet. Varastointikokeet toteutetaan rakentamalla 3 koekuorivarastoa sahojen yhteyteen. Varastointiaika on 1–12 kk. Alla on lueteltu tutkimuksessa tarkasteltavat tekijät ja laatuominaisuudet, joiden mukaan kuoren varastoinnin vaikutuksia arvioidaan.

Tutkittavat tekijät:

- Puulaji (mänty, kuusi)
- Kuoren palakoko
- Kuorivaraston koko (korkeus)
- Kuorivaraston tiivistäminen
- Kuorivaraston kattaminen
- Kuorivaraston ilmastoiminen
- Kuoren alkukosteus.

Kuoren laadun arvioluperusteet:

- Kosteus
- Lämpöarvo
- Kuiva-ainetappio
- Tuhkapitoisuus
- Partikkelikoko.

Lisäksi koevarastoista seurataan lämpötilan kehittymistä.

3.2 Sivutuotteiden kosteuden alentaminen

Kosteuden alentamiseen tähtäävä tutkimus jaetaan edelleen kolmeen osaan: 1) lumen ja jään sekä tukkien kastelun ja uiton vaikutus kuoren polttoarvoon 2) kuoren termisen kuivauksen teknistaloudellinen tarkastelu 3) mekaaninen kuoren puristuksen mahdollisuudet sahatteollisuudessa.

Tutkimus toteutetaan teoreettisten laskelmien ja sahalla tapahtuvien seurantojen avulla.

3.3 Haitalliset aineet

Osatehtävässä selvitetään ensivaiheessa epäpuhtauksia (kiviä ja hiekkaa) sisältävien sivutuotteiden määrä ja laatu sahteollisuudessa. Selvitys tapahtuu seuranta-tutkimuksena koehailla. Seurantatutkimusten yhteydessä selvitetään myös puin-den autokuljetuksen mukanaan tuomien kivien ja hiekan määrä.

Tämän jälkeen selvitetään kivien ja hiekan erotukseen soveltuvat mahdolliset erotustekniikat. Kartoitetuista tekniikoista valitaan parhaat ja arvioidaan niiden soveltuvuus, laitteisiin tarvittavat parannukset ja uusien laitteiden kehitystarve.

4. Projektin aikataulu ja tilanne

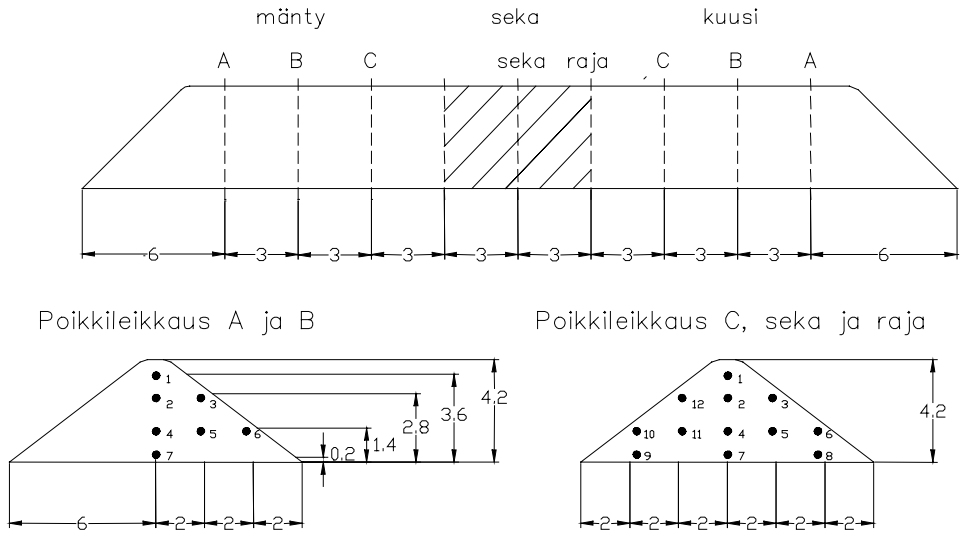
Projekti on kaksivuotinen. Projekti käynnistyi huhtikuussa 2000 ja se päättyi joulukuussa 2001. Tutkimus on edennyt aikataulun mukaisesti.

Osatehtävittäin tilanne on seuraava: Kuoren varastoinnin osatehtävissä kirjalli-suusselvitys ja ensimmäinen varastointikoe (koevarasto 1) on saatu päätökseen. Kaksi seuraavaa varastointikoetta (koevarastot 2 ja 3) ovat vielä kesken. Sivutuotteiden kosteuden alentamisen ja kivien erotuksen osatehtävien tehtävät ovat pääosin suoritettu.

5. Tulokset

5.1 Kuoren varastointi

Ensimmäisessä varastointikokeessa (koeauma 1) selvitettiin kuusen ja männyn kuoren sekä näiden seoksesta valmistetun sekakuoren käyttäytymistä kolmen kuukauden varastoinnin aikana syys–joulukuussa 2000. Kaaviokuva koeaumasta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Koeaumasta 1 tehtävät poikkileikkaukset ja näytepisteiden sijainti poikkileikkauksissa. Kuvassa leikkauksien kirjaimet A, B ja C vastaavat varastointiaikoja 1 kk, 2 kk ja 3 kk.

Varastointikokeiden tärkeimmät tulokset olivat seuraavat:

Kosteus: Sekakuoriosaa lukuunottamatta, kaikki aumat kuivuivat kolmen kuukauden varastoinnin aikana 6,5–10,5 %-yksikköä. Voimakkainta kuivuminen oli varastoinnin ensimmäisen ja kolmannen kuukauden aikana.

Kuusi- ja mäntyaumat kuivuivat lähes yhtä paljon ja yhtä nopeasti. Sekä kuusi- että mänty aumoista ensimmäisen kuukauden aikana vettä poistui kuoresta 0,19–0,23 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ka}}$. Toisen kuukauden aikana vettä poistui 0,23–0,2623 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ka}}$, ja kolmannen kuukauden aikana 0,33–0,37 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ka}}$. Esimerkiksi 1000 i-m^3 :n kuorivarastossa tämä tarkoittaisi noin 20 000 kg:n vesimäärän poistumista 1 kk:n varastoinnin aikana ja noin 40 000 kg:n vesimäärän poistumista 3 kk:n varastoinnin aikana.

Kuiva-aineen *kalorimetrisessa lämpöarvossa* ei tapahtunut merkittäviä muutoksia 3 kuukauden varastoinnin aikana. *Saapumistilan tehollinen lämpöarvo* seka-aumaa lukuunottamatta kasvoi kosteuden alenemisen myötä noin 8–14 % varastoinnin aikana kaikissa tarkastelluissa leikkauksissa.

Tuhkapitoisuus näytti kasvaneen merkittävästi kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen sekä kuusen että männyn aumoissa. Kahden ensimmäisen kuukauden osalta tuhkapitoisuudessa ei näyttänyt olleen merkittäviä muutoksia.

Haihtuvien aineiden määrä väheni sekä kuusen että männyn aumoissa varastointiajan kasvaessa. Sekakuoren osalta näytteitä oli liian vähän johtopäätösten vetämiseksi.

Kuiva-ainetappioiden määrittäminen käytetyllä pussimenetelmällä ei johtanut järkeviin tuloksiin. Tämä johtui todennäköisesti kuoren kosteuden epähomogeenisuudesta ja varastoinnin aikana kuoresta poistuvista helposti haihtuvista aineista. Kuiva-ainetappioiden määrää arvioitiin myös haihtuvien aineiden perusteella, jolloin kuiva-ainetappioiksi saatiin 3–13 %. Luku on vain suuntaa antava. Jotta jatkossa kuiva-ainetappioista saataisiin luotettavia lukuarvoja täytyy kuiva-ainetappioiden määrittämenetelmää kehittää tarkemmiksi.

Varastoinnin hyödyt. Koska kuoren lämpöarvo kuiva-aineessa säilyi koko varastoinnin ajan lähes muuttumattomana, riippuu varastoinnin lopputulos lähinnä kuoren kosteuden muutoksesta ja kuiva-ainetappioista.

Kuten edellä todettiin kasvoi kosteuden alenemisen myötä saapumistilan tehollinen lämpöarvo noin 8–14 % varastoinnin aikana. Kasvu on samaa luokkaa kuin mitä arvioitiin kuiva-ainetappioiksi haihtuvien aineiden ja kirjallisuuden perusteella. Näin ollen todennäköisesti se hyöty, mikä saavutettiin kosteuden alentumisella hävisi syntyneiden kuiva-ainetappioiden myötä. Varmojen johtopäätösten tekeminen edellyttää kuitenkin tarkempia tietoja kuiva-ainetappioiden määrästä.

Sahan tilanteesta riippuen voi varastoiminen kuitenkin olla kannattavaa kuoren kosteuspuiteisuuden alentumisen takia. Kosteuden alentumisesta seuraavia hyötyjä ovat esimerkiksi poltossa esiintyvien ongelmien vähentäminen, mahdollisuus lisätä kattilasta saatavaa tehoa ja kuljetuskustannusten vähentyminen.

Lopulliset johtopäätökset varastoinnin hyödyistä ja eri varastointitapojen vaikutuksesta esitetään myöhemmin kun seuraavien varastointikokeiden (koeaumat 2 ja 3) tulokset ovat käytettävissä.

5.2 Kuoren kosteuden alentaminen

Sahoilla syntyvän kuoren kosteus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Kesällä kosteus on yleensä alle 50 %, jopa 40 %. Talvikuukausina kuoren kosteus nousee 55–65 %:iin. Tällöin ongelmaksi muodostuu kuoren hyödyntäminen energiantuotannossa; kattilan hyötysuhde laskee, palaminen huononee, päästöt lisääntyvät. Lisäksi on käytettävä kalliimpia tukipolttoaineita, kuten kuivempia puupolttoaineita ja jopa öljyä, jotta talviaikana kattiloista saadaan riittävä teho.

Sahoilla syntyvästä kuoresta (7,3 TWh) myydään ulkopuoliseen energiakäyttöön noin 40 % (2,9 TWh). Talvella kostean kuoren energiatiheys saattaa olla alle 0,5 MWh/i-m³. Tällaisen polttoaineen kuljetuskustannukset nousevat niin korkeiksi, etteivät sahat saa myydylle kuorelle riittävää katetta.

Laskennallisesti voidaan osoittaa, että mikäli talvikuoren kosteus voitaisiin pitää samalla tasolla kuin kesällä (esim. 40–45 %), paranisi sahojen energiatalous merkittävästi. Omissa kattiloissa kalliiden tukipolttoaineiden käyttö vähenisi ja kuoren myynti ja kuljettaminen muualle olisi kannattavampaa.

Kuoren sekaan pääsevä lumi ja jää nostavat kuoren kosteutta talvella. Tässä tutkimuksessa selvitettiin mm. seuraavien tekijöiden vaikutuksia

- tukkien mukana tuleva lumi ja jää
- varastokentällä tukkeihin tuleva lumi ja jää
- lumi- ja vesisateiden vaikutus kuorikasoihin.

Pääosa tukkien mukana tulevasta irtolumesta luonnollisesti irtoaa kuormia purettaessa sekä käsittelypöydällä ja lajittelussa (kuva 2). Mutta se osa tukin pintaan tarttuneesta lumesta ja jäästä, mikä on vielä jäljellä mittauksen ja lajittelun jälkeen, menee tukkikentän kautta kuorimoon ja jää siellä kuoren joukkoon. Jää ja lumi aiheuttavat myös tukkien mittauksessa systemaattisia virheitä, joita korja-

taan tarkistusmittauksilla. Eräällä sahalla tarkistusmittauksen mukaan jään ja kiintolumen määrä tukkien pinnassa oli joulu-huhtikuun välisenä aikana noin 0,5 tilavuusprosenttia (kuukausittain 0,15–0,91 %) puun käyttömäärästä. Tämän vaikutus on kuoren kosteuteen keskimäärin noin 3 %-yksikköä. Joillakin sahoilla lumen määrä saattaa olla kaksinkertainen eli yli 1 % puun käytöstä. Tähän täytyy lisätä vielä tukkikentiltä tuleva lumen määrä.

Teoreettisesti voidaan laskea, että esimerkiksi 1 mm kiintojääkerros tukin pinnalla nostaa kuoren kosteuspitoisuutta noin 10 %-yksikköä (halkaisija 20 cm) ja noin 7 %-yksikköä (halkaisija 30 cm).

Ainakin osa tukkien pinnoille jäävästä lumesta ja jäästä voitaisiin poistaa esim. pyörivillä harjoilla jossakin vaiheessa tukkien käsittelyä. Toinen mahdollisuus olisi poistaa osa jäähileestä ja lumesta kuoren joukosta heti kuorimon jälkeen esim. oikein sijoitetuilla kaavareilla. Kokeissa osoittautui, että lumi ja jää hieno-aineksena lajittuivat hihnakuuljettimella alimmaksi ja tarttuivat osittain kiinni hihnaan. Investointi- ja käyttökustannuksiltaan kaikkien laiteratkaisujen on oltava alhaisia.

Sekä vesi- että lumisateet luonnollisesti kastelevat ulkona olevia kuorikasoja. Niiden vaikutus koko kuorikasan keskikosteuksiin jää kuitenkin suhteellisen pieneksi. Esimerkiksi 10 cm lumikerros (1 cm vettä) sulaessaan nostaa 1000 i-m³:n kuorikasan keskikosteutta noin 0,5 %-yksikköä. Vastaavasti 1 metrin lumikerros (10 cm vettä) aiheuttaa sulaessaan noin 4,5 %-yksikön nousun keskikosteudessa vastaavassa kasassa. Lisäksi on huomattava, että osa lumesta ja pintakosteudesta haihtuu aina ilmaan eikä kastele siltä osin kuorta.

Mekaaninen vedenpoisto ja terminen kuivaus ovat myös menetelmiä, joilla kuoren kosteuspitoisuutta voidaan laskea. Massateollisuuden kuorimoissa yleisesti käytetyn mekaanisen vedenpoiston soveltamisessa sahoille on monia esteitä. Tällaisia ovat suuret investointikustannukset, puristus vaatii lämmitetyn kuoren, miten käsitellä syntyvä suodosvesi ja kosteuden aleneminen olemassa olevilla laitteilla jää suhteellisen pieneksi (enimmillään 5–10 %-yksikköä).

Terminen kuivaus on todellisempi vaihtoehto laskea kuoren kosteutta. Korkeat investointi- ja käyttökustannukset ovat kuitenkin olleet esteenä niidenkin käyttöönottoon.



Kuva 2. Lumisen puukuorman purku ja tukkien käsittelyä sahalla.

5.3 Kivien erotus

Sahoilla syntyvän kiviä sisältävän kuoren määräksi arvioidaan keskimäärin noin viisi prosenttia kokonaiskuorimäärästä. Kivikuorta syntyy sahoilla päällystämättömiltä tukkien varastointikentiltä sekä kivien ja hiekan jäätyessä kiinni puihin metsä ja välivarastoinnissa ja kivien puristuessa tukkien väliin uudelleen lastauksessa.

Nykyisin kivikuoren hävityksessä käytetään murskaimia, joilla murskataan kaikki kuoriaines erottamatta kiviainesta ja hienonnettu aines poltetaan tai kompostoidaan. Ongelmana on murskainten terien kuluminen ja kestävyys sekä polttoaineen sekaan jäävä kiviaines.

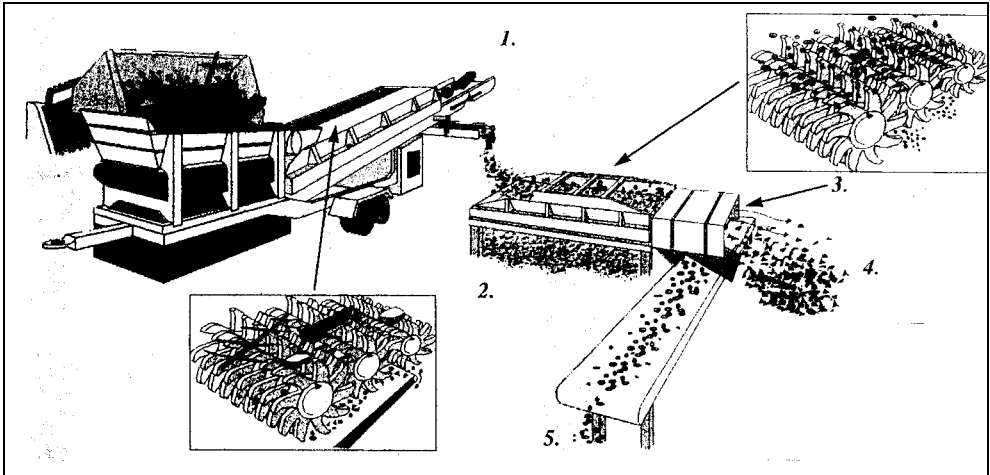
Kivien erottelumenetelmältä vaaditaan kulutuskestävyyttä, vahvuutta ja suurta kapasiteettia. Menetelmä ei saa huonontaa käsiteltävän materiaalin käyttöominaisuuksia.

Kirjallisuuden ja laite-esitteitten mukaan orgaanisten ja mineraaliaineiden erotte- lussa yleensä käytetään erilaisia seulontamenetelmiä. Tutkituista erottelumene- telmistä sopivimmiksi osoittautuivat mekaaniset tai yhdistetyt mekaaniset ja pneumaattiset seulontamenetelmät.

Ainoa kuoren käsittelyn urakoitsijakäytössä Pohjoismaissa oleva erottelumene- telmä näyttää olevan ruotsalainen yhdistetty kiekko- ja pneumaattinen seulonta (kuva 3). Laitteisto näytti teknillisesti toimivan ylivuotisen kuoren käsittelyssä, mutta ongelmia on muun kuin polttokelpoisen kuoren käyttökohteitten löyty- misessä sekä keväällä syntyvän kuusen pitkien kuoripalojen käsittelyssä. Ruotsissa menetelmän kilpailukykyä parantaa myös Suomea korkeampi polttoaineen hinta sekä suuret kaatopaikkamaksut.

Käsiteltävä materiaali on hyvin epähomogeenista tilavuuspainon, partikkelikoon ja -muodon suhteen ja siksi erottelu vaatii onnistuakseen useita peräkkäisiä eri- laisia käsittelyjä kiekko- ja ilmaseulonnalla.

Kivikuoren erottelukustannusten lasketaan olevan yhdistetyllä koko vuoden kah- dessa vuorossa käynnissä olevalla kiekko- ja ilmaseulonnalla irtokuutiota kohti laskettuna noin 6 mk/i-m^3 ja seulontakustannus nousee voimakkaasti vuotuisen kuorimäärän laskiessa tai keskimääräisen kerrallaan käsiteltävän kuorimäärän pienentyessä alle 5000 irtokuution.



Kuva 3. TESAB Återvinning Ab:n erottelulaitteisto: 1. 40 mm:n ylite, 2. 0–12 mm:n alite, 3. ilmaseula, 4. 12–40 mm:n kuorijae ja 5. 12–40 mm:n kivijae.

6. Tulosten hyödyntäminen

Tutkimuksen tuloksista hyötyy pääasiassa mekaaninen metsäteollisuus sekä lämpö- ja voimalaitokset. Mekaanisen metsäteollisuuden kannalta voidaan polttoteknisiä ominaisuuksia parantamalla lisätä kuoren käyttöä, parantaa sen lämpöarvoa, vähentää kaatopaikalle menevän kuoren määrää ja parantaa sahan työympäristöä. Tämä vaikuttaa positiivisesti sahan talouteen ja ympäristöystävällisyyteen. Lämpö- ja voimalaitoksen kannalta parantuneet polttotekniset ominaisuudet helpottavat luonnollisesti polttoaineen käsittelyä ja polton ohjausta.

Tämän lisäksi tutkimuksesta hyötyvät laitevalmistajat, jotka saavat tuotekehitystään varten arvokasta tietoa mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden käsittelyn ongelmista ja laajuudesta.

Unohtaa ei myöskään pidä yhteiskunnallisia näkökohtia, missä tutkimus palvelee yleisiä tavoitteita lisätä kotimaisen biopolttoaineen määrää energian tuotannossa ja vähentää kuoren varastoinnista aiheutuvia ympäristöhaittoja.

7. Projektin jatkosuunnitelmat ja raportointi

Loput varastointiosatehtävän kenttäkokeet (koeaumat 2 ja 3) suoritetaan suunnitellun mukaisesti lokakuuhun 2001 mennessä.

Kuoren kuivauksen ja kiven erotuksen osatehtävät suoritetaan toukokuun loppuun mennessä.

Kustakin osatehtävästä laaditaan väliraportit, jotka valmistuvat kesäkuussa 2001. Lisäksi projektista tehdään yksi loppuraportti, joka valmistuu joulukuussa 2001.

Kiinteän polttoaineen varastoinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus- ja syöttöjärjestelmän kehittäminen – PUUY08

Antti Nurmi
BMH Wood Technology Oy
PL 32, 26101 Rauma
Puh. 02-8315236, faksi 02-8221327
e-mail: antti.nurmi@bmh.fi

Abstract

Project title in English: Developing storage, material flow equalizing and boiler infeed systems for solid biofuels.

The capacity and the quality of solid biofuel can vary quite much in existing storage and handling systems before the boiler. For these reasons the optimal use of the boiler is not possible. Additionally new solid fuels, like recovered fuels and mixed fuels, have created a need for development of the handling systems. The target of the project is to develop storage, handling and boiler infeed systems for mixed solid biofuels. The project is led by BMH Wood Technology Oy and VTT Energy will participate in the storage research part of the project. The material flow equalizer, which allows more even infeed of fuel into the boiler was demonstrated in Stockholm Energy AB, Sweden. The further developed version of the equipment will be delivered to Kymin Voima Oy, Finland. The silo filling device was demonstrated in Eskilstuna Energi & Miljö, Sweden. The further developed version of the device will be delivered via Kvaerner Pulping Oy to Kokkolan Voima Oy, Finland. The storage research and development was realized in co-operation with VTT Energy. The results of this part of the project will be utilized in the product development of the storage systems.

1. Projektin tausta

Olemassa olevissa kiinteän polttoaineen varastointi-, käsittely- ja kattilaansyöttöjärjestelmissä tapahtuu usein suuria vaihteluita mm. polttoaineen määrässä ja laadussa. Käytettäessä polttoaineseoksia käsittelyn hallittavuus on vielä vaikeampaa. Lisäksi laajentunut polttoainevalikoima mm. kierrätyspolttoaineet, asettavat lisävaatimuksia erityisesti sen suhteen, että saadaan tasainen polttoainevirta kattilaan häiriöttömästi.

2. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena on kehittää kiinteän polttoaineen varastointi-, käsittely-, tasaus- ja kattilaansyöttöjärjestelmää siten, että varmistetaan polttoaineen tasainen laatu laajenevassa polttoainerepertuaarissa sen ajettavuuden, käytettävyyden ja ohjattavuuden suhteen.

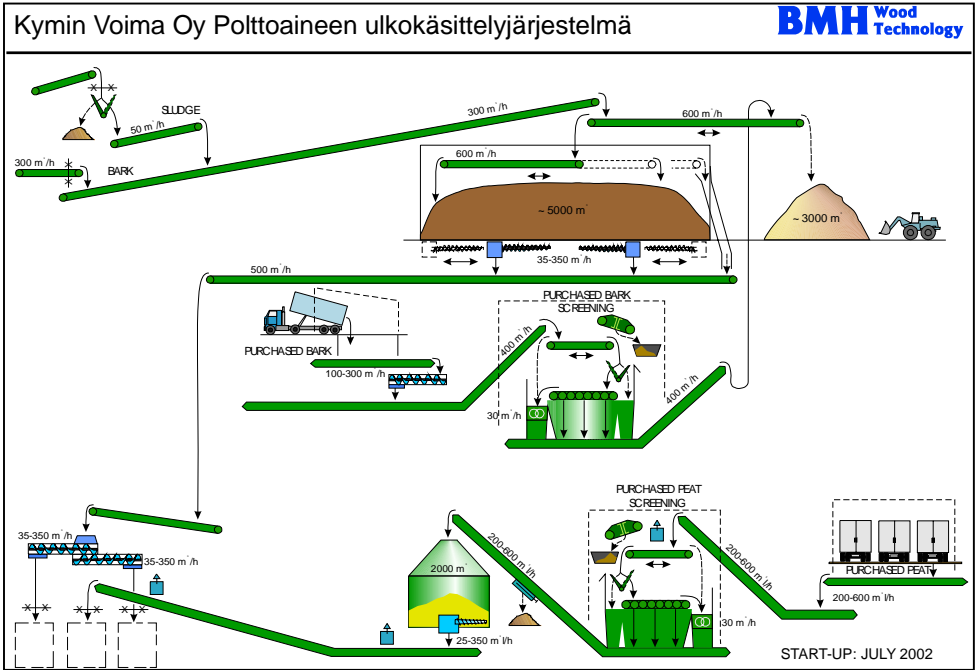
3. Projektin toteutus

Projekti toteutetaan BMH Wood Technology Oy:n johtamana yritysprojektina. Tutkimuslaitosapuolena on VTT Energia, jonka osuus liittyy varastointijärjestelmän kehittämiseen.

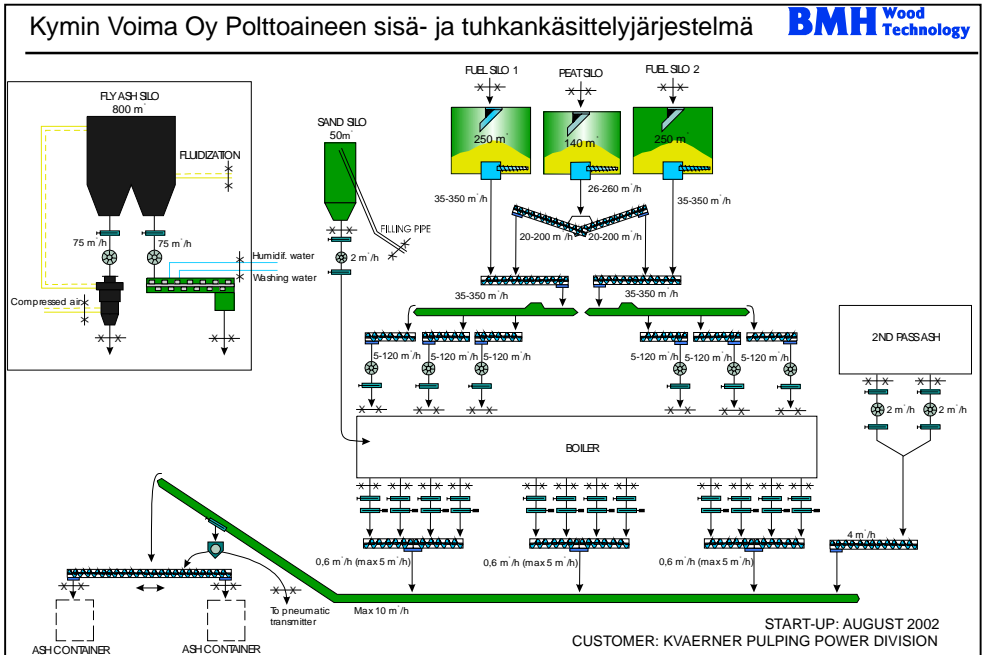
4. Projektin tulokset

Materiaalivirran tasauslaitteisto on ollut demonstroitavana Stockholms Energi AB:lla, Ruotsissa. Laitteisto on todettu toimivaksi ratkaisuksi myös käytännön vaativissa olosuhteissa ja jatkuvatoimisessa käytössä. Materiaalivirran tasaimiin on koeajojen ja testauksien perustella tehty jatkokehitystä mm. säädettävyyden ja ohjattavuuden suhteen. Tuotekehitystyön tuloksena syntynyt laitteisto on poikinut BMH:lle tilauksen, joka toimitetaan Kvaerner Pulping Oy:n kautta Kymin Voima Oy:lle, Kuusankoskelle. Kyseinen polttoaineen sisäkäsittelyjärjestelmä sisältää 2 kpl materiaalivirran tasaimia. Käsiteltävinä polttoaineina ovat metsähake ja turve. Lisäksi BMH Wood Technology Oy toimittaa suoraan Kymin

Voima Oy:lle koko ulkokäsittelyjärjestelmän sisältäen mm. vastaanoton, seulonnan ja murskauksen, varastoinnin ja kuljetinjärjestelmät.



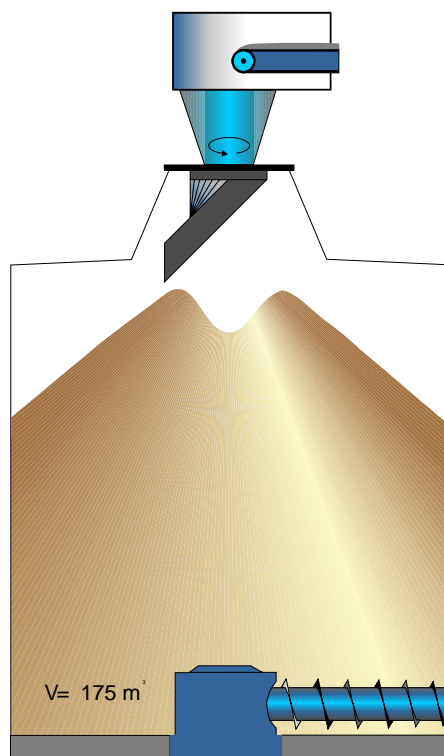
Kuva 1. BMH Wood Technology Oy:n toimitus vuonna 2002 Kymin Voima Oy:lle, Kuusankoskelle sisältää kiinteän polttoaineen ulkokäsittelyjärjestelmän.



Kuva 2; BMH Wood Technology Oy:n toimitus vuonna 2002 Kvaerner Pulping Oy:n kautta Kymin Voima Oy:lle, Kuusankoskelle sisältää kiinteän polttoaineen sisä- ja tuhkan käsittelyjärjestelmän.

Varastointi- ja silojärjestelmän kehittäminen:

Kattilasiilon täyttölaitteistoa on demonstroitu Eskilstunassa, Ruotsissa. Laitteisto on osoittautunut toimivaksi ja suoritettujen demonstroinnin perusteella on tehty jatkokehitystyötä. Seuraava versio laitteistosta demonstroidaan Kokkolan Voima Oy:ssa, jonne BMH Wood Technology Oy toimittaa Kvaerner Pulping Oy:n kautta polttoaineen, hiekan- ja tuhkan käsittelylaitteet. Käsiteltävinä polttoaineina ovat metsähake, turve, kuori ja puru. Lisäksi Gävle Kraftvärme AB:lle, Ruotsiin BMH toimittaa kattilasiilon täyttölaitteiston, polttoaineena käytetään mm. metsähaketta.



Kuva 3. Siilon täyttölaite ja ruuvipurkain.

Välivaraston purkamiseen käytettävän ruuvipurkaimen kehitystä on suoritettu Portugaliin, Caima Energialle loppuvuonna 2000 toimitetussa kuorenkäsittelyjärjestelmässä. Laitoksella polttoaineena käytetään Eucalyptuspuun kuorta, joka on hyvin vaikeasti käsiteltävää sekä erittäin kuluttavaa. BMH on laboratoriotestien ja muiden testien avulla kehittänyt ruuvipurkaimen konstruktiota ja löytänyt uusia materiaaleja laitteiston kulumisen ehkäisemiseksi.

VTT Energialta on tilattu tutkimusosuus työnimellä; uuden monipolttoaineille soveltuvan välivaraston kehittäminen. Tutkimuksessa selvitettiin mm. uusia mitausmahdollisuuksia esim. purkuruuviin kohdistuvien paineiden mittamiseksi. Kenttäkokeissa laitoksilla käytettiin VTT Energian kehittämää punnusmittausmenetelmää. Lisäksi mitattiin monipuolisesti jännityksiä sekä kerättiin paljon muita purkaintietoja. Tulosten perusteella jatkokehitetään varastointia ja purkausta sekä ideoidaan uusia monipolttoaineille soveltuvan varaston ratkaisuja.

5. Tulosten hyödyntäminen

Projektin tähän mennessä saavutettuja tuloksia on hyödynnetty kiinteän polttoaineen käsittelyjärjestelmissä, joita BMH toimittaa mm. Kokkolan Voima Oy:lle. Lisäksi BMH toimittaa Jämsänkosken Voima Oy:lle täydellisen metsähakkeen ja turpeen käsittelyjärjestelmän, jossa on mm. ison kenttävaraston täyttölaitteisto. Tulokset palvelevat Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteita parantamalla puupolttoaineiden hallittua käyttöä voimalaitoksilla.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Edellämainittuja, edelleenkehitettyjä laitteistoja testataan Suomessa rakenteilla olevissa voimalaitoksissa metsähakkeilla, kuorella, purulla ja turpeella sekä eri polttoaineiden seoksilla. Projektissa kehitetään ison kenttävaraston täyttölaitteisto. Varaston purkamisenn kehitetään entistä tehokkaampi ruuvipurkain. Käsittelylaitteissa ilmenevän kulumisongelman selvittämistä ja ratkaisemista jatketaan.

7. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Esitteet: BMH Wood Technology Oy; Bio solid fuel and ash handling system delivered to Stocholms Energi AB, Sweden, Bio solid fuel and ash handling systems delivered to Gävle Kraftvärme AB, Sweden.

Puupolttoaineille soveltuvat vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät – PUUT19

Risto Impola
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 542, faksi 014-672 596
e-mail: risto.impola@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Receiving and handling systems suited for wood fuels

The use of wood fuels has increased rapidly during last years in the municipal heating and power plants and in the boilers of forest industry. The use of forest chips, particularly logging residues will increase in the future. The fluidised-bed boilers enable a far more versatile fuel variety than before. The main problems in co-firing of biofuels are the technical limitations in the fuel receiving and handling of wood fuels at the plants. Normally the handling and feeding lines are designed for one fuel type, in the most cases in Finland for the peat fuels. The flow and the other physical properties of peat and wood fuels are very different.

The aims of this project is to develop for the power plants the receiving, handling, storing and feeding systems, which make possible the increase of use share and the intensification of delivery for different wood fuels. Case objects are used the receiving, handling and feeding systems of two power plants, Toppila Power Plant in Oulu and Naistenlahti Power Plant in Tampere.

1. Projektin tausta

Nykyisten kiinteän polttoaineen lämpö- ja voimalaitosten vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät sekä kattilasyöttö on suunniteltu lähes poikkeuksetta tietyn pääpolttoaineen, useassa tapauksessa jyrsin- ja palaturpeen, ominaisuudet ja käyttö huomioiden. Leijukerroskattiloiden yleistyessä ja käytettävien polttoaineiden

monipuolistuessa mm. metsähake ja muut erityyppiset puupolttoaineet (kuori, sahanpuru, kutterinlastu, rakennusjäte) nykyiset vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmät rajoittavat puupolttoaineen käyttöosuutta, laatuominaisuuksien sallittua vaihtelua ja hankintajärjestelmien toimitusjoustavuutta.

Erityyppisten puupolttoaineiden käyttöosuuden kasvattamiseksi voimalaitosten vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmien tulisi olla mahdollisimman joustavia. Lisäksi polttoaineiden vastaanoton ja käsittelyn tulisi pystyä tehokkaasti taasaamaan erityyppisten puupolttoaineiden laatuvaihteluita. Toisaalta yksittäisen polttoaineen hankinta ei saa häiritä pääpolttoaineen vastaanottoa ja käsittelyä. Suunniteltaessa voimalaitosten vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät huomioimalla erityyppisten puupolttoaineiden ominaisuuksien ja hankintaketjujen asettamat vaatimukset voidaan puupolttoaineiden hankintaa tehostaa mm. odotusaikoja vähentämällä sekä saada uusia laadultaan vaihtelevia puupolttoainevaroja hyötykäyttöön.

Rakennettaessa puupolttoaineelle oma vastaanotto voidaan laitokselle ottaa vastaan erilaisia puupolttoaineita eri muodoissa. Tällöin ominaisuuksiltaan vaihtelevat puupolttoaineet voidaan syöttää pääpolttoaineeseen hallitussa seossuhteessa, jolloin palamistapahtuma pysyy stabiilina, kattilan hyötysuhde korkeana sekä syntyvät päästöt normaaleissa rajoissa.

Erityyppisten puupolttoaineiden (hakkuutähteiden, rakennusjätteen, palakooltaan vaihtelevan kuorijätteen) vastaanotto edellyttää myös murskausasemaa ja epäpuhtauksien poistoa vastaanoton ja käsittelyn yhteyteen. Käyttöpaikalla tapahtuva murskaus ja epäpuhtauksien erottelu mahdollistaa kaikenlaatuisen puupolttoaineen toimittamisen kaikissa olosuhteissa. Murskaus mahdollistaa myös hakkuutähteiden ja muun metsähakemateriaalin sekä kierrätyspuun tms. polttokelpoisen materiaalin toimittamisen laitokselle sellaisenaan.

2. Tavoite

Tutkimushankkeen tavoitteena on kehittää voimalaitoksille erillisiä polttoaineen vastaanotto-, käsittelyjärjestelmä- ja syöttökonsepteja, jotka mahdollistavat laatuominaisuuksiltaan erityyppisten puupolttoaineiden käyttöosuuden kasvattamisen ja hankinnan tehostamisen.

Hankkeessa tuotetaan erityyppisille, laadultaan vaihteleville puupolttoaineille soveltuvien vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmien suunnittelun perusteita kahdelle jyrshinturvetta pääpolttoaineena käyttävälle voimalaitokselle. Case-tapauksina käytetään Oulun Energian Toppilan ja Tampereen Sähkölaitoksen Naistenlahden voimalaitosten käsittely- ja syöttöjärjestelmiä.

3. Projektin toteutus

Tutkimushanke käynnistyi 1.9.2000. Pääosa projektista sisältäen yleiset perusteet puupolttoaineiden lisäkäyttöön tähtääviin laitehankintaehdotuksiin molempien case-tapausten osalta on tehty ja väliraportoitu 31.3.2001 mennessä. Eri ratkaisuvaihtoehtojen perusteella laitokset tekevät tarjouskyselyt käsittelylaittevalmistajille. VTT Energia osallistuu tarjousten teknisiin arviointeihin syksyn 2001 aikana yhdessä laitosten kanssa.

Tutkimushanke toteutetaan VTT Energiassa. Projektista ovat vastanneet erikois-tutkijat Risto Impola ja Timo Järvinen. Hankkeeseen osallistuvat yritysosaapuoli-na Biowatti Oy, Oulun Energia Oy ja Tampereen Sähkölaitos.

Projektissa on hyödynnetty MF-ohjelman ja MF2-tutkimusprojektien tuloksia huomioiden mukana olevien yritysten osallistuminen MF-hankkeisiin. Yleisten perusteiden osalta projektin tulokset ovat julkisia. Laitoskohtaisiin tarjouksiin liittyvät suunnittelutiedot käsitellään luottamuksellisina. Projekti ei sisällä ko-keellista työtä.

Projekti on jaettu seuraaviin osatehtäviin:

Polttoaineiden asettamat vaatimukset vastaanotolle ja käsittelylle

Osatehtävässä selvitetään erityyppisten, laadultaan vaihtelevien puupolttoaineiden käyttöosuuden kasvattamista rajoittavat tekijät nykyisissä vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmissä. Laitoskohtaisesti tarkastellaan sekä metsästä toimitettavien puupolttoaineiden, lähinnä hakkuutähteiden että metsäteollisuuden eri sivutuotteiden (mm. sahanpuru, kutterinlastu, kuori) käytön lisäämismahdollisuuksia. Yksittäisten laitteiden ja koko käsittelyjärjestelmän toiminnan kannalta tärkeimmät tarkasteltavat polttoaineiden ominaisuudet ovat; kosteus, tuhka-

toisuus, lämpöarvo, energiatiheys ja irtotiheys sekä partikkelikoko, mahdolliset ylisuuret kappaleet ja epäpuhtaudet. Hakkuutähteiden osalta tarkastellaan myös laitoksen erillisellä murskausasemalla tapahtuvaa ns. käyttöpaikkahaketusta. Tällöin laitos voisi ottaa vastaan myös muuta murskaamatonta polttoainetta, esim. kierrätyspuuta ja rakennusjätettä.

Osatehtävän tuloksena määritetään erityyppisten, laadultaan vaihtelevien puupolttoaineiden vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmien suunnittelun ja hankinnan perusteet. Laitekohtaisesti käydään läpi koko käsittelyketju; toimitukset, laadunmääritys, autojen purku, vastaanottoasema, kuljettimet, seula ja murskain, välivarasto täyttö- ja purkulaitteineen sekä kattilasiilot ja syöttölaitteet kattilaan. Lisäksi huomioidaan polttoaineiden sekoitus vastaanotossa ja varastoissa sekä laitoksen ohjaus- ja säätöjärjestelmät.

Puupolttoaineiden käytön lisäämismahdollisuudet ja puupolttoaineiden saatavuus

Osatehtävässä selvitetään puupolttoaineille soveltuvien vastaanotto- ja käsittelykonseptien vaikutukset käyttöosuuden kasvuun kahdella voimalaitoksella ja erityyppisten puupolttoaineiden hankintaan. Yhteistyössä Biowatti Oy:n kanssa selvitetään molemmille laitoksille alueellisesti puupolttoaineiden – sekä metsähakkeen ja metsäteollisuuden sivutuotteiden – saatavuus eri vuoden aikoina. Lisäksi kartoitetaan myös puupolttoaineiden eri poltto- ja käsittelyominaisuuksien raja-arvot käsittelylaitteiden suunnittelun perustaksi.

Kahden esimerkkitapauksen tarkastelu

Case-tapaukset tarkastellaan todellisten puupolttoaineiden lisäkäyttöön tähtäävien laitehankintaehdotuksien pohjalta. Tehtävä toteutetaan yhteistyössä laitoksien kanssa siten, että laitos tekee normaalin tarjouskierroksen laitevalmistajilta ja VTT Energia osallistuu yhdessä laitoksien kanssa niiden teknisiin arviointeihin. Eri laitevalmistajien laite- ja järjestelmätarjouksien osalta tehtävä hoidetaan luottamuksellisesti, josta sovitaan eri osapuolten kanssa.

4. Tulokset

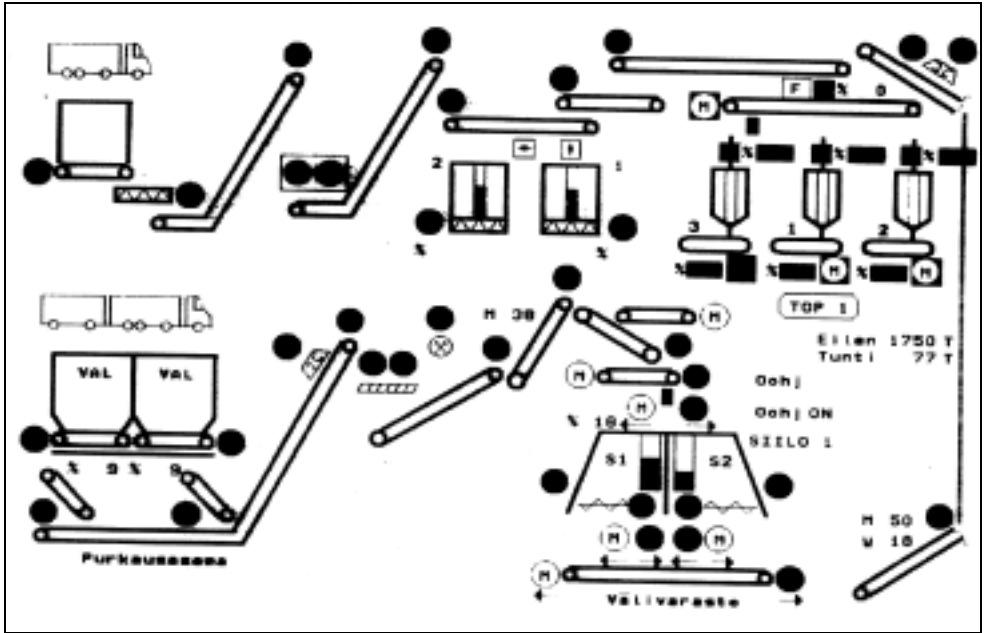
4.1 Laitoskuvaukset ja polttoainehuolto

Oulun Energian Toppilan voimalaitos

Oulun Energia aloitti jysinturpeen käytön vuonna 1977, kun Toppilan voimalaitos käynnistyi. Polttomenetelmänä oli pölypolttotekniikka. Jysinturpeen käyttö yli kaksinkertaistui vuonna 1995, kun rinnalle rakennettiin toinen kattila (Toppila 2). Polttotekniikaksi valittiin kiertoleijumenetelmä. Heti seuraavana vuonna Toppila 1:n pölypolttokattila muutettiin kerrosleijukattilaksi. Toppila 1:n polttoaineteho on kattilamuutoksen jälkeen 290 MW ja Toppila 2:n 310 MW.

Toppilan voimalaitoksen polttoaineiden käsittelyjärjestelmä on esitetty kuvassa 1. Kuvan alempi vastaanotto-, käsittely- ja varastointijärjestelmä on vanha 1970-luvulla rakennettu jysinturvelinja, jolla voidaan polttoainetta syöttää Toppilan molemmille kattiloille. Kuvan ylempi vastaanotto- ja käsittelylinja on uudemman kattilan rakentamisen yhteydessä rakennettu ns. palaturvelinja, jonka kautta polttoainetta voidaan siirtää ainoastaan II-kattilan suuriin kattilasiiloihin. Osa puupolttoaineista ajetaan nykyisin tätä kautta.

Toppilan voimalaitoksen pääpolttoaine on ollut ja on edelleen jysinturpe. Puupolttoaineiden käyttö aloitettiin Toppilassa vuonna 1996 ja puun käyttömäärät ovat lisääntyneet vuosittain. Vuonna 2000 puupolttoaineita käytettiin yhteensä 558 GWh (881300 i-m³). Turpeen käyttö viime vuonna oli 2568 GWh, joten puupolttoaineiden käyttöosuus oli vuositasolla 17,8 %. Polttoainetilavuuksien mukaan käyttöosuus oli 23,3 %. Kuvassa 2 on esitetty turpeen ja puupolttoaineiden kuukausittainen käyttö vuonna 2000. Puupolttoaineiden käyttöosuus vaihtelee 9,1–26,9 %. Toppilassa turpeen käyttö vaihtelee huomattavasti vuodenaikojen mukaan ollen enimmillään 365 GWh joulukuussa. Kesäaikana turpeen määrä jää alle 100 GWh kuukaudessa.



Kuva 1. Toppilan polttoaineiden vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmät.

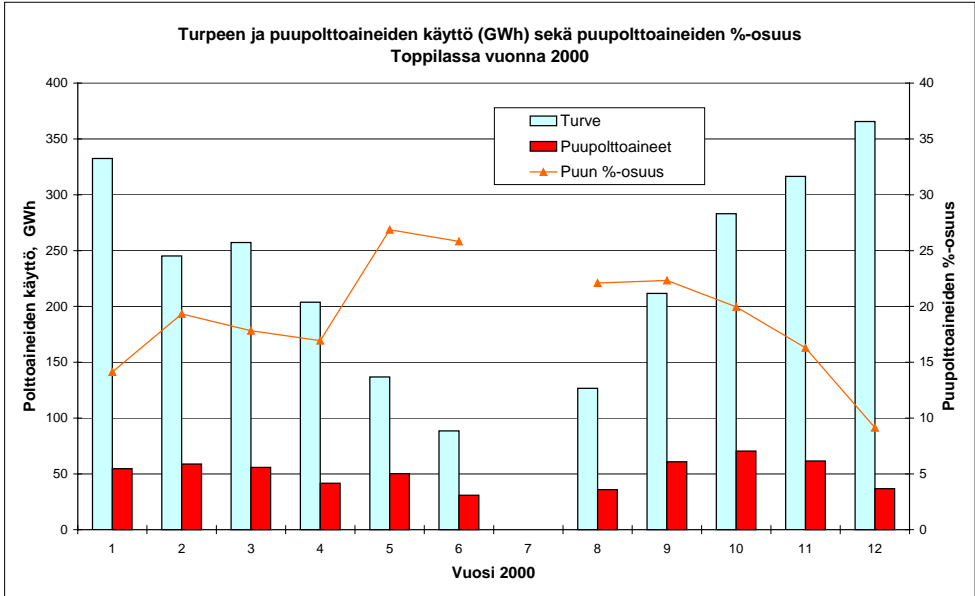
Vuonna 2000 Toppilaan toimitetun turpeen keskimääräinen energiatiheys oli 0,89 MWh/i-m³ (kuukausivaihtelu 0,86–0,93 MWh/i-m³). Puupolttoaineiden vastaava energiatiheys oli 0,63 MWh/i-m³ (0,60–0,67 MWh/i-m³).

Pääosa puupolttoaineista on metsäteollisuuden sivutuotteita (sahanpuru, kuori, kutteri). Yleisen suuntauksen mukaan metsähakkeiden määrä on vuosittain lisääntynyt Toppilassakin.

Vuorokausitasolla Toppilaan toimitetaan talvikautena enimmillään yli 140 kuormaa polttoaineita. Nykyisin niistä on erilaisia puupolttoaineita 30–35 kuormaa, jatkossa ehkä 40 kuormaa/vrk. Jyrsinturve toimitetaan Toppilaan sivukippiautoilla. Pääosa puupolttoaineista puolestaan tuodaan peräpurkuautoilla. Puupolttoaineiden purku on hitaampaa kuin turveautojen mm. ritilän päälle jäävän polttoaineen takia.

Koska jyrsinturpeen välivarastossa sekoitetaan puupolttoaineita jyrsinturpeeseen, eri polttoainekuormien vastaanottoa täytyy rytmittää. Tällöin ei esimerkiksi useita puupolttoainekuormia voida vastaanottaa peräkkäin vaan nykyisin lai-

tokselle tuoduille puupolttoainekuormille on sovittu saapumisaika etukäteen. Tämä luonnollisesti asettaa rajoituksia puupolttoainetoimittajien logistiikkaan.

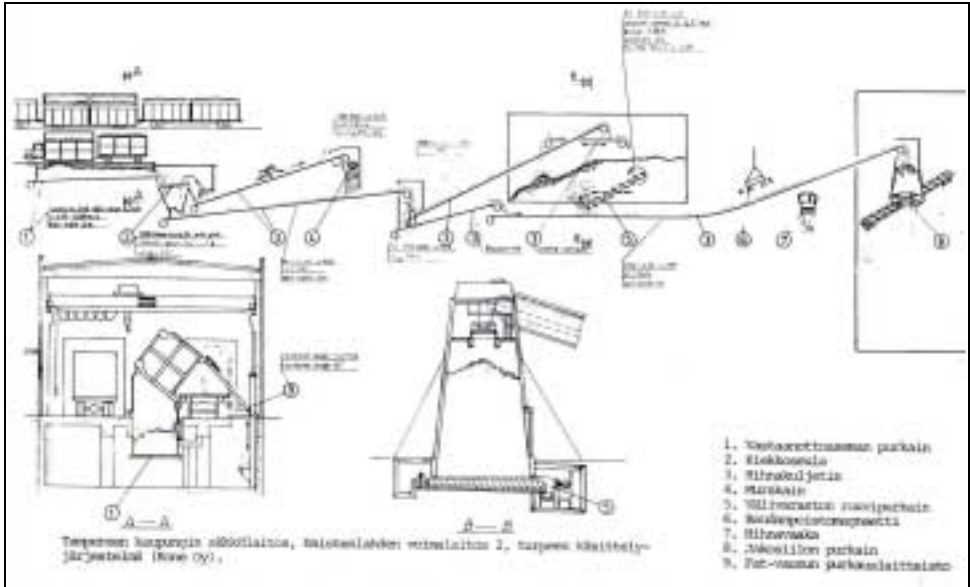


Kuva 2. Jyrsinturpeen ja puupolttoaineiden käyttö (GWh) kuukausittain vuonna 2000 Toppilassa. Kuvassa on esitetty myös puupolttoaineiden %-osuus polttoaineiden kokonaismäärästä.

Tampereen Sähkölaitoksen Naistenlahden voimalaitos

Naistenlahden voimalaitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Tampereen Sähkölaitoksen jakeluverkkoihin. Laitos on rakennettu kahdessa vaiheessa. Viime vuonna tehtyjen kattilasaneerausten jälkeen vanha 1-kattila on muutettu pelkästään maakaasulle ja 2-kattilassa polttotekniikka on vaihdettu pölypoltosta kerrosleijupoltoksi. 2-kattilan kiinteän polttoaineen polttoaineteho on noin 200 MW.

Muutostöiden yhteydessä kiinteiden polttoaineiden käsittelylaitteisiin tehtiin muutoksia vain jakosiilon ja kattilasiilojen sekä syöttölaitteiden osalta. Polttoaineiden vastaanotto, seulonta ja murskaus, välivarastointi ja ulkukuljettimet toimivat pääosin sellaisina kuin ne vuonna 1977 otettiin käyttöön (kuva 3). Käsittelyjärjestelmä on suunniteltu jyrsinturpeelle.

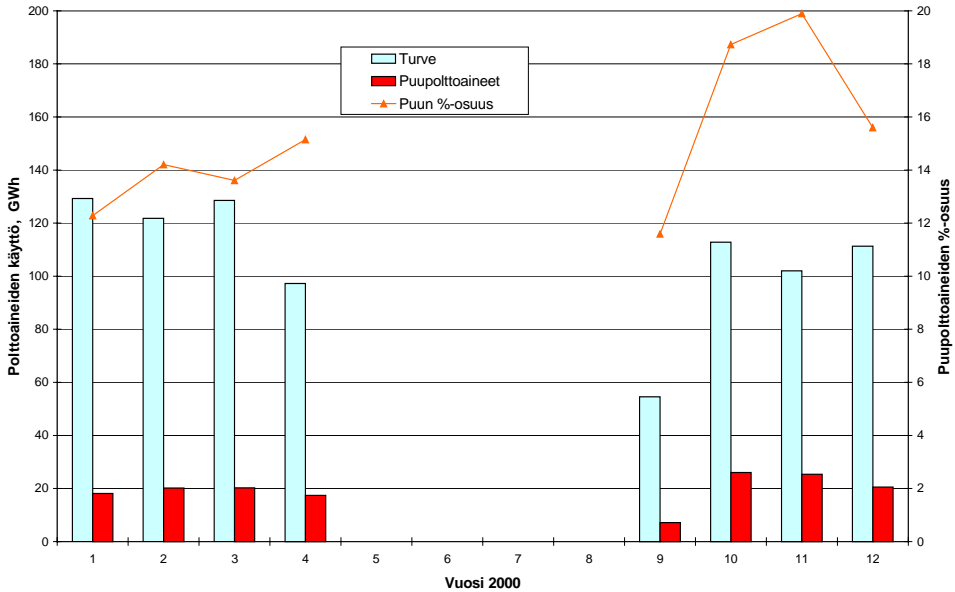


Kuva 3. Tampereen Naistenlahden jyrshinturpeelle suunniteltu vastaanotto-, käsittely- ja varastointijärjestelmä.

Naistenlahden voimalan pääpolttoaineena viime vuosikymmeninä on ollut jyrshinturve. Puupolttoaineiden pienimuotoinen kokeilu aloitettiin vuoden 1999 alussa. Syksystä 1999 lähtien kiinteitä polttoaineita on käytetty vain Naistenlahti 2:n leijukerroskattilassa. Puupolttoainevalikoima laajeni sahanpurun ohella kuoreen, metsähakkeeseen ja kantohakkeeseen.

Vuonna 2000 puupolttoaineiden käyttö vakiintui tasolle 20 GWh/kuukausi %-osuuden vaihdella 12–20 % kuukaudessa. Turpeen ja puupolttoaineiden kuukausittainen käyttö vuonna 2000 on esitetty kuvassa 4. Jyrshinturpeen kokonaiskäyttö oli noin 858 GWh ja puupolttoaineiden 155 GWh (15,3 %). Puupolttoaineista kuorta käytettiin eniten eli 66,7 GWh. Sahanpurun käyttö oli 40,9 GWh, metsähakkeen 36,7 GWh ja kantohakkeen 6,1 GWh. Lisäksi laitokselle on toimitettu pieniä määriä kutterinlastua (4,6 GWh) jyrshinturpeeseen sekoitettuna.

Turpeen ja puupolttoaineiden käyttö (GWh) sekä puupolttoaineiden %-osuus
Naistenlahdessa vuonna 2000



Kuva 4. Jyrsinturpeen ja puupolttoaineiden käyttö (GWh) kuukausittain vuonna 2000 Naistenlahdessa. Kuvassa on esitetty myös puupolttoaineiden %-osuus kiinteiden polttoaineiden kokonaismäärästä.

Naistenlahden tavoitteena on saavuttaa puupolttoaineiden osalta noin 20 % taso käytetystä kiinteiden polttoaineiden kokonaismäärästä. Vuonna 2000 siihen päästiin marraskuussa. Vuorokausitasolla tämä merkitsee vastaanotossa 8–12 puupolttoainekuormaa ja 40–45 jyrsinturvekuormaa.

Aikaisemmin käytössä ollut jyrsinturpeen junakuljetus loppui pari vuotta sitten ja kaikki polttoaineet toimitetaan autokuljetuksina. Vastaanottoasemalla voidaan purkaa vain sivukippiautoja, joten se hankaloittaa puupolttoaineiden toimituksia. Myös Naistenlahdessa puupolttoainekuormien purku on huomattavasti hitaampaa kuin turvekuormien johtuen jyrsinturpeelle suunnitellusta käsittelyjärjestelmästä.

4.2 Tyypilliset ongelmat puupolttoaineiden käsittelyssä

Ongelmat puupolttoaineiden käsittelyssä vanhoilla jyrsinturvelaitoksilla johtuvat yleensä siitä, että käsittelylaitteet ja -järjestelmät on aikoinaan suunniteltu ja rakennettu jyrsinturpeen käsittelyominaisuuksien mukaan. Sekä Toppilan että Naistenlahden käsittelyjärjestelmät on pääosin otettu käyttöön jo 1970-luvulla ja jyrsinturpeella ne toimivat hyvinkin luotettavasti. Puupolttoaineiden monet käsittelytekniset ominaisuudet eroavat turpeen vastaavista. Näitä ovat mm. partikkelikoko ja kokojakauma, energia- ja irtotiheys, kosteus ja juoksevuus. Myös eri puupolttoainelajien ominaisuudet eroavat toisistaan. Esimerkiksi sahanpuru ja kuusen kuori ovat täysin erilaisia polttoaineita käsittelyteknisesti.

Polttoaineiden vastaanotossa tyypillisiä ongelmia ovat mm.; puupolttoaineet eivät läpäise vastaanottotaskun päällä olevaa esiseulontaritulaa, puupolttoaineiden kuormaan jäätyminen ja tiivistyminen. Lisäksi turpeen vastaanottoasemat on suunniteltu sivukippiautoille. Pääosa puupolttoaineista toimitetaan joko peräpurku- tai peräkippiautoilla, joita ei kaikilla laitoksilla, mm. Naistenlahdessa ole mahdollisuus vastaanottaa lainkaan. Monista ongelmakohdista johtuen puupolttoainekuormien purku saattaa olla yli kaksi kertaa hitaampaa kuin turvekuormien. Tämän vuoksi autojonot vastaanottoasemilla kasvavat ja puupolttoaineautoille on usein määrätty tarkat saapumisaikataulut, mikä saattaa rajoittaa puupolttoainetoimituksia monille laitoksille.

Seula-murskainasemilla kiekkoseulojen ylitemäärät kasvavat monilla puupolttoaineilla. Pahimmassa tapauksessa lähes koko polttoaine-erä saattaa mennä "mattona" kiekkoseulan yli. Tällöin murskaimet tukkeutuvat ja koko käsittelylinjan kapasiteettia täytyy pienentää, mikä vaikuttaa suoraan vastaanottoaseman toimintaan. Kiekkoseulat läpäisevät usein pitkiä puupartikkeleita ja oksia sekä kuorensuikaleita, jotka aiheuttavat ongelmia myöhemmin, esimerkiksi tukkeutumisia kuljettimien risteyksissä ja kattilan syöttölaitteissa.

Puupolttoaineiden toimituslogistiikkaa rajoittaa myös välivarastojen toiminta. Mikäli eri polttoaineita halutaan sekoittaa varastoissa, täytyy puu- ja turvekuormia saapua vastaanottoon vuorotellen suunnitellun aikataulun mukaan. Puupolttoaineille tyypillisten holvaantumis- ja purkainongelmien takia turpeelle suunniteltujen välivarastojen ja kattilasiilojen pinnankorkeudet joudutaan usein pitämään hyvinkin alhaalla. Tämä pienentää varastokapasiteettia. Varastojen ruuvi-

purkaimien on todettu vaativan puupolttoaineilla ja seoksilla huomattavasti suurempia tehoja kuin turpeella. Myös ruuvien kulumiset saattavat olla yllättävän nopeita puupolttoaineilla.

4.3 Ratkaisuvaihtoehdot ja laitehankintaehdotukset

Molemmille kohdelaitoksille valittiin jatkotarkasteluun yhdessä laitoksen edustajien kanssa kolme eri tasoista vaihtoehtoa. Suunnitelmia laadittaessa huomioitiin myös polttoainetoimittajan näkemykset. Kustannuksiltaan halvimmissa vaihtoehtoissa tehtäisiin muutostöitä käytössä olevissa laitteissa ja järjestelmissä, kuten vastaanotossa ja seula-murskainasemalla. Tällöin tavoitteena on, että puupolttoaineiden vastaanotto ja käsittely tapahtuvat samalla kapasiteetilla kuin nykyinen jyrshinturpeen käsittely. Vastaanottoasemilla tämä edellyttää uusien purkupaikkojen lisäämistä, jotta puupolttoaineita toimittavien peräpurku- ja kippi-autojen purku onnistuu.

Muissa vaihtoehtoissa suunniteltaisiin ja rakennettaisiin puupolttoaineille joko uusi vastaanotto tai uusi välivarasto tai molemmat. Kokonaisjärjestelmiä uusittaessa laitteiden suunnittelussa voidaan huomioida puupolttoaineiden erityispiirteet ja käsittelytekniset ominaisuudet. Uudet välivarastot toisivat molemmille kohdelaitoksille niiden tarvitsemää varastokapasiteettia lisää. Mikäli laitoksella on erilliset järjestelmät turpeen ja puupolttoaineiden vastaanottoon ja käsittelyyn, eri polttoaineiden toimituslogistiikat voivat toimia toisistaan riippumatta. Vaihtoehtoissa, joissa vastaanottoasemia uudistetaan, voidaan huomioida myös hakkuutähteistä tehtyjen ”risutukkien” ja muun pitkän tavaran käyttöpaikkamurskaus laitoksella.

Projektin väliraportissa on esitetty muutostöiden vaatimat erilaiset tekniset kuvaukset eri vaihtoehtoissa. Lisäksi on arvioitu eri vaihtoehtojen merkittävimmät edut ja haitat koko polttoainehuollon kannalta ja karkeat hinta-arviot eri vaihtoehtoille sekä kuinka paljon eri vaihtoehdot voivat lisätä puupolttoaineiden käyttösuutta laitoksilla.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Koska projekti tähtää kahden olemassa olevan voimalaitoksen puupolttoaineiden käytön lisäämiseen, ensisijainen hyöty kohdistuu sekä mukana oleviin laitoksiin että niiden polttoainehuoltoon. Seospolttoaineille soveltuvasta, toimivasta käsittelyjärjestelmästä voimalaitos hyötyy mm. seuraavasti; laitos kykenee vastaanotamaan joustavasti useiden toimittajien erilaatuisia polttoaineita sovittuja määriä joustavasti halutussa järjestyksessä; sekoittamalla polttoaineet vastaanotossa, varastoissa ja kuljetinjärjestelmissä halutulla tavalla saadaan kattilaan energiasisältöään riittävän tasainen polttoainevirta; tasainen energiavirta pienentää kattilan säätöongelmia ja hallittu palaminen vähentää polton päästöjä.

Puupolttoainetoimittajan kannalta hyöty tulee lisääntyvinä ja monipuolistuvina alueellisina polttoainemarkkinoina sekä metsähakkeen että metsäteollisuuden sivutuotteiden osalta. Puun polttoainekäytön lisäämisellä on vaikutusta myös ympäristöön päästöjen vähenemisen kautta. Näiltä osin projektin tavoitteet yhtyvät Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteisiin.

Projektin tuloksia voidaan hyödyntää myös laajemmin. Niitä voidaan soveltaa myös muiden vastaavien lämpö- ja voimalaitosten polttoaineen käsittelyjärjestelmissä. Myös laitevalmistajat hyötyvät projektin tuloksista suunnitellessaan uusia yksittäisiä laitteita ja käsittelyjärjestelmiä uusiin laitoksiin Suomessa ja vientiin.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Laitosten kevääksi suunnitellut tarjouskyselyt ovat siirtyneet kesälomien jälkeen, joten tarjousten tekniset arvioinnit sekä loppuraportointi toteutuu syksyn 2001 aikana.

Sen jälkeen kun laitokset ovat tehneet tarvittavat puupolttoaineiden lisäkäytön edellyttämät laiteinvestoinnit ja mahdolliset muutokset polttoaineen käsittelyjärjestelmiin, suunnitellaan jatkotutkimus, jossa selvitetään muutostöiden onnistuminen. Siinä seurataan mm. polttoaineiden toimitusten ja vastaanoton toimivuutta, polttoaineiden sekoitusta ja syötön tasaisuutta kattilaan sekä yksittäisten laitteiden ja koko järjestelmän luotettavuutta ja toimivuutta eri polttoaineilla ja

seoksilla tiettynä ajanjaksona. Uusi hanke voisi olla joko erillinen projekti tai osa jotain laajempaa ohjelmaa.

7. Julkaisut ja raportit

Projektista on julkaistu maaliskuun lopussa väliraportti sekä tuloksia on esitetty Puuenergian tutkimusohjelman tutkija- ja vuosiseminaareissa.

Puupolttoaineen laadun ja tuotantotehokkuuden parantaminen haketustekniikkaa kehittämällä – PUUT18

Veli Seppänen, Jouko Aalto, Seppo Kovanen, Lauri Nikala,
Ismo Nousiainen, Jorma Salonen (VTT Valmistustekniikka) & Heikki Vartiala
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
puh. 014-672611, faksi 014-672596
e-mail: etunimi.sukunimi@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Improving wood fuel quality and chipping capacity by developing chipping technique

The goal of the project is to decrease the chipping costs and to improve forest chip quality by develop technology.

First we are looking for sources of error in the comparing study of the chipper knives sharpness. The tests proved that it's possible to use comparing study in developing great progress. To prove small differences require large amount of tests.

Later we develop more economical knives and build an experimental drum-chipper to measure cutting forces, to study feeding and to develop construction of drum.

1. Johdanto

Tässä työssä tarkastellaan metsähakkeen valmistukseen kuuluvaa haketusta. Se tapahtuu yleensä hakkuualueella palstahakkureilla ja välivarastolla sekä terminaalisissa autoalustaisilla tai traktorin perävaunuun sijoitetuilla liikuteltavilla hakkureilla. Käyttöpaikkahaketus tapahtuu kiinteillä tai siirrettävillä sähkömoottori-käyttöisillä hakkureilla. Käyttöpaikkahaketusta voidaan tehdä pienissä kohteissa myös liikuteltavilla polttomoottorikäyttöisillä hakkureilla. Tässä työssä kehitetään haketustekniikkaa, jota voidaan soveltaa riippumatta haketuspaikasta.

2. Tavoite

Projektin yleistavoite on, että tuloksia soveltamalla haketuslaitteita valmistettaessa ja käytettäessä hakkuutähteen haketuskustannusta voidaan alentaa 10 % nykytasoon verrattuna. Hakkuutähtehakkeen palakokotavoitteeksi ennen seulontaa asetetaan: \varnothing 3 mm reikäseulan läpäisevää jaetta alle 20 %, \varnothing 45 mm reikäseulan läpäisevää jaetta vähintään 95 %, yli 100 mm:n kappaleita alle 2 % ja yli 250 mm kappaleita ei ollenkaan.

3. Projektin toteutus

3.1 Teräkustannusten seuranta

Hakkureiden teräkustannuksia metsähakkeen tuotannossa on aikaisemmin selvitetty eräissä toimeksiannoissa. Terien hankinta- ja teroituskustannukset ovat olleet noin 1 mk/i-m³. Kustannukset voivat olla huomattavasti korkeammatkin kivisen hakkuutähteen haketuksessa. Terien tylsymisestä aiheutuu välittömien teräkustannusten lisäksi tuotannon menetyksiä ja lisätyötä.

Tässä projektissa tehdään Chipset 536C -hakeharvesterin ja Giant-välivarastohakkurin teräkustannusten seuranta.

Teräkustannukset näyttävät olevan suhteellisesti merkittävämmät silloin, kun kone on keskittynyt pelkästään haketukseen verrattuna koneeseen, joka sekä hakettaa että kuljettaa hakkeen metsästä. Myös hakkuutähteen kivisyyteen voi hakku-

rin käyttäjä vaikuttaa enemmän hakettaessaan palstalla, kuin hakettaessaan väli-varastolla toisten ajamia hakkuutähteitä.

Tässä hankkeessa haluttiin selvittää tarkemmin teräkustannukset hakkuutähteen ja pienpuun haketuksessa eri vuodenaikoina. Selvitys toteutetaan seurantatutkimuksena, jossa hakettaja kirjaa seurantakaavakkeelle ohjeen mukaan haketuotannon ja terien vaihdon sekä haketetun raaka-aineen.

Terien kulumista käytössä ja teroituksessa seurataan mittaamalla hakkureiden teriä uusista teristä lähtien.

3.2 Terien kulumisen mittaus

Terien kulumisen mittausta kokeiltiin neljällä eri tavalla. Terien ollessa kiinni hakkurissa koneen käyttäjä joutuu arvioimaan terien terävyyttä ja hakkeen laatua silmämääräisesti.

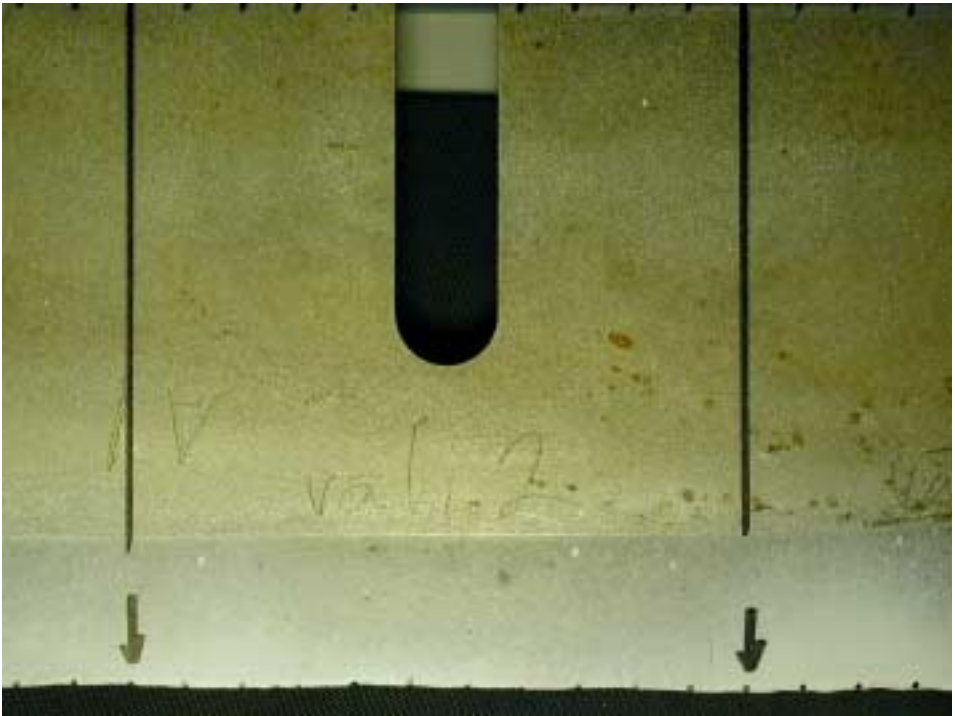
Terien ollessa irrotettuna, kenttäkelpoinen nopea mittaustapa on mitata työntömitalla tietyistä terän kohdista terä teroituksen ja käytön jälkeen. Pois kuluneen terän kärjen pituuden keskiarvo ja hajonta kertovat numeroarvona terän tylsyyksasteen. Mittausmenetelmän heikkoutena on, että mittauksia voi käytännössä tehdä rajoitetun määrän terän pituudelta. Tässä tapauksessa tehtiin mittaukset 1 cm välein terä koko pituudelta, paitsi terien kiinnityspulttien lovien kohdalta.

Kuluneen terän mittauksessa epävarmuutta aiheuttaa mittauskohdan valinta, koska terä on käytön jälkeen lohkeillut ja siten mittauskohdan muuttaminen terän pituussuunnassa muutaman millimetrin voi antaa erilaisen mittausravon. Mittauksesta johtuvaa epävarmuutta testattiin siten, että kaksi mittaajaa mittasi samat terät saman ohjeen perusteella.

Mittaukset aloitettiin digitaalisella työntömitalla, jonka lukeman mittaaja kirjasi taulukkoon käsin. Mittaajien tuloksia verrattiin laskemalla mittaustulosten erotus mittauspisteittäin. Jos poikkeama oli yli 0,5 mm tehtiin tarkistusmittaus sellaisesta pisteestä. Syynä poikkeamaan oli yleensä lukemavirhe, esimerkiksi numero 1 oli kirjattu 7 tai päinvastoin. Myös desimaalia edeltävä numeron voi helposti kirjata väärin, koska digitaalinäytön lukema muuttuu helposti työntömittaa liiku-

teltaessa. Näiden lukemavirheiden välttämiseen tulee kiinnittää huomiota ja tehdä kaksi rinnakkaista mittaussarjaa edellä kuvatulla tavalla tarkistaen, jos tulokset kirjataan käsin. Lukema- ja kirjaamisvirheiden poistamiseksi hankittiin työntömitan lukeman suoraan sähköisesti excel-taulukkoon siirtävä järjestelmä.

Terien leveyden mittaamiseen kokeiltiin myös digitaalikameralla kuvaamista, kuva 1. Terä kuvattiin kohtisuoraan runkoon nähden kuutena osana. Kuvasta rajattiin kuvankäsittelyohjelmalla terän kärki taustan ja terän värin perusteella. Käytetty digitaalikamera oli Olympus c2020 Zoom, jonka tarkkuus on 1600 x 1200 pikseliä. Terä kuvattiin niin, että koko terän leveys saatiin kuvaruutuun. Terän pituus jaettiin kuuteen osaan, jotka kuvattiin samalla tavalla. Osista mitatut kulumiset siirrettiin yhteiseen excel-taulukkoon, josta voidaan laskea terän kulumista kuvaavia tunnuslukuja ja piirtää käyriä.



Kuva 1. Digitaalikameralla kuvattu terän osa.

Kolmas kuluneisuuden mittaustapa oli mitata laboratoriossa lasermittalaitteella, kuva 2, terien teroituspinnan etäisyyttä mittalaitteesta 1 mm välein olevilta mittauslinjoilta ja kultakin linjalta 0,1 mm välein, kuva 3. Mittaus tapahtui siten 0,1 x 1 mm matriisina. Matriisin pisteessä mitattiin pinnan etäisyys, minkä perusteella laskettiin kyseisen pisteen kohdalta teroituspintaan nähden kohtisuora kuluminen.



Kuva 2. Terän kulumisen mittaus lasermittalaitteella.

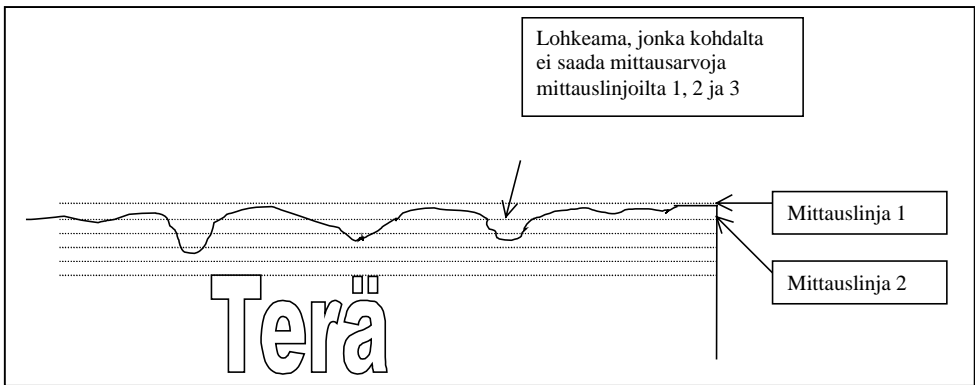
Terien kulumisen laskennassa käytettiin niitä mittapisteitä, joista mitta-arvo saatiin. Kulumisen laskennasta jäävät pois ne terän kohdat, joissa terä on kulunut kokonaan tai lohjennut pois, kuva 3.

Kulumiselle laskettiin

- kulumisen keskiarvo mittauslinjoittain,
- kulumisen hajonta mittauslinjoittain.

Kulumisen lisäksi laskettiin lohkeamisesta tai voimakkaasta kulumisesta syntyneiden kolojen

- ❑ keskimääräinen pituus mittauslinjoittain,
- ❑ pituuden hajonta mittauslinjoittain,
- ❑ pisimmän kolon pituus mittauslinjoittain,
- ❑ kolojen osuus terän pituudesta mittauslinjoittain.



Kuva 3. Terän kärjen kulumisen kuvauslinjat kuluneesta terästä. Katselu-/mittaussuunta kohtisuoraan hiontapintaa vasten.

Neljäs tapa kuvata terien kulumista käytössä on terän painon muutoksen mittaaminen. Terän kuluneisuutta ilmaisee painon muutos terän pituusyksikköä kohti [$\Delta g/m$].

3.3 Teräparin kulumisen yhtäläisyys

Rummussa samanaikaisesti kiinni olevien terien kulumisen samanlaisuutta halutaan verrata, jotta myöhemmin voidaan tehdä vertailevia tutkimuksia asentamalla koeterä ja normaaliterä, johon verrataan koeterän kulumista. Rummulle asennettujen normaali terien kulumisen samanlaisuutta verrataan t-testin avulla.

4. Tulokset

4.1 Tulokset teräkustannusten seurannasta

Teräkustannusten seuranta tehdään Chipset 536C -hakeharvesterilla ja Giant-välivarastohakkurilla. Terien vaihtovälin seuranta on tehty talviaikana 2000–2001. Tehdyllä seurantajaksolla Chipset-hakeharvesterilla tuotettiin haketta keskimäärin 350 i-m³/m (hakkurin terää) ja Giant-välivarastohakkurilla 185 i-m³/m (hakkurin terää). Yhdellä käyttökerralla hakkurin terä kapeni noin 5 mm. Kivisyys oli asteikolla 0–5 mitattuna Chipset-hakeharvesterin koekäytössä olevilla terillä 2,1 ja Giant-välivarastohakkurilla vastaavasti 1,7. Kivisyyden mittaaminen on vain suuntaa antava, koska eri kuljettajat eri hakkureilla voivat kokea samanlaisen kivisyyden erilaisena. Kivisyyden mittaamiseksi kivien määrää hakkeessa tulisi mitata terien koko käyttöjaksolta.

Terien hankintahinnan, teroituskustannusten ja terien vaihtotyön perusteella lasketaan myöhemmin teräkustannuksia.

4.2 Tulokset terän kulumisen mittauksista

4.2.1 Työntömitalla mittaus

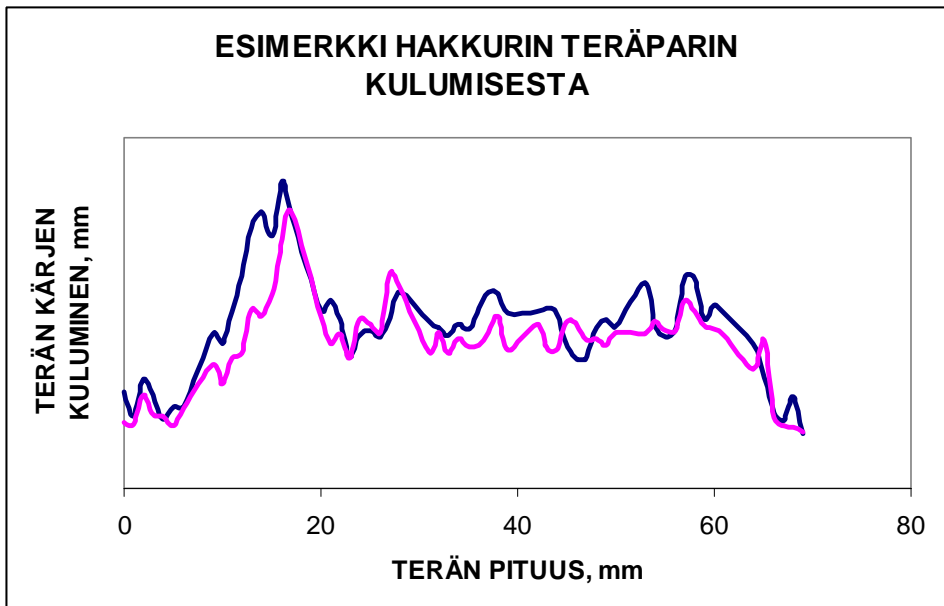
Terän kulumisen mittausta kehitettiin mittaamalla hakkurin seurantaan otettuja teräpareja. Seurantaan otetut terät olivat uudet, samoin vastaterä. Haketun materiaalin määrää ja laatua seurattiin teräkustannuskyselyn yhteydessä. Hakkuriin vaihdettiin kerrallaan kaksi terää.

Kahden mittaajan välistä tarkkuutta verrattiin, siten, että molemmat mittasivat saman ohjeen perusteella samat neljä terää. T-arvot olivat 0,14–0,98. Jotta voidaan sanoa, että mittaustulokset ovat 95 %:n todennäköisyydellä samanlaisia, t-arvon tullee olla pienempi kuin 1,98. Koska kaikissa mittauksissa arvo oli selvästi pienempi kuin 1,98, voidaan pitää hyvin varmana, että huolellisesti mitattuna, käytettyyn mittaustapaan voidaan luottaa. Mittaajien saaman kulumisen keskiarvon ero oli pienempi kuin 0,05 mm, joka on noin ±2,5 % mittaustuloksesta. Mittaustapaa parannettiin vielä hankkimalla sähköinen mittaustietojen siirto työntömitasta excel-tilukoon. Mittausmenetelmästä johtuva

virhe on $\pm 2,8\%$ ($t_{0,05}$), jos oletetaan, ettei muita virheitä ole kuin työntömitan lukematarvuuudesta syntyvä virhe.

Toisessa vaiheessa verrattiin hakkurissa samanaikaisesti käytössä ollutta kahta terää, joilla oli siten hakettu täsmälleen samaa materiaalia ja saman verran, kuva 4. Teräparien kulumisen keskiarvojen ero oli yleensä pienempi kuin 0,15 mm, joka on noin $\pm 7,5\%$ ($t_{0,05}$) mittausravosta. Mittaajan, mittausten menetelmän ja teräparin erilaisen kulumisen aiheuttamat virheet yhteensä ovat enintään $\pm 17\%$ ($t_{0,05}$).

Teräparin erilaisen keskinäisen kulumisen voivat aiheuttaa terän ominaisuudet, terän asennus ja terän iskeytyminen kiviin satunnaisesti. Kymmenessä teräparin mittauksessa 7 teräparia osoittautui kuluneen tilastollisesti samalla tavalla ja kolme eritavalla. Yksi teräpari kului kolmessa peräkkäisessä mittauksessa selvästi enemmän erilailla kuin saman hakkurin toiset teräparit. Erään toisen teräparin kohdalla erilaisen kulumisen saattoi aiheuttaa kivisen hakkuutähteen haketus.



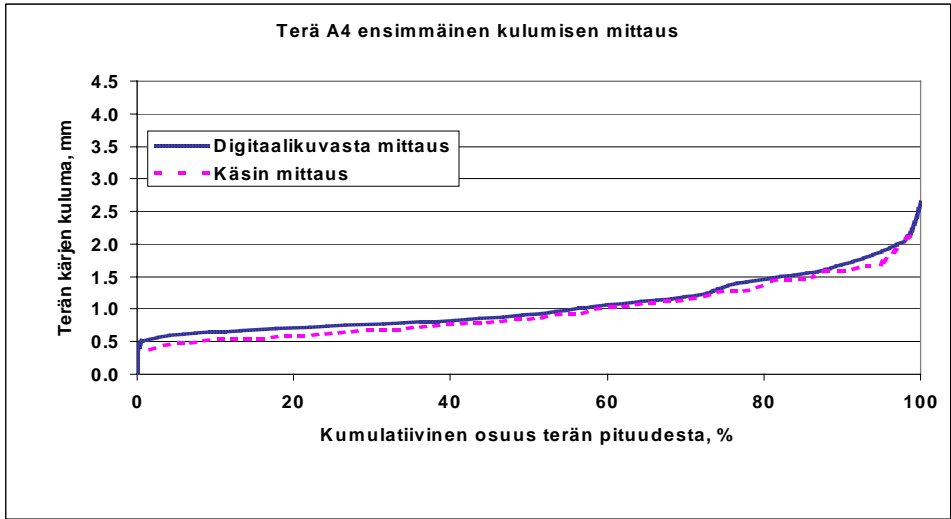
Kuva 4. Terän kärjen kuluminen terien eri kohdissa.

Tuloksen perusteella ei voida tilastollisesti olla täysin varmoja, että samalle rummulle asennetut samanlaiset terät kulumvat aina samalla tavalla. Näyttää siltä, että ainakin epäpuhdasta hakkuutähdettä haketettaessa terien kuluminen voi olla epätasaista. Tulos täytyy varmentaa riittäväällä toistomäärällä.

4.2.2 Digitaalikuvaan perustuva mittaus

Hakkurin terä kuvattiin digitaalikameralla kuutena osana. Osien rajat merkattiin terään, kuva 1. Osien rajakohdille laskettiin työntömitalla mittaauksista terän kärjen kuluminen ja saatuja pisteitä käyttäen piirrettiin suora, joka oletettiin olleen terävän terän kärjen kohdalla. Digitaalikuvasta laskettiin kuluneen terän kärjen ja terävän kärjen pituuden erot pikseleinä. Pikselin arvo millimetreinä laskettiin terän leveyden ja työntömitalla mitatun todellisen terän leveyden perusteella. Pikselin arvo käytetyllä kameralla ja kuvausetäisyydellä oli noin 0,1 mm/pikseli. Digitaalisella työntömitalla terän leveys pystyttiin lukemaan 0,01 mm, mutta asettelu huomioituna huolellisesti mitattuna tarkkuus on $\pm 0,01$ mm.

Kuvassa 5 verrataan digitaalikameran kuvasta mittausta ja työntömitalla mitattua kumulatiivista käyrää. Digitaalikuvasta mittauksessa löytyy varmemmin eniten kuluneet kohdat, koska mittauspisteitä terää kohti on noin 6500 verrattuna työntömitalla mitattuihin 58 pisteeseen. Samalla tavalla myös vähiten kuluneet pisteet tulevat esiin digitaalikuvasta mittauksessa. Digitaalikuvasta mitattu kuvaaja näyttää olevan suurimmalta osalta työntömitalla mitatun käyrän yläpuolella.

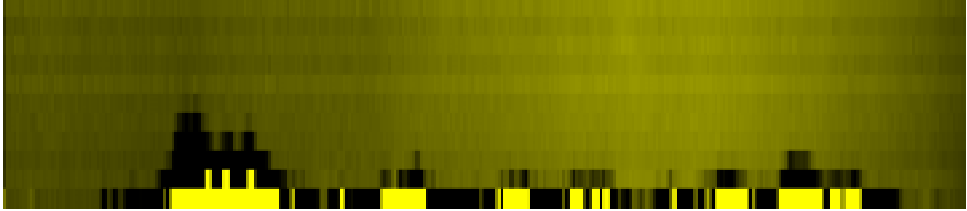


Kuva 5. Esimerkki työntömitalla käsin mitatusta ja digitaalikameran kuvasta mitatun kulumisen kumulatiivisesta käyrästä.

4.2.3 Lasermittalaitteella

Lasermittauksella mitataan terän hiontapintaan kohtisuoraa etäisyyttä mittalaitteesta. Kun hiontapinta kuluu, etäisyys suurenee. Kun terän kärki kuluu riittävästi tai lohkeaa, syntyy mittauspisteitä, jotka ovat ”reikää”. Vaikka terän kärki pyrittiin asettamaan mittaustelineeseen mittauskelkan suuntaiseksi, asetelutarkkuus on suurusluokkaa 0,1 mm. Tästä syystä terän kärjestä kulunutta mitta ei tällä menetelmällä voida tarkasti määrittää. Tämä menetelmä soveltuu kuvaamaan hiontapinnasta tapahtunutta kulumista eri etäisyyksillä terän kärjestä ja kolojen (”reikien”) osuutta ja kokoa eri mittaustasojilla.

Kuvassa 6 esitetään mitatun terän graafinen kuva siten, että terän kärki on kuvan alareunassa. Mitattu alue on 11 mm leveä kaista terän kärjestä hiontapinnalta. Mitä tummempi väri, sen kauempana pinnan etäisyys on mittalaitteesta, ts. sen kuluneempi se kohta on. ”Reikä” näkyy kuvassa vaaleana. Tulostusta on venytetty terän leveyssuunnassa, jotta 1 mm välein olevat mittaustasot erottuvat paremmin toisistaan.



Kuva 6. Laseretäisyysmittarilla mitattua terän hiontapinnan etäisyyttä mittalaitteesta kuvaa värin tummuus. Mitä tummempi väri sen kuluneempi kohta. Vaalea kohta on reikää.

Kuvasta 6 voidaan todeta tummaa väriä terän kärjestä mitatulla mittauslinjalla ja satunnaisesti sen yläpuolella olevilla mittauslinjoilla. Tumman värin määrä kertoo suuntaa antavasti terän kuluneisuuden ja lohkeamien määrän. Mittauslinjoittain lasketut reikien osuudet, reikien keskimääräiset pituudet, kulumisen keskiarvo ja hajonta esitetään taulukossa 1. Mittauksissa on käytetty kymmenen peräkkäisen mittausarvon keskiarvoa, mikä tarkoittaa vähintään 1 mm:n levyistä reikää.

Taulukko 1 . Lasermittalaitteen tulokset.

Terän nro		A1	A2	A3	A4
Reikien osuus, %	Mittauslinja 1	34,7	11,9	8,4	6,5
	Mittauslinja 2	2,1	1,3	0	0
	Mittauslinja 3	0	0	0	0
Reikien lukumäärä /keskimääräinen pituus (mm)	Mittauslinja 1	19/12,8	9/9,2	11/5,3	11/4,1
	Mittauslinja 2	3/5	2/4,6	0	0
	Mittauslinja 3	0	0	0	0

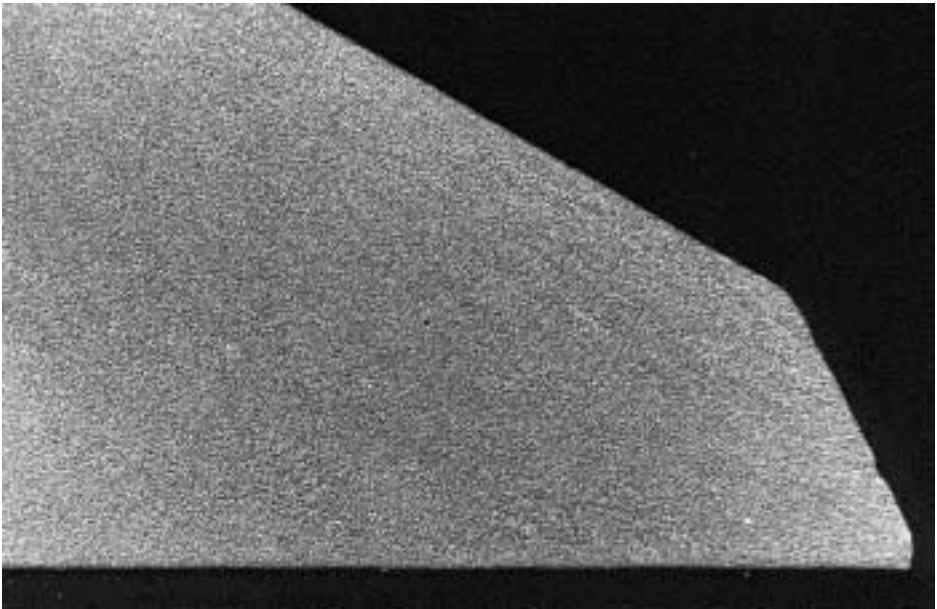
4.2.4 Teroitustapojen vaikutus terämateriaaliin

Koekäytössä olleista teristä irrotettiin terän kärjestä noin 10 mm mittaiset näytteet, joista valmistettiin metallografiset poikkileikkausnäytteet. Poikkileikkausnäytteitä tutkittiin valomikroskoopilla ja niistä mitattiin kovuuksia standardin

SFS-EN ISO 6507-1 mukaisesti Vickers-kovuuslukuina käyttäen 9,8 N:n kuormaa.

Näytteet otettiin teristä, joista yksi oli tehtaalla teroitettu, toinen oli teroitettu käytön jälkeen hiomolla ja kolmatta terää oli kevyesti kunnostettu hiomalla käsi-koneella hiontapinnan vastaiselle pinnalta vastaviiste.

Valomikroskoopilla tehdyissä tutkimuksissa todettiin kaikkien hakkurin terien olevan tutkitussa poikkileikkauksessa mikroskooppirakenteeltaan päästettyä martensiittia. Tutkituissa poikkileikkauksissa ei havaittu merkkejä teroituksen yhteydessä tulleista kuumenemisen aiheuttamista muutoksista. Esimerkkinä käsihiomakoneella teroitettu terän kärki kuvassa 7.



Kuva 7. Käsihiomakoneella teroitettu hakkurin terä. Pehmentynyt kohta näkyisi terässä tummempana.

5. Johtopäätelmiä

Hakkurin terien kulumisen mittaukseen kokeiltiin erilaisia tapoja. Niistä valittiin tässä työssä käytettäväksi työntömitalla terän leveyden mittaus. Mittaajasta ja mittausmenetelmästä johtuvat virheet testattiin ja niiden todettiin olevan alle $\pm 7,5 \%$ ($t_{0,05}$). Lisäksi teräparien erilaisesta kulumisesta aiheutuu virhettä vertailututkimuksessa mahdollisesti alle $\pm 7,5 \%$ ($t_{0,05}$). Kokonaisuudessaan koejärjestelyn ja mittauksen virhe on alle $\pm 17 \%$ ($t_{0,05}$). Koejärjestely voidaan käyttää tilanteissa, joissa haetaan selvää parannusta terän kestävyyskykyyn. Pienet parannuksen terän kestävyyskykyssä vaativat runsaasti toistokokeita.

Hankkeessa hyödynnetään teräparien mittausta kestävämmän ja taloudellisesti paremman terän kehittämisessä.

Hakkurin terien teroituksessa käytetyt menetelmät eivät tehdyissä mittauksissa osoittaneet terän kovuuden merkittävää muuttumista.

Hankkeeseen liittyen on rakenteilla VTT Energiaan rumpukoehakkuri, jolla tutkitaan puun leikkuuenergiaa, syöttötapahtuman vaikutusta haketuksessa ja rumpurakenteen vaikutusta energiankulutukseen ja hakkeen laatuun.

Metsäteollisuuden vastapainevoimantuotannon tehostaminen – PUUT17

Pekka Ahtila
Teknillinen korkeakoulu
PL 4100, 02015 TKK
Puh. 09-451 3621
e-mail: pekka.ahtila@hut.if

Abstract

Project title in English: Enhancement of back-pressure Power Production in Pulp and Paper Mills

The objective of the project is to enhance the back-pressure power generation in pulp and paper industry by increasing the degree of utilisation of secondary energy in drying and by developing new applications for drying. The project started in 1st of January 1999. The project is divided into two sub-projects: drying of activated sludge, and drying of solid wood materials.

1. Yleistä

Tutkimuksen tarkoituksena on tehostaa metsäteollisuuden vastapainevoimantuotantoa lisäämällä sekundäärienergian hyödyntämistä kuivauksessa, ja kehittämällä sovellettavia kuivaustekniikoita (alustavasti).

Tutkimus on alkanut itsenäisenä, soveltavan teknologian tutkimuksena 1.1.1999.

Tutkimuksen johtoryhmään ovat alusta pitäen kuuluneet Tekes, Stora Enso Oyj, Vapo Oy Biotech, Pohjolan Voima Oy sekä Motiva Oy. Puunenergiaohjelmaan tutkimus liittyi 1.6.2001 lähtien.

2. Tilanne ja jatkotoimet

Tutkimus jakaantuu kahteen eri osatehtävään:

1. Aktiivilietteiden kuivaus (prosessikehitys ja kuivauksen tutkiminen)
2. Kiinteän puuaineksen kuivaus (prosessikehitys ja kuivauksen tutkiminen).

Tutkimukseen liittyen on laadittu diplomitöitä ja pidetty kansainvälisiä esitelmiä.

Yllämainittujen osatehtävien jatkokehitykset kokeellisesti ja laskennallisesti jatkuvat. Jatkossa tutkimukseen liittyen laaditaan tutkijoiden tekemiä opinnäytetöitä (mm. lisensiaatintutkimukset ja väitöskirjat).

Kehityspuiteohjelma Oy Alholmens Kraft Ab:n biopolttoaineiden tuotantomenetelmien, vastaanoton ja varastoinnin kehittämiseksi sekä polttoprosessin optimoimiseksi – PUUY20

Juha Poikola
Pohjolan Voima Oy
PL 40, 00101 Helsinki
Puh. 050-3133 278
e-mail: juha.poikola@pvo.fi

Abstract

Project title in English: Oy Alholmens Kraft Ab's development program for solid biofuel procurement, receiving, storage system and advanced adjustment system for boiler

Oy Alholmens Kraft Ab has been founded to build and operate a 240 MW_e power plant beside the UPM-Kymmene paper mill in Pietarsaari. The owners are Finnish Pohjolan Voima, Katternö, Oulun seudun sähkö and Swedish Graningen, Skellefteå Kraft and Revon Sähkö. Swedish ownership is about 40% of the company Alholmens Kraft.

The annual fuel consumption is estimated to be 3500 GWh, of which about 40% is wood processing industry's by-products, 10% forest residues, 5–10% is coal and the missing 45% is peat.

With this project the target is to develop an analysis system for biofuel procurement, its availability, cost, procurement technology and logistics. Secondly project is aiming to optimize the combustion process ja minimize the corrosion and erosion risks. Thirdly project predesigned the fuel receiving system needed at the plant.

Project results proved that it is economically viable to use 400 GWh logging residues and it is possible to cover 50% of the fuel needed with wood. With this kind of power plant there is a risk of corrosion and erosion if chlorine content is not under control. The use of green forest chips must be thoroughly monitored.

1. Tausta

UPM-Kymmene Oyj:n Pietarsaaren tehtaiden yhteyteen rakennetaan biopolttoaineita käyttävä suurvoimala, Oy Alholmens Kraft Ab (kuva 1). Voimalaitos käynnistyy lokakuussa 2001. Osakkaina hankkeessa ovat Pohjolan Voima Oy, UPM-Kymmene Oyj, Kokkolan Kaupunki, Perhonjoki Oy, Päijät-Hämeen Voima Oy, Graningeverkens Abb, Skellefteå Kraft, Perhonjoki Oy, Revon Sähkö Oy, Oulun Seudun Sähkö.



Kuva 1. Alholmens Kraftin voimalaitos Pietarsaarella.

Voimalaitoksen polttoaineiden vuosikäyttö tulee olemaan noin 3,5 TWh. Siitä noin puolet tyydytetään puuperäisillä polttoaineilla. Puunkuorta ja sahanpurua Pietarsaaren tehtailta tulee noin 1 TWh:n verran. Metsäpolttoaineiden osuudeksi

tavoitellaan täydessä tuotantokäytössä 0,4 TWh, mikä vastaa noin 200 000 kiintokuutiometriä.

2. Tavoitteet ja tehtävien kuvaus

Projektin kolme päätavoitetta olivat:

1. suurvoimalaitoksen puupolttoaineiden hankinnan analyysimenetelmien ja -välineiden kehittäminen
2. polttoprosessin optimointi ja korroosionhallinta
3. suurvoimalan biopolttoaineiden vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmien esisuunnittelu.

3. Toteutus

Puupolttoaineiden saatavuutta selvitettiin alihankkijan toimesta hyödyntämällä mm. Metsäntutkimuslaitoksen tietokantoja. Tiedonvaihtoa tehtiin myös Joensuuun yliopiston kanssa.

Polttoprosessin optimointia ja korroosionhallintaa selvitettiin (jatkuu edelleen) yhteistyössä kattila- ja automaatiotoimittajan sekä VTT:n, Åbo Akademin kanssa.

Vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmien esisuunnittelu toteutettiin alihankkijan toimesta.

4. Tulokset ja niiden hyödyntäminen

Tulosten avulla voitiin voimalaitoksen polttoainehankinnan suunnittelu tehdä ja saada arvio hintatasosta.

Polttoaineen vastaanottojärjestelmä suunniteltiin projektissa tehdyn esisuunnittelun pohjalta.

Kattilan perussäädöt on projektin avulla haettu ja näiden tulosten mukaisina kattila käynnistettiin heinäkuun alussa 2001. Säättöjen viritys jatkuu käynnistymisen jälkeen.

Tuloksena saatiin polttoainespesifisiä kvalitatiivisia ennakoitui arvoja likaantumiselle, korroosiolle ja SO_x-päästöille.

5. Jatkosuunnitelmat

Voimalaitoksen käynnistyminen kesällä 2001 mahdollistaa tuotantomittakaavaisen tutkimustoiminnan laitoksen monitorointivaiheessa. Metsähakkeen hankintamäärät ja niiden kustannustaso tarkentuu volyyymien myötä, kattilatutkimuksilla selviää likaantumis- ym. riskien realisoituminen.

6. Julkaisut ja raportit

Hankkeen tuloksia esitelty lukuisissa voimalaitokseen liittyvissä esitelmissä.

Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käytettävyyteen – PUUT24

Markku Orjala & Riikka Ingalsuo

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014-672 611, faksi 014-672 597

e-mail: Markku.Orjala@vtt.fi, e-mail: Riikka.Ingalsuo@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Effect of wood fuels on power plant operability

The objective of the research is to determine the critical properties of wood fuels on the basis of power plant operability, to determine the optimal conditions for reduction of harmful detriments, and to study how the storage and processing of wood fuels effect on the operability. Both the CFB and BFB technologies are studied. The project started in December 2000 and it will be ended by the end of 2002. Experts of the Fuels and Combustion research field of VTT Energy carry out the main parts of the research. Experts of the research field of Mineral Processing of VTT Chemical Technology, located in Outokumpu, and Kemian tutkimuspalvelut Oy/Oulu University, located in Outokumpu, participate in the analytics, and the research field of Materials and Manufacturing Technology of VTT Manufacturing Technology in Otaniemi participates in the research on material effects. System Technology Laboratory of Oulu University carries out the power plant automation and boiler control technology research under supervision of Professor Urpo Kortela. Co-operation with the materials research unit of EU's JRC, located in Petten, which started in the research "Combustion of Forest Chips", will be continues in this research. Co-operation will be made with Swedish Värmeforsk in the field of information exchange on experiences in utilisation of wood fuels in Swedish power plants and possibilities to join in the projects of Värmeforsk in this research field. Following companies participate in the project: Etelä-Savon Energia Oy, Foster Wheeler Energia Oy, Kvaerner Pulping Oy, Simpele pasteboard factory of M-Real Oyj and Värmeforsk AB (Sweden).

1. Johdanto

Lisääntyvä puun käyttö voimalaitoksilla parantaa ympäristön tilaa. Puun laajoissa rajoissa vaihtelevat polttotekniset ominaisuudet asettavat kuitenkin uusia vaatimuksia tulipesäolosuhteiden optimoinnille sekä lämmönsiirtimien ja tulistimien rakenteille ja materiaaleille. Puupolttoaineiden laatumäärityksissä on mukana polttoaineen energiasisältöön vaikuttavia tekijöitä sekä käsiteltävyyteen vaikuttavia fysikaalisia ominaisuuksia. Luokitukset onkin laadittu lähinnä polttoainekaupan tarpeisiin eikä niissä juurikaan ole otettu kantaa ominaisuuksiin, joilla on palamis- ja tulipesäkäyttäytymisen takia vaikutusta voimalaitosten käytettävyyteen. Tällaisia ominaisuuksia ovat tuhkapitoisuus, tuhkan sulamislämpötila ja koostumus. Tuhkan koostumus, kuten alkalipitoisuus, fosfori-, kloori-, pii- ja kalsiumpitoisuus sekä yhdistekoostumus vaikuttavat sulamiskäyttäytymiseen, sulanmuodostukseen reaktioiden kautta ja sitä kautta kattilan lämpöpintojen likaantumiseen sekä materiaalien keston. Tarkastelun kohteena ovat puun eri osista ja eri puulajeista koostuvat polttoaineet: niin metsäteollisuuden sivutuotteet (kuori, puru, kutterilastu) kuin suoraan metsistä tulevat hakkeet.

Puupolttoaineet ovat päästöiltään ympäristöystävällisiä, mutta niiden poltto ei ole täysin ongelmaton. Näistä tyypillisimmät ongelmat ovat erityisesti helposti höyrystyvistä alkalimetalliyhdisteistä johtuvat

- petipartikkelien agglomeroituminen, mikä aiheuttaa pedin leijunnan häiriintymistä,
- toiminnan kannalta haitalliset kerrostumat erotussykloneissa,
- lämpöpinnoilla ja tulistinputkissa kerrostumat, jotka voivat aiheuttaa materiaalivaurioita,
- tulipesän alaosissa tuhkakertymät, jotka häiritsevät polttoaineen ja palamisilman syöttöä,
- selvät esimerkit korkealämpötilakorrosioista, vaikka polttoaineen klooripitoisuus on matala,

- palamisilman esilämmittimisä savukaasun korkea vesihöyrypitoisuus ja ilman matalan sisäänmenolämpötilan vuoksi kondensoitumisesta aiheutuneet vauriot.

Poltto-ominaisuuksiin vaikuttaa poltetaanko hake yksin tai käytetäänkö sitä muiden polttoaineiden joukossa. Puuenergiateknologiaohjelman aikaisemmissa tutkimuksissa (Orjala et al. 2000) on todettu laboratoriokokeiden perusteella, että metsätähdehakkeen pienikin klooripitoisuus aiheuttaa haitallisia alkalikloridikerrostumia. Kun metsätähdehakkeen sekaan lisättiin turvetta, ei vastaavaa alkalikloridikerrostumaa ollut havaittavissa. Rikkipitoisen turpeen läsnäollessa kloori vapautuu savukaasun mukana vetykloridina (HCl). Lisäksi meneillään olevissa ilmiötason tutkimuksissa on huomattu, että metsätähdehaketuhka näytti lisäävän metallin pinnan hapettumisnopeutta lämpötilatasoilla 480–530 °C. Tämä johtunee tuhkan sisältämästä kloorista, vaikka kloorin määrä tuhkassa on pieni. Tämä voidaan tunnistaa lyhytaikaisenkin altistuksen jälkeen näytteen pinnan yksityiskohtien perusteella. Kun ilmiötä tunnetaan jatkossa paremmin, voidaan tehdä johtopäätöksiä niukkaseosteisen teräksien kloorikorroosion riskistä polttokokeissa teollisuudessa käyttäen elektronimikroskopiaa halvempia analyysimenetelmiä mm. stereomikroskooppia.

Vaikka palaminen leijukerros-poltossa tapahtuu matalassa lämpötilassa tuhkan epätoivottu käyttäytyminen aiheuttaa monia ongelmia biopolttoaineita poltettaessa. Puuenergiatohjelman tutkimuksissa (Orjala et al. 2000) on havaittu, että petihiekassa tapahtuu partikkelikoon kasvua ja yhteen liimautumista metsätähdehakkeen poltossa. Hake sisältää kalsiumia ja kaliumia, jotka silikaatin kanssa muodostavat agglomeroivia aineita. Ilmiötä ei tapahtunut kun hakkeen seassa poltettiin pieni määrä turvetta.

Polttoaineen käsittelyä ja syötön tasaisuutta on tutkittu aikaisemmin MF1 ja MF2 ohjelmissa, joista on saatu hyödynnettäviä tuloksia. Lisätietoa tarvitaan vielä syötön ja käsittelyn vaikutuksesta kattilan käyttäytymiseen. Epätasainen syöttö ja sen epätasainen jakaantuminen kattilassa aiheuttaa mahdollisesti happitason ja lämpötilojen vaihtelua – vinokuormaa. Voimalaitosta edeltävä polttoaineen käsittely ja varastointi vaikuttavat polttoteknisiin ominaisuuksiin, mm. tuhkapitoisuuteen, tuhkan koostumukseen, energiatiheuteen. Optimoimalla polttoaineiden tuotantoketjua voidaan parantaa kattilan käytettävyyttä.

Suomessa arvioidaan voitavan käyttää vuonna 2010 energiantuotantoon noin 28 400 GWh:a kiinteitä puuperäisiä polttoaineita. (Electrowatt-Ekono 2000) Tästä polttoainemäärästä olisi kuoren osuus 43 %, purun 23 %, metsähakkeen 30 % sekä teollisuuden hakkeen 5 %. Metsähakkeen käyttömäärä olisi tällöin yli 4 milj. kiinto-m³ vuonna 2010. Laitoksilla metsähakkeen käytön lisäyksen vaikutusta kokonaiskäyttöön voidaan tarkastella esimerkiksi seitsemän 300 MW:n kattilan lähtökohdasta. Jos metsähakkeen käyttöä lisättäisiin näillä seitsemällä laituksella 10 % eli laituksien yhteistehosta 210 MW tuotettaisiin metsähakkeella, tarkoittaisi se 490 000 kiintokuutiometrin vuotuisen käytön kasvua, joka on likimain yhtäsuuri kuin vuoden 1998 kokonaiskäyttö (0,5 milj. m³).

2. Projektin tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on määrittää puupolttoaineiden kriittiset ominaisuudet voimalaitoksen käytettävyyden kannalta, määrittää optimaaliset olosuhteet haittojen vähentämiseksi ja selvittää millä tavalla puupolttoaineiden varastointi ja käsittely vaikuttavat käytettävyyteen.

3. Projektin toteutus

Tutkitaan puupolttoaineiden ja niiden tuhkien ominaisuuksia polttotekniikan kannalta sekä varastoinnin ja käsittelyn vaikutusta puupolttoaineiden ominaisuuksiin ja siten kattilan käytettävyyteen. Tarkastelun lähtökohtana pidetään erilaisten puupolttoaineiden soveltuvuus pääasiassa suuriin leijukerrospoltoon perustuviin kattiloihin. Mukana ovat sekä kiertoleiju- että kerrosleijutekniikat.

Tutkimus toteutetaan analysoimalla käyttökokemuksia erityyppisten puupolttoaineiden vaikutuksista voimalaitoksen ja erityisesti sen kattilan tulipesän käyttäytymiseen. Tarkastelussa otetaan huomioon laitoskohtaiset polttoaineen syöttö- ja kuljetinjärjestelmät sekä kattilatyypit. Polton kannalta haitallisten aineiden pitoisuuserot vaihtelevat polttoaineiden raaka-aineiden mukaan. Haitallisimpia komponentteja ovat kloori ja alkalimetallit (Na ja K), fosfori ja muut maaperästä puuainekseen kulkeutuneet helposti poltossa höyrystyvät ravinteet/mineraalit. Näiden määrään voidaan vaikuttaa mm. polttoaineen varastoinnilla ja käsittelyl-

lä. Lisäksi analysoidaan rikkipitoisen polttoaineen ja puun yhteispoltton päästöjä vähentävän kalsiumin ja muiden mahdollisten alkuaineiden pitoisuudet ja yhdisteostumukset.

4. Tulosten hyödyntäminen

Tulosaineistoa voidaan hyödyntää suunniteltaessa puu käytön lisäystä tai laadun vaihdosta laitoksella. Osallistuvat yritykset saavat tietoa kokeissa käytettyjen polttoaineiden turvallisista seossuhteista, niiden mahdollisista aiheuttamista ongelmista ja kuinka niitä pystytään ehkäisemään. Alussa tehtävässä selvityksessä kartoitetaan mahdolliset ongelmat ja olemassa olevat ratkaisut. Laitokset saavat näin tärkeää kokemustietoa ja mielipiteitä laajalta puupolttoaineiden käyttäjäkunnalta.

Koetoiminnassa ja mittauksissa voimalaituskattiloilla perehdytään laitoskohtaisiin käytettävyysongelmiin ja niiden ongelmien ratkaisuun.

Tuloksena saadaan

- tiedot kerrostumien muodostumisesta ja laadusta sekä lämpöpintojen likaantumisesta, jota voidaan käyttää apuna mm. nuohouksen ohjauksessa
- tieto siitä, onko syntyneissä kerrostumissa riski korroosiolle
- onko tuhkan käyttäytymisessä riski leijukerrosmateriaalin agglomeroitumiseen ja leijunnan häiriintymisen kautta alasajoon
- onko polttoaineketjut laitoksen ja kattilan käytettävyyden kannalta parhaat mahdolliset
- etukäteistietoa ennen uuden polttoaineen käyttöön ottamista, laboratoriokokeilla voidaan varmentaa polttoaineen soveltuvuus ja oikeat seossuhteet polttoon
- tietoa, jonka pohjalta voidaan arvioida lentotuhka jälkikäyttää esim. metsänlannoitukseen.

Lisäksi pyritään vastaamaan laitos- ja polttoaineseoskohtaisesti kysymykseen: Paljonko klooria saa polttoaineseoksessa olla, jotta vältetään kuumakorroosio-ongelmat?

5. Jatkosuunnitelmat

Haavan kuoren polttokokeita BFB-koelaitteella on suoritettu 5/2001 ja tulosten analysointi on meneillään. Voimalaitoskokeita suunnitellaan tehtäväksi loppuvuodesta 2001.

6. Lähteet

Electrowatt-Ekono. 2000. Puupolttoaineiden kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen vuoteen 2010. Espoo 2000, 60K02231-Q090-012. 75 s. + liitt. 9 s.

Orjala, M., Ingalsuo, R. Patrikainen, T., Mäkipää, M. & Hämäläinen, J. Combusting of wood chips, produced by different harvesting methods, in fluidised bed boilers. World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry in Sevilla, Spain 5–9 June 2000. S. 1447–1452.

Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden seospolton savukaasupäästöt – esitutkimus – PUUT25

Raili Vesterinen
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 574, faksi 014-672 598
e-mail: raili.vesterinen@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Flue gas emissions from cofiring of by-products of plywood and particle board industries

The objective of the preliminary study is to find out emission regulations for combustion of glued wood (glue, overlays, shielding material), to collect data on current emissions (possible measuring results), experiences of users and problems from use of these subsidiary fuels and on ground of results to analyse research needs. The objective of the preliminary study and possible (industry) study is to find out such combustion circumstances, that the injurious effects of cofiring were as small as possible and at least accepted by environment authorities.

1. Tausta

Suomessa on seitsemäntoista vaneritehdasta ja kolme lastulevytehdasta. Vaneria tuotettiin Metsäteollisuus ry:n tilastojen mukaan miltei 1,167 miljoonaa m³ vuonna 2000 ja vaneria 462 000 m³. Vaneri- ja lastulevyteollisuuden polttokelpoisia sivutuotteita syntyy merkittäviä määriä. Lastulevy- ja vaneriteollisuudessa on mielenkiintoa polttaa valmistuksessa jääneet lastulevyn ja vanerin reunat ja liimapuutähteet omissa kattiloissaan tai muissa voimalaitoskattiloissa. Erilaisia liima-aineita ja hartseja sisältävien lastulevyn ja vanerin reunojen

polton päästöistä ei ole riittävästi tietoa. Ympäristöviranomaiset ovat tehneet eri paikkakunnilla hieman erilaisia lupapäätöksiä vanerin reunojen ja lastulevyn sekä näiden valmistuksessa käytettävien hartsien ja kovetteiden poltosta.

2. Tavoite

Tavoitteena on selvittää liimapitoisen puun (liima, pinnoitteet, suojausaineet) polton päästömääräykset, koota tieto nykyisistä päästöistä (mahdolliset mittaustulokset), käyttäjien kokemukset ja ongelmat ko. lisäpolttoaineiden käytöstä ja tämän perusteella analysoida tutkimustarpeet. Esitutkimuksen ja mahdollisen (teollisuusvetoisen) jatkotutkimuksen tavoitteena on löytää sellaiset poltto-olosuhteet, että polton haittavaikutukset olisivat mahdollisimman pienet ja vähintään ympäristöviranomaisten hyväksymät.

3. Projektin toteutus

Esitutkimuksessa selvitetään minkälaisia päästömääräyksiä on olemassa liimapitoisen puutähteen poltosta. Kootaan tiedot nykyisistä päästöistä Ympäristökeskuksille tehdyistä mittaustuloksista. Kootaan haastattelemalla ja lähettämällä kyselylomakkeita liimapitoista puuta polttavien laitosten kokemuksia ja mahdollisia ongelmia ko. lisäpolttoaineen käytöstä. Laaditaan kirjallisuus selvitys vanerin ja lastulevyn polton päästöistä. Analysoidaan edellisten tehtävien perusteella tutkimustarpeet.

4. Projektin aikataulu ja tilanne

Projekti on esitutkimus ja se tehdään vuoden 2001 aikana. Projekti käynnistyi huhtikuussa ja päättyy syksyllä 2001. Analysoitujen tutkimustarpeiden perusteella laaditaan tutkimussuunnitelma ja käynnistetään mahdollinen jatkohanke.

5. Tulokset

Projektista ei ole vielä tuloksia.

Seurannaisvaikutukset

Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10

Timo Saksa, Leo Tervo & Kari Kautto,
Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema
77600 Suonenjoki

Puh. 017-513 811, faksi 017-513 068

e-mail: timo.saksa@metla.fi, leo.tervo@metla.fi, kari.kautto@metla.fi

Abstract

Project title in English: Effects of slash removal on forest regeneration

The amount of slash remaining on the forest regeneration areas during recovery of the slash and the variation of the amounts will be studied in this research. Soil tillage and forest cultivation work, and the quality of them at the areas there the slash has been recovered and at the areas there the slash has been left on the site will also be studied. The results of the research can be applied for developing of soil surface treatment methods and mechanical forest cultivation.

The average amount of slash on the test fields was 40 000 kg/ha (dry weight). About two thirds of the slash could be recovered during harvesting, so about 14 000 kg of slash remained on the regeneration area per hectare. At the areas there the slash had been recovered the amount of areas there the pile-ups of slash exceeded the average (40 000 kg/ha) was about 5%, while the corresponding value at the areas there the slash had not been recovered was more than 30% of the area.

Results of work measurements show that the mounding of the areas from which the slash has been removed was on the average 15% faster than at the areas there the slash had not been removed. The share of the removal of the slash of the total time required was 3.3–9.7%. This explains the differences between the yields. From the operators point of view the work at the areas from which the slash has been removed is more explicit than at the areas there the slash has not been

removed, because moving from place to place and planning of the planting sites during the work is easier.

1. Tausta

Metsähakkeen käyttö energialähteenä on 1990-luvun puolivälistä lähtien kaksinkertaistunut vuosittain. Vuonna 1999 metsähakkeen käyttö oli noin 750 000 m³ (Hakkila ym. 2001). Jatkossakin puun energiakäytön kasvu tulee suurelta osalta perustumaan metsähakkeen käytön lisäämiseen, joka merkitsee nimenomaan uudistushakkuualojen hakkuutähteen lisääntyvää käyttöä.

Etelä-Suomessa kuusikon päätehakuussa syntyy hakkuutähdettä 150–200 kg jokaista runkopuun kuutiometriä kohti (Hakkila ym. 1998). Keskimääräiselle avohakkuualalle jää hehtaaria kohti 40 000–70 000 kiloa hakkuutähdettä kuiva-aineena. Hakkuutähteet eivät ole uudistusalalla tasaisesti vaan niiden määrä vaihtelee suuresti. Paksuimmillaan maata peittää puolimetrisen havumatto. Toisaalta 30–50 % pinta-alasta jää käytännöllisesti katsoen hakkuutähteistä vapaaksi.

Hakkuutähteiden vaikutusta maanpinnan käsittelyyn ja metsänviljelyyn Suomessa ovat tutkineet mm. Hakkila (1973) ja Suni (1991). Sunin mukaan hakkuutähteiden siirtelyyn täydennysistutusalalla kului 2 % mätästyksen tehotyöajasta. Runsas hakkuutähteisyys heikensi mätäiden laatua viljelyn kannalta, mutta laatua ei mitattu eikä luokiteltu (Sunin 1991). Hakkilan (1973) mukaan hakkuutähdemäärältään keskinkertaisessa tapauksessa käsinistutuksen tuotos oli 100, runsaasti tähteitä sisältävällä alueella 76 ja tähteettömällä alueella 128. Hakkilan tutkimuksessa laikku tehtiin kourukuokalla ja istutettavat taimet olivat paljasjuurisista kuusen taimia.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on antaa luotettava ja yleistyskelpoinen kuva hakkuutähteen korjuun vaikutuksista maanmuokkaukseen, metsänviljelyyn, uudistamistulokseen ja taimikon alkukehitykseen.

Tutkimuksessa selvitetään uudistusaloille hakkuutähteiden korjuussa jäävän hakkuutähteen määrää, maanmuokkausjäljen ja metsänviljelytyön laatua käytännön uudistusaloilla. Lisäksi tutkitaan maanmuokkaus- ja metsänviljelytyötä hakkuutähteettömillä ja hakkuutähteellisillä koealueilla sekä verrataan metsänuudistamistulosta, istutustulosta ja luontaista taimettumista suhteessa hakkuutähteen määrään. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä maanpinnankäyttelymenetelmiä sekä koneellista metsänviljelyä.

3. Toteutus

Projekti koostuu neljästä osatehtävästä:

- A) Uudistamistuloksen vertailu 'hakkuutähteettömillä' ja 'hakkuutähteellisillä' aloilla (toteutus 1999–2000).
- B) Maanmuokkausjälki, istutustyön laatu ja hakkuutähteen määrä ja sen vaihtelu hakkuutähteen korjuukohteilla (2000–2001).
- C) Maanmuokkaus- ja istutustyön aikatutkimukset (2000–2001).
- D) Taimien alkukehityksen seuranta kenttäkokeilla (1999–2001).

Seuraavassa esitetään lyhyesti tuloksia hakkuutähteen määrästä ja sen vaihtelusta hakkuutähteen korjuukohteilla sekä hakkuutähteen vaikutuksesta maanmuokkaustyöhön (osatehtävät B ja C).

4. Aineisto ja menetelmät

4.1 Käytännön hakkuutähteen korjuukohteet

Hakkuutähteen määrää ja sen vaihtelua mitattiin 15 käytännön korjuukohteelta maanmuokkauksen ja istutustyön jälkeen. Samalla määritettiin muokkausjäljen ja istutustyön laatu. Uudistusalat sijaitsivat Mikkelin ja Jämsän ympäristössä.

Uudistusaloille sijoitettiin systemaattisesti 20 koealaa. Hakkuutähteen määrän selvittämiseksi näiltä koealoilta mitattiin hakkuutähdekerroksen paksuus ja määritettiin kerroksen 'laatu' (ei hakkuutähteitä, löyhä, normaali, tiivis) 13 systemaattisesti sijoitetulta mittauspisteeltä. Yhdestä näistä mittauspisteistä punnittiin hakkuutähteen tuorepaino (1 m² näytekoeala). Lisäksi jokaiselta uudistusosalta otettiin hakkuutähteestä kokoomanäyte, josta määritettiin hakkuutähteen kosteus.

Kokoomanäytteestä saadulla kosteusarvolla tuorepaino muunnettiin kuivapainoksi. Näytekoealoilta saatujen hakkuutähteen kuivapainon ja hakkuutähdekerroksen paksuuden välisellä lineaarisella regressiomallilla (laatuluokittain) hakkuutähteen kuivapainot yleistettiin kaikkiin mittauspisteisiin.

4.2 Hakkuutähteen korjuun kenttäkokeet

Koekentät rajattiin jo ennen hakkuuta alueiksi, joilta hakkuutähteet poistettiin ja alueiksi, joille hakkuutähteet jäivät. Hakkuukoneen kuljettaja huomioi tämän työssään siten, että tähteellisille alueille hakkuutähteet jätettiin kasoihin ja tähteettömille alueille mahdollisimman hajalleen. Kaikille alueille merkittiin koeruudut hakkuutähteellisille (= ei hakkuutähteen korjuuta) ja -tähteettömille (= hakkuutähteet korjattu) alueille. Ruutujen koot vaihtelivat 0,067 hehtaarista 0,25 hehtaariin. Näiltä alueilta tehtiin hakkuutähteeseen liittyvät määritykset, sekä muokkaus- ja istutustyön aika- ja tuotostutkimukset.

Hakkuutähdekerroksen paksuus mitattiin koeruuduilta systemaattisella verkostolla, jossa mittauspisteiden väli oli 2,5 m. Muutoin hakkuutähdekerroksen vaihtelun kuvaamisessa meneteltiin vastaavasti kuin käytännön uudistusaloilta tehdyissä mittauksissakin.

Koekenttien puusto oli kuusivaltaista ja kokonaispuumäärät vaihtelivat n. 260–370 m³/ha (taulukko 1).

Taulukko 1. Koekentiltä korjatut puumäärät (m³/ha).

	Kuusi	Mänty	Koivu	Yhteensä
Mikkeli, Pitkäniemi	218	38	1	257
Suonenjoki, Heinäselkä	324	19	9	352
Jämsänkoski, Salmijärvi	349	21	3	373
Pieksämäen mlk. Kurkko	258	6	4	268

(Heinolan Tähtiniemen koekentän puustotietoja ei ollut käytettävissä)

Hakkuutähteet hakettiin Mikkelin, Suonenjoen ja Jämsänkosken koekentiltä. Hakemäärät olivat seuraavat:

- Mikkeli 146 i-m³/ha
- Suonenjoki 200 i-m³/ha
- Jämsänkoski 202 i-m³/ha.

Maanmuokkaukset tehtiin kesän ja syksyn 2000 aikana Mikkelin, Suonenjoen ja Jämsänkosken sekä keväällä 2001 Heinolan ja Pieksämäen mlk:n koalueilla. Pieksämäen mlk:ssa muokkausmenetelminä olivat laikkumätästys ja äestys. Muilla alueilla laikkumätästys/mätästys. Muokkaukset tehtiin maanomistajaorganisaatioiden (Mikkelin kaupunki ja UPM-Kymmene Oyj) ohjeiden mukaisesti. Seuraavassa lyhyt kuvaus koekentittäin tehdystä muokkaustyöstä:

Mikkeli, Pitkäniemi. Koealue muokattiin 19.7.2000 tavallisella ojakauhalla varustetulla tela-alustaisella Halla HE 130 LCE kaivukoneella (kuva 1). Työmenetelmänä oli kauhaista tai koota sopiva määrä maata ja kääntää mätäs ylösalaisin takaisin kaivettuun kuoppaan. Mättäitä ei tiivistetty. Koealat: 2 kpl 40 m x 40 m ja 2 kpl 26 m x 26 m.

Suonenjoki, Heinäselkä. Koealue muokattiin 29.8.2000 urakoitsija Eero Karhun kehittämällä mätästyslaitteella. Peruskone oli tela-alustainen kaivukone Daewoo 130 LC-W Solar XT (kuva 2). Mätäs muodostettiin ja tiivistettiin yhdellä liikkeellä muokkauslaitteen hydraulisesti käännettävän teräslevyn avulla. Levyn leveys oli 70 cm ja kaarevuus 10 cm. Koealat: 2 kpl 60 m x 40 m.

Jämsänkoski, Salmijärvi. Koealue muokattiin 28.9.2000 65 cm:n levyisellä kuokkakauhalla. Peruskoneena oli tela-alustainen Samsung 130 LC kaivukone.

Työmenetelmänä oli kaivaa ja kasata riittävästi maata mättään tekoa varten. Yleensä mätäs käännettiin ylösalaisin takaisin kaivettuun kuoppaan. Maaston kivisyys vaikeutti työtä. Kaikkia mättäitä ei tiivistetty. Koealat: 2 kpl 50 m x 50 m.

Pieksämäen mlk., Kurkko. Koealue muokattiin 10.5.2001 urakoitsija Eero Karhun kehittämällä mätästyslaitteella. Laitteen käännettävää teräslevyä oli kavennettu 60 cm:iin ja kaarevuutta lisätty 16 cm:iin. Kaventaminen on parantanut laitteen käyttöominaisuuksia kivikkoisissa maastoissa ja levyn kaarevuuden lisäys parantaa mättään muotoa ja estää mättäiden liikatiivistymisen. Peruskone oli sama kuin Heinäselän koealueella syksyllä 2000, Daewoo 130 LC-W Solar XT. Koealat: 2 kpl 60 m x 40 m.

Kurkon koealueesta osa äestettiin 10.5.2001 TTS Delta II:lla. Peruskoneena oli etutelillä varustettu Valmet 860 -kuormatraktori (kuva 3). Hakkuutähteettömällä alueella äkeen nostatus oli 1 (asteikko 1–10) ja pyöritys 7 (asteikko 1–10). Hakkuutähteellisellä painatus oli vapaa ja pyöritys 6–7. Koealat: (hakkuutähteellinen) 70 m x 30 m ja (hakkuutähteetön) 60 m x 30 m.

Heinola, Tähtiniemi. Koealue muokattiin 24.4.2001 mätästyslaitteella. Peruskoneena oli tela-alustainen Hyundai 130 CCM-3 -kaivukone, joka oli varustettu Hyundai 180 LCM:n telastolla ja metsävarusteilla. Muokkaus tehtiin 60 cm leveällä kaapeliojakauhalla, jonka mätästysominaisuuksia urakoitsija oli parantanut rakentamalla kauhan sivuille 10 cm:n levennykset. (kuva 4). Ne leikkaavat kauhaisuvaiheessa kummitkerrosta mättään sivuilta ja estävät erityisesti paksukummitaisilla mailla mättään repeytymisen tai halkeamisen keskeltä. Kaikki mättäät tiivistettiin systemaattisesti. Koealat: 6 kpl 40 m x 40 m.



Kuva 1. Ojakauhalla varustettu Halla HE 130 LCE -kaivukone.



Kuva 2. Daewoo 130 LC-W Solar XT -kaivukone ja urakoitsija Eero Karhun käyttämä mätästyslaite.



Kuva 3. Pieksämäen mlk:n koekentän äestykset tehtiin TTS Delta II:lla. Peruskoneena oli etutelillä varustettu Valmet 860 -kuormatraktori.



Kuva 4. Kaapeliojakauhan mätästysominaisuuksia on parannettu rakentamalla kauhan sivuille 10 cm:n levennykset.

Muokkauksen työntutkimus tehtiin videoimalla sekä hakkuutähteetöntä että hakkuutähteellistä koealueen muokkausta. Kuvattujen alueiden pinta-alat mitattiin. Videoaineiston avulla selvitettiin muokkauksen työvaihejakamat, tehtyjen mätäiden lukumäärät ja hehtaarikohtaiset tuotosluvut. Työvaihejakaman määrittämisessä havaintovälinä oli 15 sekuntia.

5. Tulokset

5.1 Hakkuutähteen määrä ja sen vaihtelu

Hakkuutähdettä oli koekentillä keskimäärin 40 000 kg ha⁻¹ (kuivapaino). Hakkuutähteestä korjattiin talteen keskimäärin kaksi kolmasosaa. Korjuun jälkeen uudistusosalalle jäi hakkuutähdettä keskimäärin 14 000 kg ha⁻¹.

Taulukko 2. Hakkuutähteen määrä (kg ha⁻¹ kuiva-ainetta) hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömällä koeruuduilla koekentittäin.

	Ei hakkuutähteen korjuuta kg ha ⁻¹	Hakkuutähte korjattu kg ha ⁻¹	%
Mikkeli, Pitkäniemi	35 460	12 600	36
Suonenjoki, Heinäselkä	52 840	9 600	18
Jämsänkoski, Salmijärvi	26 080	10 700	41
Pieksämäen mlk, Kurkko	48 300	22 800	47
Keskimäärin	40 600	13 900	34

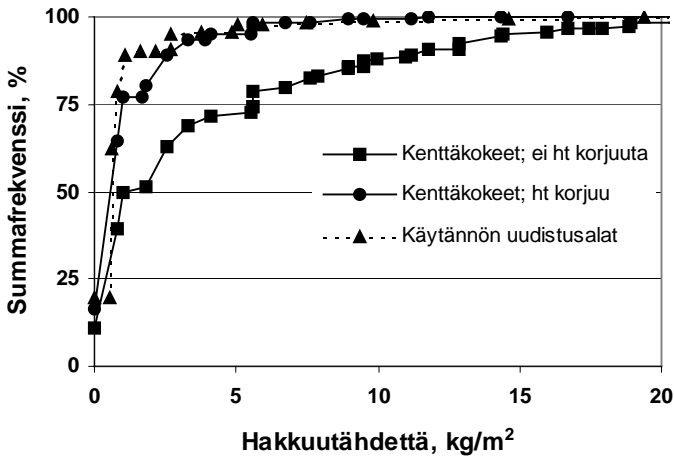
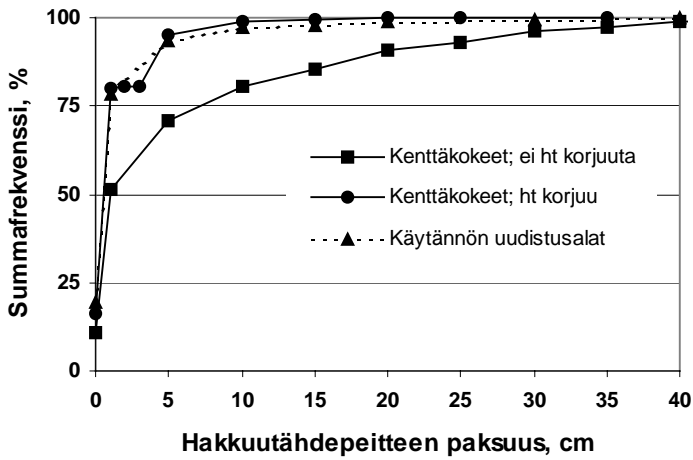
Käytännön korjuukohteilla hakkuutähteen määrä mitattiin 2–3 vuoden kuluttua hakkuusta. Lähes joka toisella uudistusosalalla hakkuutähteen määrä oli alle 10 000 kg ha⁻¹, joka kolmannelle 10 000–15 000 kg ha⁻¹ ja joka viidennessä kohteessa yli 15 000 kg ha⁻¹.

Koekentillä hakkuutähteistä vapaata maanpintaa oli ennen hakkuutähteen korjuuta keskimäärin 10 % ja hakkuutähteen korjuun jälkeen 16 % (taulukko 3). Käytännön uudistusaloilla hakkuutähteettömän maanpinnan osuudeksi arvioitiin lähes 20 % uudistusalasta. Uudistamista haittaavan hakkuutähtepeitteen (luokat normaali ja tiivis) osuus oli hakkuutähteellisillä ruuduilla keskimäärin 45 % kun sen osuus hakkuutähteen korjuun jälkeen jäi 25 %:iin.

Taulukko 3. Hakkuutähdepeitteen laatu koekentillä ja käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla.

	Kenttäkokeet Ei ht korjuuta, %	Kenttäkokeet Ht korjuu, %	Käytännön uudistusalat, %
Ei hakkuutähteitä	9,7	15,7	19,7
Löyhä	45,2	59,2	55,0
Normaali	31,7	18,0	24,1
Tiivis	13,4	7,2	1,2

Hakkuutähteellisillä koeruuduilla hakkuutähdekerros oli paksuimmillaan 80 cm ja 30 %:lla pinta-alasta sen paksuus oli vähintään 10 cm (kuva 5). Hakkuutähteen korjuun jälkeen 10 cm tai paksumpi hakkuutähdekerros löytyi 5–7 %:lla pinta-alasta. Hakkuutähteellisillä koeruuduilla yli 30 %:lla pinta-alasta hakkuutähteen kuivapaino ylitti 40 000 kg ha⁻¹ kun vastaava määrä hakkuutähdettä oli vain 5 %:n pinta-alalla hakkuutähteettömillä koeruuduilla. Tilanne oli vastaava myös käytännön korjuukohteilla.



Kuva 5. Hakkuutähdekerroksen paksuuden ja määrän vaihtelu kenttäkokeilla sekä käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla.

5.2 Hakkuutähteen vaikutus muokkaustyöhön

Hakkuutähteellisten alueiden mätästystyön tuotos oli keskimäärin 307 mätästä/tehotunti. Hakkuutähteettömillä alueilla päästiin keskimäärin 351 mätään tehotuntituotokseen (taulukko 4).

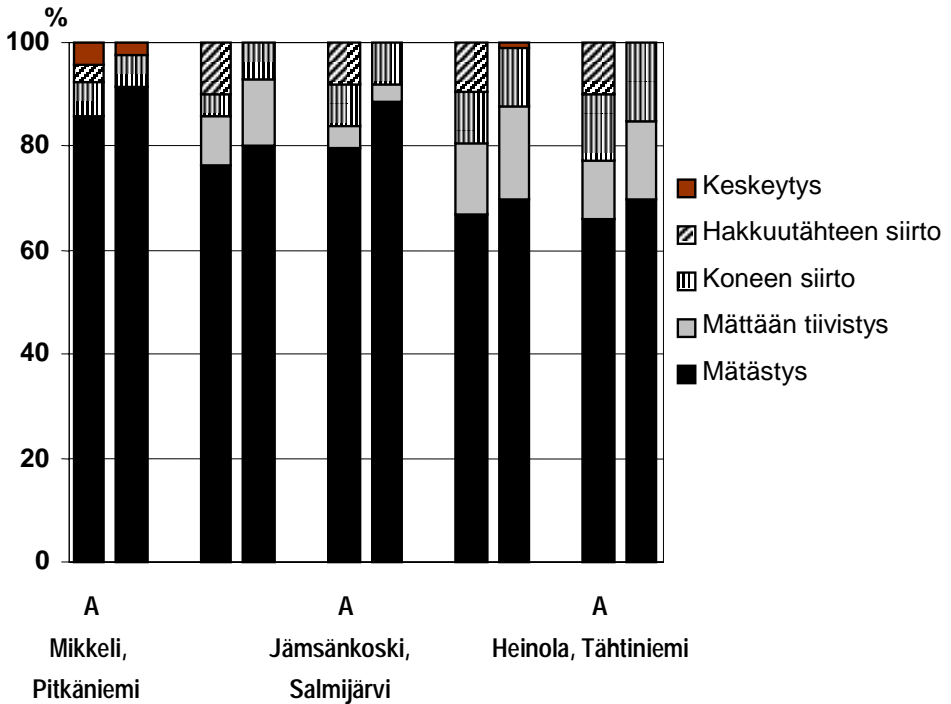
Taulukko 4. Eri koekentillä mätästystyön tehotuntituotokset ja hehtaarikohtaiset määttäiden lukumäärät (A= hakkuutähteellinen, B= hakkuutähteetön).

	Mikkeli		Suonenjoki		Jämsänkoski		Pieksämäen mlk.		Heinola	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Mättäitä/ tehotunti	255	252	280	353	353	389	326	371	321	392
Mättäitä/ ha	1509	1558	2003	2021	1470	1419	1661	1602	1388	1354

Hakkuutähteettömillä alueilla mätästys oli keskimäärin n. 15 % nopeampaa. Poikkeuksena oli Mikkelin koalue, jossa mätästyksessä ei ollut eroja hakkuutähteettömän ja hakkuutähteellisen alueen välillä. Eri koekentillä mättäiden määrä/ha oli molemmissa käsittelyissä (hakkuutähteellinen/hakkuutähteetön) samaa suuruusluokkaa.

Mikkelissä mätästystä tehtiin hakkuutähteettömällä alueella myös siten, että mätäs tiivistettiin. Tiivistämisen osuus työajan jakaumasta oli 15,5 %. Ilman tiivistystä tuotos oli 252 mätästä/tehotunti ja tiivistettynä 202 mätästä/tehotunti.

Pieksämäen mlk:ssa äestyksen tuotos oli hakkuutähteellisellä alueella 1,15 ha/tehotunti ja hakkuutähteettömällä alueella 0,92 ha/tehotunti.



*Kuva 6. Työajan jakaumat mätästyksessä koalueittain.
A=hakkutähteellinen, B=hakkutähteetön.*

Äestyksessä hakkutähteellisellä alueella peruuttamisen ja käännosten osuus oli 15,8 % ja hakkutähteettömällä 26,7 % tehotyöajasta. Muu osuus työajasta oli äestystä, hakkutähteellisellä 84,2 % ja hakkutähteettömällä 73,3 %.

Metsätilastollisen vuosikirjan (1999) mukaan keskimääräiset kustannukset olivat v. 1999 mätästyksessä 1074 mk/ha ja äestyksessä 736 mk/ha. Nämä tilastot ovat pääosin hakkutähteellisten alueiden kustannuksia. Aikatutkimusten mukaan mätästykseen keskimääräinen tehotuntituotos oli n. 15 % parempi hakkutähteettömillä alueilla.

6. Tulosten tarkastelua

Hakkilan (1991) mukaan hakkuutähteen määrä runkopuun kuutiometriä kohti on Etelä-Suomessa kuusella reilut 170 kg. Koeruuduilla, joilta hakkuutähdettä ei korjattu, oli hakkuutähdettä kuiva-aineena mitattuna yli 45 000 kg hehtaarilla. Hakkuutähteen määräksi korjattua runkopuun kuutiometriä (315 m³/ha) kohti tästä saadaan vajaat 150 kg. Kun tutkimuksessa perustettujen koekenttien seka-puustoisuus otetaan huomioon vastaavat koekenttien hakkuutähdemäärät melko hyvin keskimääräisiä olosuhteita Etelä-Suomessa.

Koekentille jäi hakkuutähdettä keskimäärin yli 30 %, mikä vastaa hyvin aiemmin tehtyjä arvioita hakkuutähteen korjuuasteesta (Hakkila ym. 1998, Oijala ym. 1999). Kun hakkuutähteitä otetaan talteen päätehakkuualoilta, kohdistuu korjuu kohtiin, joissa hakkuutähdettä on runsaiten. Suuria hakkuutähdekasauksia, joissa hakkuutähdemäärä ylitti keskiarvon (yli 40 000 kg/ha) oli 5 %:lla pinta-alasta kun vastaava tilanne ilman hakkuutähteen korjuuta oli 33 %:lla pinta-alasta.

Hakkuutähteen määrän vaihtelu oli hyvin samanlaista niin järjestetyissä kokeissa kuin käytännön uudistusaloilla. Käytännön uudistusaloilla hakkuutähteen määrä jäi hieman pienemmäksi (keskimäärin 10 600 kg/ha⁻¹) kuin koekentillä (14 000 kg/ha⁻¹). Ero johtui erilaisista hakkuutähteen määritysajankohdista. Koekentillä hakkuutähteen määrä mitattiin välittömästi hakkuun ja hakkuutähteen korjuun jälkeen mutta käytännön uudistusaloilla hakkuutähte mitattiin vasta 2–3 vuoden kuluttua hakkuusta, jolloin osa hakkuutähteen kuiva-aineesta on jo hävinnyt ja etenkin neulaset varisseet niin, ettei niitä enää saada näytteeseen mukaan. Tämän kuiva-ainetappion voidaan arvioida olevan 15–30 % kuivapainosta (ks. Nurmi 1990). Perustetut koekentät ja käytännön korjuukohteet olivat hakkuutähteen määrän ja vaihtelun osalta samankaltaisia.

Aikaisempien metsänviljelytutkimusten perusteella tiedämme runsaan hakkuutähdemäärän heikentävän maan muokkauksen tehokkuutta (esim. Hämäläinen & Kaila 1987, Tynkkynen 1974). Laikutuksen ja mätästyksen työjäljessä hakkuutähteiden aiheuttama haitta ei yleensä näy yhtä selvästi kuin äestyksessä. Sekä laikutuksessa että mätästyksessä hakkuutähteet aiheuttavat ylimääräisiä työvaiheita alentaen muokkaustyön tehokkuutta. Erityisesti laikkumätästyksessä hakkuutähteet pitää poistaa tulevan mättään 'alta' (Metsäteho 2000).

Aikatutkimustulosten mukaan hakkuutähteettömien alueiden mätästys oli keskimäärin n. 15 % nopeampaa kuin hakkuutähteellisten alueiden. Työajan jakaumatulosten mukaan hakkuutähteiden siirron osuus oli 3,3–9,7 %. Tämä selittää osan tuotoksen erosta. Kuljettajan kannalta työ on hakkuutähteettömällä alueella selkeämpää kuin hakkuutähteellisellä, koska siirtyminen ja istutuspaikkojen suunnittelu työn kuluessa helpottuvat. Hakkuutähteiden alla saattaa olla työtä haittaavia kantoja ja kiviä ja usein mättään paikka pystytään valitsemaan vasta hakkuutähteiden siirron jälkeen.

Siirtymis-työvaiheen osuus vaihteli 4,5–11,4 %:iin. Se oli pienin Suonenjoella olevalla hakkuutähteellisellä koalueella.

Pieksämäen mlk:n hakkuutähteellisellä äestysalueella tehotuntituotos oli 1,15 ha ja hakkuutähteettömällä alueella 0,92 ha. Käännösten osuus tehoajasta oli hakkuutähteettömällä alueella 10,9 % suurempi kuin hakkuutähteellisellä. Tähän oli syynä alueella olleet jättöpuuryhmät. Myös hakkuutähteellisen alueen muoto oli äestystyön kannalta edullisempi. Koneen kuljettajan mukaan hakkuutähteet eivät välttämättä vaikuta ajonopeuteen. Kuitenkin pyrittäessä laadukkaaseen lopputulokseen ajonopeus on hieman alhaisempi hakkuutähteellisillä alueilla. Muokkauksen laatuun vaikuttavat kuljettajan huolellisuuden ja ammattitaidon lisäksi äestyskoneen säädöt; lautaskulmat, painatuksen voimakkuus ja pyörintänopeus.

7. Projektin jatkosuunnitelmat

Projektia on jatkettu keväällä 2001 tekemällä kenttäkokeilla istutustyön aikatutkimus. Loppukesällä arvioidaan samoilta koekentiltä istutustyön laatua ja istutustaimien kasvuunlähtöä sekä jatketaan aiemmin perustetuilla kenttäkokeilla taimien alkukehityksen seuranta. Muutoin keskitytään aiemmin kerättyjen aineistojen analysoinnin loppuun saattamiseen sekä tulosten julkaisemiseen.

8. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Saksa, T. 2000. Hakkuutähde – hyöty vai haitta metsänuudistajalle? Teho 4: 10–11.

Saksa, T. 2000. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen. Abstract: Effects of slash removal on forest regeneration. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205: 267–279.

Saksa, T. 2000. Hakkuutähteiden poisto auttaa metsän uudistajaa. Vapoviesti 1, erikoisliite Vapoviesti-extra.

9. Viitteet

Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.

Hakkila, P. 1973. The effect of slash on work difficulty in manual planting. A sub-projekt of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues. Hakkuutähteitten vaikutus käsinistutuksen työvaikeuteen. Yhteispuhjoismaisen hakkuutähdetutkimuksen alaprojekti. Comm. Ins.For, Fen. 78.1. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja. 78.1. 36 s.

Hakkila, P., Nousiainen, I. & Kalaja, H. 2001. Metsähakkeen käyttö Suomessa. Tilannekatsaus vuodesta 1999. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2087. 39 s.

Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähde energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. 68 s.

Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Maaston vaikutus maanmuokkauslaitteiden työpöjälkeen. Metsätehon tiedotus 399.

Metsäteho 2000. Maanmuokkauksen koulutusaineisto. Helsinki 2000. 20 s.

Metsätilastollinen vuosikirja 1999.

Nurmi, J. 1990. Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa. *Folia Forestalia* 767. 18 s.

Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 27. 83 s.

Saksa, T. & Auvinen, P. 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 265–274.

Suni, J. 1991. Koneellisen korjuun hakkuutähteet ja maanmuokkaus. Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1991. Olavi Laiho & Tiina Luoto, (toim.) Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 423. 32–35.

Tynkkynen, M. 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. Metsätehon tiedotus 330.

Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien hankekokonaisuus – PUUT11

Helena Mälkki, Tiina Harju & Yrjö Virtanen
VTT Kemiantekniikka
PL 1401, 02044 VTT
Puh. 09-456 6442, faksi 09-456 7043
e-mail: helena.malkki@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Environmental aspects of wood energy

Life cycle methodology was developed and applied to assess environmental burdens and impacts of the logging and sawmill residues throughout the whole fuel chain from the forestry to energy production. Environmental aspects of the sawmill residue chains and the terrain and the roadside chipping chains for logging residues, including both the fresh and the dry chipping options, were analysed for a variety of air emissions from the chipping and the transportation machinery. The data for the energy production was acquired with emission measurements and the material balance calculations made for a energy plant. Thus the study provided a good first stage database for the life cycle assessments of wood based energy. However, many important issues, such as the processes and the time span of the forestry, nutrient economy of the forests including the various options of nutrient generation, recycling and compensating fertilisation, soil emissions, carbon cycle, radiative forcing, and biodiversity, were excluded from the agenda of the study.

1. Tausta

Ympäristövaikutusten selvittäminen puupolttoaineiden ja teknologioiden valinnassa ja muissa ympäristökysymyksissä on ajankohtainen aihe, sillä ajan tasalla olevaa tietoa tarvitaan toiminnan suunnitteluun, päätöstentekoon ja viestintään. Suomi on maailman metsärikkaimpia maita. Asiantuntemus ja kattava tietope-

rusta omista olosuhteistamme ja ratkaisuistamme auttavat bioenergian kestävästä käytön suunnittelua ja metsän hyvinvoinnin ylläpitoa. Puuperäisten polttoaineiden hyödyntämisen ympäristövaikutukset ovat moninaiset ja ne sisältävät globaalisten vaikutusten lisäksi myös paikallisia vaikutuksia, jotka ulottuvat maahan, ilmaan ja veteen. Elinkaariarviointi on kokonaisvaltainen ja systemaattinen menetelmä, joka tuottaa perustietoa moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Elinkaariarjattelun ja -lähestymistavan mukaisesti tieto hankitaan koko järjestelmän jalostusketjun osalta alkaen polttoaineen hankinnasta ja päätyen jätteiden käsitte-lyyn.

Bioenergia on Suomelle kansallisesti tärkeä asia, sillä puuenergian avulla pyritään toteuttamaan mm. Kioton tavoitteiden edellyttämiä kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä korvaamalla puuenergialla enemmän hiilidioksidia tuottavaa muuta energiaa. Puuenergian poltossa vapautuva hiilidioksidi sitoutuu puun kasvun kautta takaisin biomassaan toisin kuin fossiiliset polttoaineet uudistuvat. Kasvihuonekaasujen vaikutuksen laskennassa tärkeä huomioitava seikka on hiilen kierron nopeus eli käytetyn polttoaineen uusiutuvuuden vauhti. Bioenergian lisäys hakkuutähteiden talteenoton kautta riippuu hyödynnettävissä olevista hakkuutähteiden määristä. Metsäteollisuuden puuperäisten tähteiden määrä riippuu käytetystä ainespuun määrästä. Nykyisin teollisuuden puutähteet menevät melko tarkkaan hyötykäyttöön joko takaisin teollisuuden raaka-aineeksi tai energiantuotantoon, joten puutähteen lisäkäyttö energiantuotantoon on mahdollista ainespuun käytön lisääntymisen kautta.

2. Kokonaistavoite

Hankekokonaisuuden päätavoitteina oli kokonaisvaltaisesti selvittää puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtia soveltamalla ja kehittämällä elinkaariarviointia elinkaari pohjaisen tiedon tuottamiseen hakkuu- ja sahatähdeketjuista ja ketjun hallinnasta. Tavoitteena oli hyödyntää syntynyttä tietoa yritys- ja julkisen sektorin erilaisiin tiedon tarpeisiin, päätöksenteon tukemiseen, kommunikointiin ja viestintään. Tavoitteena oli myös selvittää ja analysoida vaihtoehtoisia puuenergian hankintatapoja, niiden kasvihuonekaasuja ja merkitystä Suomen ja Kioton sopimusten kannalta. Energiantuotantovaiheen materiaalitaseen ja päästöjen mitausten avulla tavoitteena oli tuottaa kohdistettua tietoa hakkuutähteiden polton päästöistä koko liiketoimintaketjun ympäristönäkökohtien arviointiin.

3. Hankekokonaisuus

Hankekokonaisuus toteutettiin VTT Energian ja VTT Kemianteeniikan tutkijoiden toimesta ja vastuullisena johtajana toimi erikoistutkija Helena Mälkki. Hankekokonaisuus koostui seuraavista osahankkeista:

Osahanke 1) Puuenergiaketjun elinkaariarviointi ja ympäristöindikaattorit. Projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Helena Mälkki VTT Kemianteeniikasta. Osahankkeen rahoitukseen osallistuivat Tekes, Biowatti Oy, Kainuun Sähkö Oy, Pohjolan Voima Oy, Vapo Oy ja VTT Kemianteeniikka.

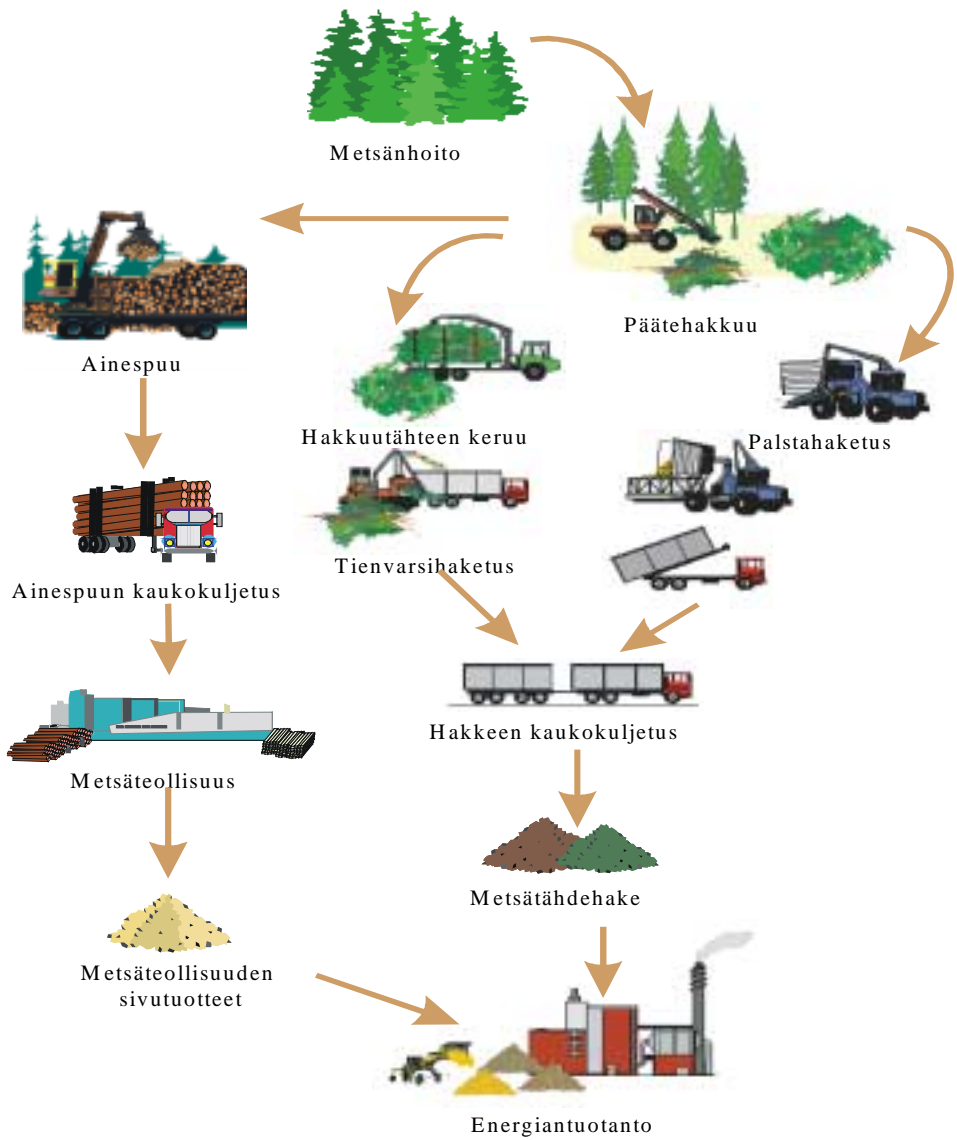
Osahanke 2) Puuenergian käyttövaihtoehtojen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa. Projektipäällikkönä toimi tutkija Margareta Wihersaari VTT Energiasta. Osahankkeen rahoitukseen osallistuivat Tekes ja VTT Energia. Tulokset on raportoitu Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirjassa 2000.

Osahanke 3) Puuenergiapolton materiaalivirrat. Projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Tiina Harju VTT Kemianteeniikasta. Osahankkeen rahoitukseen osallistuivat Tekes, Energia-alan Keskusliitto ry Finergy/Suomen Kaukolämpö ry ja VTT Kemianteeniikka.

4. Puuenergiaketjun elinkaariarviointi ja ympäristöindikaattorit-osahanke

4.1 Toteutus

Yleiskuva puuenergiajärjestelmästä on kuvassa 1. Laskennan lähtökohtana oli yhden hehtaarin suuruinen kuusikon uudistushakkuualue, jolta runkopuu ja hakkuutähde hankittiin. Järjestelmien elinkaaret alkoivat metsänhoidosta ja etenivät puukattilalaitokselle, jossa puubiomassan kemiallinen energiapotentiaali muutettiin poltossa hyötyenergiaksi. Tarkastelluissa järjestelmissä energiantuotantoon käytettävä puubiomassa oli joko metsän hakkuusta tai sahauksesta tähteeksi jäänyttä materiaalia. Tutkimuksessa inventointiin melko monia oleellisia järjestelmävaihtoehtoja eri toiminnallisilla yksiköillä, jotka ovat taulukossa 1.



Kuva 1. Tutkimuksessa tarkastellun puuenergiajärjestelmän yleiskuva.

Taulukko 1. Tutkimuksessa tarkastellut toiminnalliset yksiköt laskettuna tuotettuna energiana.

Toiminnallinen yksikkö	Hakkuutähde (tuore/vihreä)	Hakkuutähde (kuiva/ruskea)	Piensahan sivutuotteet	Teollisuus-sahan sivutuotteet
1 MWh pa-energiana voimalaitoksen portilla	X	X		
1 MWh tuotettu hyötyenergia	X	X	X	X
1 ha metsää (kuusikko)	X	X	X	X
2,5 milj. m ³ hakkuutähdettä	X	X		
8,6 milj. m ³ vihreää hakkuutähdettä	X			
5,6 milj. m ³ ruskeaa hakkuutähdettä		X		
3 milj. m ³ kuorta				X
1,5 milj. m ³ sahanpurua, kuorta ja sahaketta			X	

Tutkimuksessa järjestelmien mallinnuksessa käytetyt tiedot muodostettiin osin kirjallisuuslähteitä hyödyntäen ja osin kentältä hankittuja prosessitietoja soveltaen (taulukko 2). Voimalaitoksella suoritettujen päästömittausten avulla hankittiin tietoa tuoreen ja kuivan metsätähteen energiapolton päästöistä. Lisäksi hankittiin kuoren poltosta mittaustietoja (Tolvanen 1997) täydentämään sahan sivutuotteiden energiakäytön ympäristökuormitusten ja -vaikutusten analysointia. Voimalaitosmittaustulosten pohjalta tehtiin polton ainetaselaskelmat ja niitä hyödynnettiin elinkaariarviointimallin rakentamisessa. Malleja muodostettaessa käytettiin hyväksi tilastotietoja puun käytön ja pien- ja teollisuussahatähteen muodostumisesta ja käytöstä Suomessa. Sahaprosessi selvitettiin sahatuotteen antamien tietojen avulla. Näitä tietoja käytettiin mm. sahan energian käytön kohdentamisessa syntyville sahatähteille.

Taulukko 2. Elinkaariarviointilaskelmissa käytettyjä lähtötietoja.

Kohde	Laskentaperusta	Lisätietoja
Pinta-ala	1 ha	Kuusikko
Runkopuu	200 m ³ /ha	Kuusikon runkopuun saanto
Runkopuu	390 kg, k.a./m ³	
Runkopuu	78 000 kg, k.a./ha	Runkopuun saanto uudistushakkuussa
Hakkuutähde	155 kg, k.a./m ³ runkopuuta	Vaihteluväli 115–195 kg, k.a./ha runkopuuta
Hakkuutähde (kuiva)	465 kg, k.a./m ³	
Hakkuutähde (tuore)	425 kg, k.a./m ³	
Hakkuutähde	31 000 kg, k.a./ha	Hakkuutähteen kuivamassa uudistushakkuussa, vaihteluväli 23 000–39 000 kg, k.a./ha
Hakkuutähde	70 %	Talteen saatu osuus keruussa palstalta
Hakkuutähdehake	165 kg, dry/i-m ³	Haketettu irtokuutiometri
Hakkuutähdehake	0,42 m ³ /i-m ³	Tiiviys haketetulle irtokuutiometrilte
Kuusipuun hakkuutähde		
- puuaines	46 %	Elävien oksien kuivamassasta
- kuori	28 %	Elävien oksien kuivamassasta
- neulaset	36 %	Elävien oksien kuivamassasta

4.2 Hakkuu- ja sahatähdeketjujen elinkaariarvioinnin tulokset

Hakkuutähdeketjujen elinkaariarviointi sisälsi palsta- ja tienvarsihaketusetjujen tulokset laskettuina tuoreelle eli vihreälle ja kuivalle eli ruskealle hakkuutähdeelle. Sahatähdeiden elinkaariarviointi käsitti pien- ja teollisuussahan tähteiden ketjut. Pien- ja teollisuussahaketjujen tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään, sillä niiden toiminnot ja toimintatavat ovat erilaisia, kuten myös niiden sivutuotteet ja niiden markkinat. Pien- ja teollisuussahaketjut eivät siis ole toisiaan korvaavia vaihtoehtoja. Tarkastelut sisälsivät elinkaari-inventaariotulokset ja niihin

perustuvat vaikutuspotentiaalien kertymät valituissa ympäristövaikutusluokissa, sekä järjestelmien energiatehokkuudet ja tuotetut hyötyenergiat.

4.2.1 Energiatehokkuuden tunnuslukuja

Hakkuu- ja sahatähdeketjujen energiahyötysuhteen tarkastelu osoitti, että koko tähdebiomassan energiapotentiaalista hyödynnetään 28–42 %. Tähdebiomassassa olivat mukana myös tähteelle allokoituiden kannot ja juurakot. Osa kannoista ja juurakoista allokoitiin runkopuun osuudelle. Hakkuutähteen maanpäällisen osuuden lämpösisällöstä saatiin hyötyenergiaksi 34–50 %. Hävikkiä tapahtui hakkuutähteen keruussa ja voimalaitoksella. Hankintaketjun työkoneiden polttoaineiden kulutukset ja niiden valmistusketjut muodostivat 3,7–2,8 % hakkuutähteellä tuotetusta hyötyenergiasta.

Pien- ja teollisuussahaketjujen elinkaari-inventaariotuloksista laskettiin samat energiatehokkuutta kuvaavat tunnusluvut kuin metsätähdeketjujenkin kohdalla. Tunnusluvut osoittivat, että sahatähdeketjuun allokoitun puubiomassan energiapotentiaalista hyödynnettiin 57–81 %. Puubiomassassa olivat tällöin mukana osuudet kannoista ja juurakoista. Suhteessa runkopuun biomassaan (ilman juurakoita ja kantoja) saatiin hyötyenergiaksi 59–94 %. Hankintaketjun työkoneiden polttoaineiden kulutukset, sahoilla käytetty ulkopuolinen sähkö ja lämpö sekä niiden valmistusketjut muodostivat 4–23 % koko sahan sivutuotteilla tuotetusta hyötyenergiasta.

4.2.2 Päästöt ja ympäristövaikutukset tähdeketjuille

Hakkuu- ja sahatähdeketjuille laskettiin yksikköpäästökertoimet hiilidioksidille, typpioksiduulille, metaanille, typen oksideille, rikkidioksidille, hiukkasille ja maaperään joutuville öljyille. Kertoimet laskettiin lisäksi erikseen ruskealle ja vihreälle hakkuutähdeketjuille. Voimalaitoksen portille tehdyssä tarkastelussa on energiaketjut katkaistu energialaitoksen vastaanottoon, ts. polttoprosessi ei ole mukana arvioissa. Laskelmat osoittivat, että palstahaketus olisi jonkinverran tienvarsihaketusta edullisempi menetelmä päästöjen suhteen. Sahaketjuissa teollisuussahaketjun hiilidioksidipäästöt osoittautuivat pienemmiksi kuin piensahaketjun hiilidioksidipäästöt laskettuna tuotettua hyötyenergiaa kohden. Hiilidiok-

sidipäästöt laskettiin kaikissa tapauksissa bruttomääräisinä ja kasvussa sitoutuvaa hiilidioksidia ei vähennetty näistä koko ketjua kuvaavista luvuista. Tutkimuksessa tarkasteltiin sitten vielä erikseen tähdeketjujen hiilitaseet, joissa selvitettiin järjestelmien hiilen sitomisen ja vapautuksen muodot sekä niiden suhteet.

4.2.3 Päästöjen jakautuminen yksikköprosesseille

Kaikissa hakkuu- ja sahatähdeketjuissa bruttohiilidioksidipäästöt syntyivät valtaosaltaan, noin 98-prosenttisesti polttovaiheessa. Voimalaitoksen portille toimitetun hakkuutähdeketjun suurin hiilidioksidipäästön aiheuttaja oli hakkuri, jos polttovaihetta ei laskettu mukaan. Rikkidioksidipäästöt tulivat poltosta ja työkoneista. Ruskean hakkuutähteen ketjussa koneiden osuus korostui enemmän kuin vihreän hakkuutähteen ketjussa, koska työkoneita käytettiin enemmän. Typen oksidit tulivat enimmäkseen poltosta. Hiukkaspäästöjä tuli myös eniten poltosta. Maaperään suuntautuvia öljypäästöjä syntyi työkoneista, hakkurista, metsätraktorista ja harvesterista.

4.2.4 Hyötyenergiat eri toiminnallisilla yksiköillä

Hakkuu- ja sahatähteillä tuotettuja hyötyenergioita tarkasteltiin useilla eri toiminnallisilla yksiköillä (taulukko 3). Yhden hehtaarin suuruisen kuusikon päätehakkuualalta saatiin tutkimuksen mukaan ruskealla metsätähteellä tuotettua 58 MWh hyötyenergiaa ja vihreällä metsätähteellä vastaavasti 86 MWh. Ero johtui siitä, että hakkuutähteen saanto on suurempi, kun se kerätään tuoreena eli vihreänä. Neulaset varisevat varastointipaikalle, kun hakkuutähteen annetaan kuivua ja saanto täten pienenee. Metsäntutkimuslaitoksen (Hakkila & Fredriksson 1996) arvioimaan korjuukelpoisen ruskean hakkuutähteen kokonaismäärään, 5,6 milj. m³/vuosi perustuva laskelma antoi tulokseksi noin 10 TWh tuotettua hyötyenergiaa ja vastaava vihreän hakkuutähteen arvio, 8,6 milj. m³/vuosi noin 15 TWh tuotettua hyötyenergiaa vuodessa. Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on lisätä metsätähteen käyttö vuoden 1998 tasosta viisinkertaiseksi vuoteen 2003 mennessä. Tämä tavoite on metsähakkeena 2,5 milj. m³/vuosi, mikä vastasi tuotettuna hyötyenergiana noin 4,2 TWh/v.

Sahaketjujen tuottamaa hyötyenergiaa tarkasteltiin pien- ja teollisuusahaketjuille. Piensahoille toimitetusta ainespuumäärästä tulee noin 55 % sahatähteinä energiantuotantoon vastaten hehtaarilta 158 MWh hyötyenergiana. Teollisuussahoilta saadaan ainespuusta kuoren osuus energiantuotantoon, mikä antoi hehtaaria kohden 47 MWh hyötyenergiaa. Metsäteollisuuden tilastojen perusteella las-kettujen tietojen mukaan piensahoilta saatiin energiantuotantoon vuonna 1998 sahatähdettä 1,5 milj.m³/vuosi vastaten tuotettuna hyötyenergiana noin 2 TWh/v ja teollisuussahoilta saatiin vastaavasti kuorta 3 milj.m³/vuosi vastaten tuotettuna hyötyenergiana noin 6 TWh/v.

Taulukko 3. Tuotetut hyötyenergiamäärät (MWh/TWh) laskettuina pinta-alan, vuosittaisen korjuukelpoisen metsätähdepotentiaalin ja vuosittaisen sahoilla tuotetun tähteen mukaisesti.

Tuotettu energia ^{x)}	1 ha (MWh)	5,6 milj. m ³ (TWh)	8,6 milj. m ³ (TWh)	1,5 milj. m ³ (TWh)	3 milj. m ³ (TWh)
Hakkuutähde, ruskea	58	10			
Hakkuutähde, vihreä	86		15		
Piensahat ^{xx)}	158			2	
Teollisuussahat ^{xxx)}	47				6

^{x)} hakkuumenetelmä: kuusikon päätehakkuu

^{xx)} kaikki sahatähteet energiantuotantoon: sahanpuru, sahan hake ja kuori

^{xxx)} vain kuori energiantuotantoon

4.3 Polttoaineiden väliset vertailut

Tutkimuksessa vertailtiin tutkittuja puutähdejärjestelmiä kivihiihi-, maakaasu- ja turve-energiantuotantoon. Vertailulaskelmien tulokset ovat kuitenkin epävarmoja, koska vertailujärjestelmistä ei ollut mahdollista tehdä täydellisiä elinkaariarvioita. Vertailulaskelmien mukaan primäärienergian käyttö oli tehokkainta turpeella ja teollisuuden sahatähteellä energiaa tuotettaessa. Vihreän hakkuutähteen primäärienergian käyttö oli tehokkaampaa kuin ruskean. Ilmaston lämpenemispotentiaalit (kg CO₂-ekv.) ja happamoitumispotentiaalit (kg SO₂-ekv.) olivat pienimmät puutähdekettjuille. Ilmaston lämpenemispotentiaali oli pienempi vihreälle kuin ruskealle hakkuutähteelle. Happamoitumispotentiaali oli puolestaan toisinpäin, eli ruskealle hakkuutähteelle pienempi kuin vihreälle. Ruskean hakkuu-

tähteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöt olivat pienemmät kuin vihreällä hakkuutähteellä. Metaani- ja typpioksiduulipäästöt olivat pienet kaikille puutähdejärjestelmille.

4.4 Yhteenveto ja keskustelua elinkaariarvioinnin tuloksista

Elinkaariarvioinnin lähtötiedot ovat tässä tutkimuksessa ilmeisen epävarmoja. Kirjallisuuslähteissä annetaan suuresti vaihtelevia arvioita esimerkiksi tähteidien materiaaliominaisuuksille ja työkonoiden käyttötuntituottavuuksille ja päästöille, joilla on suuri merkitys elinkaariarvioinnin antamiin tuloksiin. Tiedoissa ilmevä hajonta johtunee enimmäkseen havaintokohteissa esiintyvistä olosuhteiden eroista. Epävarmuutta voitaisiin vähentää yhtäältä elinkaari- lähtöisillä kentätutkimuksilla. Toisaalta tulisi elinkaari- tarkasteluja laajentaa erilaisiin olosuhteisiin ja toiminnan kokoluokkiin, jotta elinkaariarvioinnin tulokset voitaisiin yleistää koskemaan kaikkea Suomessa tuotettua puutähdettä.

Tutkimus kohdistui yleistäen Suomen olosuhteisiin, mutta se ei kuitenkaan välttämättä anna läpileikkausta Suomen puuenergian käytöstä, koska mm. isoja kattilalaitoksia, jotka edellyttävät toisenlaista polttoainelogistiikkaa kuin tarkastelussa lähtökohtana käytetyt pienehköt energialaitokset, ei tarkasteltu. Toisaalta tutkimuksessa ei tarkasteltu myöskään pieniä lämpökeskuksia, joiden tiedetään poikkeavan mm. yksikköpäästöjen suhteen suuremmista kattilalaitoksista.

Tutkimus toi esille monia oleellisia uusia kysymyksiä puuenergian ympäristökuormituksista ja kestävyysnäkökohdista. Tärkeimpiä näistä ovat metsänhoidon ja puunkäytön vaikutukset maaperän hiili- ja ravinnetaseisiin ja metsien elinvoimaisuuteen erilaisissa metsätähteidien talteenottovaihtoehdoissa. Ympäristönäkökulmasta tärkeä kysymys on myös keinolannoituksen ja tuhkan kierrätykseen perustuvien ratkaisujen etsiminen ja elinkaari- vertailu. Näitä aiheita ehdotetaan tutkittaviksi tutkimuksen toisessa vaiheessa.

5. Puuenergiapolton materiaalivirrat -osahanke

5.1 Toteutus

Hankkeessa tehtiin mittaukset Forssan Energia Oy:n Kiimassuon lämmitysvoimalaitoksella, jossa on leijupetikattila. Peruspolttoaine koostuu puuteollisuuden sivutuotteista kuten purusta ja kuoresta sekä metsätähdehaksesta, rakennusjätteestä ja muista puupitoisista polttoaineista. Voimalaitoksen tekniikka mahdollistaa kuitenkin lähes kaikkien polttoainevaihtoehtojen käytön. Voimalaitoksella käytetään puupolttaineiden ohella myös jonkin verran yhdyskuntajätteestä valmistettua REF-uusiopolttoainetta ja turvetta.

Mittaukset tehtiin käyttäen kolmea eriä polttoaineseosta (kuusipuuta):

- 1) 54 p-% hake + 46 p-% puru (kuivaa polttoainetta)
- 2) 26 p-% hake + 22 p-% puru + 52 p-% ruskeahake (kuivaa polttoainetta)
- 3) 27 p-% hake + 24 p-% puru + 49 p-% viherhake (kuivaa polttoainetta).

Ruskeaa metsätähdehakea oli varastoitu ennen polttoa noin kuukauden ajan (lokakuun puolesta välistä marraskuun loppuun vuonna 1999) eli neulaset olivat muuttuneet ruskeiksi, mutta kaikki neulaset eivät olleet vielä varisseet. Vihreä metsätähdehake tuotiin laitokselle polttoon tuoreena välittömästi hakkuun tapahduttua eli sitä ei välivarastoitu lainkaan.

Mittaukset tehtiin kuuden päivän aikana, jolloin tehtiin rinnakkaismittaukset kahtena peräkkäisenä päivänä jokaisella polttoaineseoksella. Laitoksen maksimi sähköteho on 17,2 MW ja maksimi lämpöteho on 48 MW. Mittausten aikana laitosta ajettiin vajaalla teholla lauhan sään vuoksi, jolloin sähköteho oli noin 10 MW ja lämpöteho oli noin 30 MW. Mittausjaksojen pituus oli kuusi tuntia päivittäin. Savukaasujen raskasmetallipitoisuudet mitattiin ja määritettiin kaikki laitoksen sisään ja ulostulevat massavirrat sekä analysoitiin niiden sisältämät raskasmetallipitoisuudet. Tällöin voitiin määrittää kaikkien kolmen polttoaineseoksen polton aikaiset raskasmetallitaset (As, Cd, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb).

Savukaasuista mitattiin raskasmetallien lisäksi hiukkaspitoisuus, hiukkaskokojakauma, peruskaasut (SO₂, NO_x, HF, HCl, CO), kasviuonekaasuja (CO₂, N₂O, CH₄) ja lisäksi kosteuspitoisuus. Savukaasujen kokonaishiukkaspitoisuusmitaukset tehtiin manuaalisesti akkreditoidulla menetelmällä, joka perustuu standardiin SFS 3866. Savukaasujen hiukkaskokojakaumamittaukset tehtiin jatkuvatoimisesti sähköisellä alipaineimpaktorilla, jolla voidaan mitata hiukkaskokoalue 0,030–10 µm. Savukaasuista mitattiin jatkuvatoimisesti CO, CO₂, H₂O, NO_x, N₂O, SO₂, HCl, HF ja CH₄ FTIR-analysointorilla. Polttoainenäytteistä analysoitiin polttoaineen koostumus eli kosteus, haihtuvat, tehollinen lämpöarvo, tuhka-, rikki- ja typpipitoisuus. Lisäksi tuhkanäytteistä määritettiin palamattomat.

5.2 Tulokset

Eri polttoainetyyppien ja seospolttoaineiden ominaisuuksien analyysitulokset ovat rinnakkaisnäytteiden osalta samansuuruisia (taulukko 4). Poikkeuksena on rinnakkaisten hakenäytteiden tuhkapitoisuus. Kosteuspitoisuus on analysoiduissa näytteissä kaikkein pienin hakkeessa ja suurin vihreässä metsätähdehakkeessa. Korkein tuhkapitoisuus on analysoiduista puunäytteistä ruskeassa metsätähdehakkeessa. Saapumistilaisen polttoaineen tehollinen lämpöarvo on alhaisin vihreällä metsätähdehakkeella ja korkein hakkeella. Purun ja hakkeen rikki- ja typpipitoisuudet ovat hyvin pieniä (lähes rikittömiä) verrattuna ruskean ja vihreän metsätähdehakkeen rikki- ja typpipitoisuuksiin: ruskean ja vihreän metsätähdehakkeen rikkipitoisuuksiin on noin viisinkertainen ja typpipitoisuus noin kymmenkertainen purun ja hakkeen typpipitoisuuteen. Ensimmäinen vihreä metsätähdehakenäyte näyttäisi rikki- ja tuhkapitoisuuksien osalta vastaavan ruskeaa metsätähdehaketta, mutta muiden analyysitulosten osalta se vastaa vihreän metsätähdehakkeen rinnakkaisia näytteitä.

Taulukko 4. Polttoaineanalyysit.

Näyte	Kosteus m-%	Tuhka m-% k-a.	Haihtuvat m-% k-a.	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aine MJ/kg	Tehollinen lämpöarvo saap.tila MJ/kg	Rikki m-% k-a.	Typpi m-% k-a.
Sahanpuru	53.7	0.1	86.9	18.92	7.45	0.008	0.06
Sahanpuru	55.1	0.1	86.0	18.94	7.16	0.006	0.06
Hake*	35.5	2.8	84.1	18.80	11.26	0.013	0.05
Hake*	38.9	1.5	85.8	18.71	10.48	0.008	0.05
Ruskeahake	54.0	3.7	75.8	19.39	7.60	0.038	0.48
Ruskeahake	53.6	3.7	76.1	19.47	7.73	0.041	0.54
<i>Viherhake</i>	59.3	2.3	77.0	19.82	6.62	0.041	0.51
Viherhake	61.3	2.4	77.4	19.97	6.23	0.049	0.63
Viherhake	59.9	2.8	77.2	19.83	6.49	0.047	0.60
Seospolttoaine	51,2	1,2	85,1	18,83	7,94	0,007	0,06
Seospolttoaine	52,9	1,1	84,1	18,82	7,57	0,007	0,08
Seospolttoaine	47,9	2,7	78,5	18,96	8,71	0,025	0,31
Seospolttoaine	50,4	4,0	78,7	18,98	8,18	0,028	0,32
Seospolttoaine	49,6	2,2	79,6	19,28	8,51	0,026	0,33
Seospolttoaine	54,0	2,4	79,8	19,26	7,54	0,028	0,32
<i>Seospolttoaine</i>	45,5	1,6	85,5	-	9,2	0,011	0,05
<i>Seospolttoaine</i>	45,5	1,6	85,5	-	9,2	0,011	0,05
<i>Seospolttoaine</i>	50,2	2,7	80,4	-	8,3	0,025	0,27
<i>Seospolttoaine</i>	50,0	2,7	80,6	-	8,4	0,026	0,31
<i>Seospolttoaine</i>	54,8	1,6	83,6	-	7,4	0,027	0,32
<i>Seospolttoaine</i>	54,1	1,7	81,9	-	7,5	0,025	0,30

* Hake on tehty tyvilahon rungon alaosasta.

* Ensimmäiset kuusi seospolttoainenäytettä ovat todellisia näytteitä ja seuraavat kuusi (kursivoitu) seospolttoainetta analyysituloksineen ovat laskennallisia arvoja.

Kattilaan menevästä seospolttoaineesta otettiin näytteet, jotka analysoitiin. Lisäksi laskettiin seospolttoaineille laskennalliset analyysitulokset, kun tiedettiin polttoon syötettävän seospolttoaineen sisältävän tietyn massaosuuden kutakin polttoainetyyppiä. Seospolttoaineen analyysitulokset vastasivat melko hyvin seospolttoaineen laskennallisia analyysituloksia.

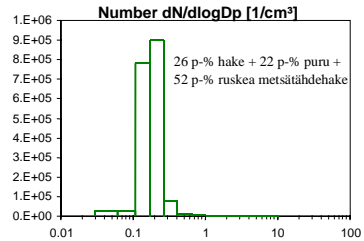
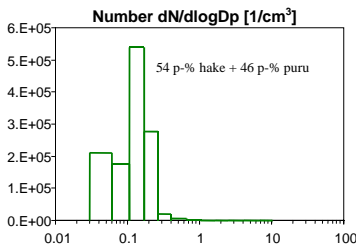
Kaikkien mittausten aikana käytettyjen polttoainetyyppien eli purun, hakkeen, ruskean ja vihreän metsätähdehakkeen As-, Hg- ja Mo-pitoisuudet olivat alle määritysrajan. Cr- ja Ni-pitoisuudet olivat kaikkein korkeimmat ruskeassa metsätähdehakkeessa. Ruskean metsätähdehakkeen Cr-pitoisuus oli noin 1,5-kertainen hakkeen ja noin kolminkertainen vihreän metsätähdehakkeen Cr-pitoisuuteen verrattuna. Hakkeen, ruskean ja vihreän metsätähdehakkeen Cd-pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa olleen välillä 0,10–0,14 mg/kg (kuiva-aine), kun purun Cd-pitoisuus oli vain puolet eli noin 0,05 mg/kg (kuiva-aine). Ruskean ja vihreän metsätähdehakkeen Mn-pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa olleen noin viisinkertaiset verrattuna hakkeen Mn-pitoisuuteen ja noin kuusinkertaiset purun Mn-pitoisuuteen. Ruskean metsätähdehakkeen Ni-pitoisuus oli noin kaksinkertainen hakkeen ja vihreän metsätähdehakkeen Ni-pitoisuuteen purun Ni-pitoisuuden ollessa alle määritysrajan. Purun ja hakkeen Pb-pitoisuudet olivat alle määritysrajan (< 0,8 mg/kg kuiva ainetta kohti), kun ruskean ja vihreän metsätähdehakkeen Pb-pitoisuudet olivat noin 2,5 mg/kg kuiva ainetta kohti.

Mittausdatan perusteella oli nähtävissä, että kattilaan syötetty polttoaine ei ollut tasalaatuista. Savukaasujen kaasumaisten yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat mittausjaksojen aikana, vaikka poltto-olosuhteet pidettiin mittausten aikana vakiona. Yksi syy tähän on, että kattilassa poltettu polttoaine ei ollut tasalaatuista eli esimerkiksi polttoon menevän ruskean metsätähdehakkeen määrä vaihteli koejakson aikana, vaikkakin tarkoitus oli, että koejakson aikana polttoon menee koko ajan sama määrä ruskeaa metsätähdehaketta. Jotta voitaisiin taata kattilaan menevän polttoaineen homogeenisuus, polttoaineen sekoitusjärjestelmää tulisi kehittää. Toisaalta laitosta ei pystytty ajamaan kaikkina päivinä eikä yhden mittausjakson ajanakaan täysin tasaisella kuormalla. Ensimmäisen ja toisen koejakson aikana polttoaineteho oli 38 MW ja kolmannen, neljännen, viidennen ja kuudennen koejakson aikana polttoaineteho oli 44 MW. Tuotetun tehon tarve vaihteli päivittäin ja vuorokauden ajan mukaan, minkä vuoksi laitosta ei voitu ajaa tasaisella kuormalla.

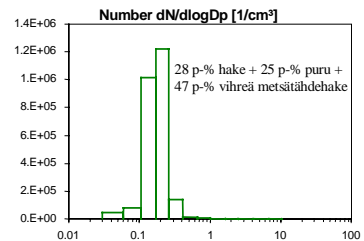
NO_x-pitoisuus oli noin 95 mg/Nm³ hakkeen ja purun seospoltossa. NO_x-pitoisuudet kasvoivat kaksinkertaisiksi poltettaessa hakkeen ja purun seassa ruskeaa metsätähdehaketta. Kun ruskea metsätähdehake korvattiin vihreällä metsätähdehakkeella, NO_x-pitoisuus kasvoi 2,5-kertaiseksi. Metaanipitoisuus oli hyvin pieni kaikkien kolmen polttoaineseoksen polton aikana eli määritysrajan tuntumassa (määritysraja 1 ppm → 0,7 mg/Nm³, kostea savukaasu). N₂O-pitoisuudet olivat

alle määrittäysrajan (1 ppm → 2,1 mg/Nm³, kostea savukaasu). Mitatut N₂O-pitoisuudet eivät poikkea Fortumin, Foster Wheelerin ja Kvaerner Pulpingin mitaustuloksista, kun leijupetikattilaa poltetaan optimaalisilla olosuhteilla (pienet CO-pitoisuudet). Savukaasujen SO₂-pitoisuudet olivat pieniä (5–19 mg/Nm³) kuten puupolttoaineiden alhaisen rikkipitoisuuden perusteella oli oletettavissa. Tämän vuoksi ei voida varmuudella todeta mittauserävarmuus huomioiden, onko ruskean tai vihreän metsätähdehakkeen poltolla vaikutusta savukaasujen SO₂-pitoisuuteen verrattuna hakkeen ja purun polttoon. Näyttäisi, että SO₂-pitoisuus oli suurin vihreän metsätähdehakkeen seospolton aikana. Vihreän metsätähdehakkeen seospoltossa savukaasujen HCl-pitoisuus kasvoi ainakin kymmenkertaiseksi verrattuna hakkeen ja purun polttoon. Hakkeen ja purun poltossa HCl-pitoisuus oli alle määrittäysrajan (1 ppm → 1,6 mg/Nm³, kostea savukaasu), kun se vihreän metsätähdehakkeen seospoltossa oli 15–18 mg/Nm³.

Savukaasujen hiukkaspitoisuus oli noin 5 mg/Nm³, kun poltettiin sahanpurua ja haketta. Sahanpurun, hakkeen ja ruskean metsätähdehakkeen sekapolton aikana hiukkaspitoisuus oli noin 5,5 mg/Nm³. Poltettaessa vihreää metsätähdehaketta sahanpurun ja hakkeen seassa hiukkaspitoisuus oli noin 11 mg/Nm³ eli kaksinkertainen verrattuna sahanpurun ja hakkeen polton hiukkaspitoisuuteen.



Kuva 2. Kostean savukaasun keskimääräiset hiukkaskokojakaumat purun ja hakkeen, purun + hakkeen + ruskean metsätähdehakkeen ja purun + hakkeen + vihreän metsätähdehakkeen sekapoltojen aikana. Kuvassa ilmoitetut massaosuudet on ilmoitettu kuivalle polttoaineelle.



Savukaasujen hiukkaskokojakaumamittausten perusteella alle 0,1 µm:n hiukkasten kokonaismäärä laski, mutta hiukkasten kokonaismäärä hiukkaskokoalueella 0,1–0,4 µm kasvoi purun + hakkeen + ruskean metsätähdehakkeen ja myös purun + hakkeen + vihreän metsätähdehakkeen sekapolton aikana verrattuna purun ja hakkeen sekapoltttoon.

Mittaustulosten perusteella ei pysty sanomaan, että jokin savukaasujen hivenainepitoisuus hiukkasfaasissa pienenisi ja suurenisi poltettaessa purun ja hakkeen sijasta purua, haketta ja ruskeaa metsätähdehaketta tai purua, haketta ja vihreää metsätähdehaketta. Savukaasun kaasufaasin Hg-pitoisuus sitä vastoin näyttäisi olevan suurempi vihreän ja edelleen vielä suurempi ruskean metsätähdehakkeen seospolton aikana kuin purun ja hakkeen polton aikana. Kokeen 1 aikana mitattu Pb-pitoisuus näyttäisi olevan virheellisen suuri, sillä se poikkeaa muiden kokeiden tuloksista ja etenkin syötetyn polttoaineen lyijypitoisuuden perusteella ei ole oletettavaa, että savukaasun lyijypitoisuus olisi näin korkea. Sama koskee kokeen 5 aikana mitattua As-pitoisuutta. Toisaalta myös kokeen 5 ESP1:n As-pitoisuus on poikkeuksellisen suuri verrattuna rinnakkaiskokeeseen 6.

5.3 Yhteenveto ja keskustelua mittaustuloksista

Polton päästöjen osalta tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää koko Suomea kattavaksi, sillä tämän tutkimuksen puitteissa on julkaistu vain yhden leijupetikattilalla varustetun laitoksen tulokset.

Tutkitun laitoksen raskasmetallitaseet eivät sulkeutuneet kaikkien metallien osalta. Joidenkin metallien osalta tasetta ei voitu laskea, sillä syötetyn polttoaineen mitattu metallipitoisuus oli alle määritysrajan. Lentotuhkien raskasmetallipitoisuuksien perusteella näyttäisi, että otettu lentotuhkanäyte ei vastaisi poltettua seospolttainetta. Syynä saattaa olla, että muutettaessa laitoksella polttoaineen seossuhdetta tavallisuudesta poikkeavaksi laitos ei ole ehtinyt stabiloitua mittauksiin valitun seospolttaineen polttoa vastaavaksi, jolloin otettu lentotuhkanäyte ei syntynyt halutusta seospolttaineesta. Laitoksella ajettiin väliaikoina mahdollisimman pitkään tavallisesti käytettyä seospolttainesuhdetta ja viipymäaika minimoiden siirryttiin polttamaan mittauksiin haluttua seospolttainetta. Taseiden sulkeutumattomuus saattaa johtua myös siitä, että vaihdettaessa polttaineesta mutkaisista tuhkalinjoihin on tullut lentotuhkanäytteeseen mukaan lin-

jaan jäänyttä aikaisemmin tavallisesti käytetyn seospolttoaineen poltossa syntynyttä tuhkaa. Näistä syistä johtuen raskasmetallipäästöjä ei ole otettu mukaan puuenergialle ominaisten päästöjen osalta puuenergiaketjujen elinkaariarviointitarkasteluun.

Raskasmetalleilla ja hiukkasilla on merkittävä rooli terveysvaikutusten kannalta. Alle 2 mikrometrin hiukkasfraktio tunkeutuu syvälle keuhkoihin suuremman kofraktion jäädessä ylähengitysteihin. Terveysvaikutustutkimusten mukaan pienillä alle 2,5 µm:n hiukkasilla ja kuolleisuusluvuilla on havaittavissa korrelaatio (Bates et al., 1995, Dockery et al., 1993). Pienet hiukkaset kulkeutuvat ilmavirtojen mukana kauas ja hengitettäessä niillä on suuri todennäköisyys päästä keuhkoihin (Heyder et al., 1986). Siksi savukaasujen kokonaishiukkaspitoisuuden lisäksi on tärkeää tutkia myös hiukkaskokojakaumia.

Päästöjen kartoittaminen eri kokoluokkien voimalaitoksissa mieluiten useammassa samaa kokoluokkaa olevassa laitoksessa olisi tarpeellista, jotta tulokset voitaisiin yleistää riittävän luotettavasti koko Suomea kattavaksi. Eri kokoluokan laitokset koostuisivat pienistä, keskisuurista ja suurista laitoksista. Pienistä laitoksista on tällä hetkellä vähiten mittaustuloksia saatavilla. Pienten laitosten päästömittauksissa erityisesti kiinnostavat hiukkaspäästöt hiukkaskokojakaumineen ja dioksiinipäästöt. Puuenergiaketjujen ympäristövaikutusarviointia varten kaikkien kokoluokkien laitoksilla tulisi mitata savukaasujen kaasumaiset yhdisteet sisältäen kasvihuonekaasut, hiukkaset hiukkasjakaumineen, raskasmetallit, PA-Hit, VOCit ja dioksiinit. Savukaasupäästöjen määrittämisen lisäksi on oleellista tutkia polttoaineet ja määrittää laitoksen massataseet, jolloin mm. raskasmetallitaseita määritettäessä tutkitaan myös laitokselta syntyvät tuhkat.

6. Hankekokonaisuuden yhteenveto ja jatkosuunnitelma

Hankekokonaisuuden osahankkeissa tuotettua tietoa hyödynnettiin elinkaariarviointiosahankkeessa ympäristönäkökohtien selvittämiseksi. Puupolton mittaus tulokset jatkjalostettiin ja yhdistettiin polttoaineen alkuketjusta hankittuihin tuloksiin. Polttovaiheen päästöt ovat yleensä huomattavat. Suomen oloissa verrattain hitaasti uusiutuva puusto sitoo vapautuneen hiilidioksidin takaisin 80–120 vuodessa. Vaikka puulähtöiset polttoaineet on luokiteltu uusiutuviksi, ilmasto-

kysymyksissä niillä on kuitenkin yhtäläisyyksiä fossiilisten polttoaineiden kanssa. Kuitenkin, kun puuenergialla korvataan fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa, ilmaston lämpenemisriski pienentyy. Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto vielä lisää tätä positiivista vaikutusta.

Hiilidioksidipäästöjen luotettava verifiointi on bioenergian kohdalla tärkeä asia, sillä tietoja tarvitaan mm. päästökiintiöiden laskentaan, energiapoliittisiin keskusteluihin, ympäristöverotusta koskeviin päätöksiin ja yritysten polttoaineen hankinnan ja käytön suunnitteluun. Puuperäisten metsä- ja teollisuustähteiden riittävyys on myös oleellinen reunaehto, kun suunnitellaan uusia biovoimalaitoksia. Kasvava kysyntä tulee vaikuttamaan raaka-aineen hintakehitykseen ja samalla tulee huomioitavaksi myös kuljetusmatkojen ja logistiikan muutokset lopputuotteen kilpailukykyyn ja toiminnan ratkaisuihin.

Hankekokonaisuudessa tuotetun puupolttoaineketjujen inventaariotulosten yleistäminen koko Suomen hakkuu- ja sahatähteiden energiakäytön kattavaksi ei anna kuitenkaan tässä vaiheessa oikeaa kuvaa tilanteesta. Tutkimuksesta puuttuivat suuret ja pienet puuvoimalaitokset ja lämpökeskukset. Lisäksi mitatussa kohteessa oli seospolttoaineiden käytön takia vaikeata saada esille puhtaan puupolton osuutta päästöistä. Lisäksi metsätähteiden hyödyntäminen herättää kysymyksen ravinnemenetysten vaikutuksista metsäekosysteemien tilaan. Tuhkan kierrätyksellä voitaisiin palauttaa osa korjattujen tähteiden mukana metsistä poistuvia ravinteita takaisin metsiin. Kuitenkaan typpeä, mikä vapautuu ilmaan poltossa ei voida palauttaa metsiin. Typen menetykset voidaan kompensoida lannoitteilla. Tuhkan kierrätys yhdistettynä metsän keino-lannoittamiseen vaatisi kokonaisvaltaista, järjestelmätasoisuutta suunnittelua. Jatko-hankeessa yleistyksen vaatima tietopohja tulee suunnitella, kerätä, ja muodostaa riittävän laajasti voimalaitoskentästä sekä pyrkiä saamaan esille puhtaan puun käytön ympäristövaikutukset.

7. Lähdeaineistoa

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. 172 s. + liitt. 17 s.

Alakangas, E., Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1999. Hakkuutähteestä polttohakkeeksi koulutusmateriaali. VTT Energia. Benet. Jyväskylä 1999. 82 s.

Bates, D., V. 1995. Adverse health impacts of air pollution – continuing problems. *Scandinavian J. Work Environ Health.* 9, 405–411.

Dockery, D.W., Pope III, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G. & Speizer, F.E. 1993. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*, 329, 1753–1759.

Hakkila, P. ja Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s. ISBN 951-40-1531-2, ISSN 0358-4283.

Heyder, J., Gebhart, J., Rudolf, G., Schiller, C.F. & Stahlhofen, W. 1986. Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005–15 mm. *J. Aerosol Sci.* 17, 811–825.

Metsätilastollinen vuosikirja 2000. Metsäntutkimuslaitos (METLA).

SFS-ISO-EN 14040. Ympäristöaisoiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. (Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.). 1997. 22 s.

Tolvanen, M. 1997. Kuorikattilan raskasmetallitase. SIHTI-tutkimusohjelman hanke: 516 T Sekapoltton vaikutus turvevoimalaitoksen ainevirtoihin.

8. Projektiraportit

Harju, T. 2001. Puuenergiapolton materiaalivirrat. Osahankkeen loppuraportti Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien -hankekokonaisuudessa. VTT Kemiantekniikka. (Tulossa)

Mälkki, H. & Virtanen, Y. 2001. Hakkuu- ja sahatähteiden energiakäytön elinkaariarviointi. Elinkaari-inventaario ja ympäristövaikutusarvio. Osahankkeen loppuraportti Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien -hankekokonaisuudessa. VTT Kemiantekniikka. (Tulossa)

Wihersaari, M., Palosuo, T. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 1: Päätehakkuun haketuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöt. VTT Energian raportteja 8/2000.

Palosuo, T., Wihersaari, M. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 2: Hakkuutähteiden energiakäytön vaikutus metsien maaperän hiilitaseeseen. VTT Energian raportteja 9/2000.

Lisäksi hankekokonaisuudesta on raportoitu Puuenergian teknologiaohjelman julkaisuissa ja on pidetty esitelmää ja postereita kotimaisissa ja kansainvälisissä konferensseissa.

Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä – PUUT14

Juha Nurmi
Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema
PL 44, 69101 Kannus
Puh. 06-8743211, faksi 06-8743201
e-mail: juha.nurmi@metla.fi

Abstract

Project title in English: The effects of intensified energy wood recovery on the forest

The importance of surveying the effects of increased recovery of wood based forest fuels on the forest environment has been recognized by scientists, the forest industry and government agencies. This concern has led to the decision to make a state-of-the-art report on the environmental effects of intensified energy wood recovery. The aim of the project is to compile information on how the different fuelwood harvesting alternatives will affect the nutrient status of the site, insect and fungal damages, success of regeneration work, as well as multiple use, biodiversity and recreational values. The project is carried out by The Finnish Forest Research Institute during 2000–2001. The outcoming book will provide those parties involved with background information on the management practice guidelines and policy making.

1. Tausta ja tavoite

Puuperäisten polttoaineitten käytön nopean lisääntymisen vuoksi Puuenergian teknologiaohjelman johtoryhmä katsoi vuonna 1999 tarpeelliseksi laatia perinpohjaisen selvityksen metsähakkeen lisääntyvän käytön ympäristövaikutuksista metsissä. Selvitystyön katsottiin kuuluvan MMM/Metlan toimialueeseen.

Hakkeen tavoitteena on koota nykyinen tietämys siitä mitä puupolttoaineen käytön lisäys tulee merkitsemään metsän kasvun ja terveyden kannalta. Hankkeen tavoitteena on kirjan julkaiseminen aiheesta. Käsiteltäviä aiheita ovat mm. puuenergiavarat, talteenoton vaihtoehdot ja niiden vaikutukset metsämaan ravinnetaseeseen sekä kivennäis-, että turvemaidilla. Kirjassa tarkastellaan myös energia-puun hankinnan vaikutuksia metsätuhojen, uudistamisen, monimuotoisuuden ja virkistyskäytön kannalta.

2. Toteutus

Hanke toteutetaan siten, että Metsäntutkimuslaitos (Metla) vastaa kirjan kirjoittamisesta ja toimituksesta. Metsäntutkimuslaitoksesta työhön ovat osallistuneet Leena Finér, Jari Hynynen, Eeva Karjalainen, Kari Korhonen, Mikko Kukkola, Maarit Kytö, Eino Mälkönen, Juha Nurmi, Timo Saksa, Tuija Sievänen, ja Juha Siitonen, sekä Taru Palosuo Euroopan metsäinstituutista ja Margareta Wiher-
saari VTT Energiasta. Metlan lisäksi hankkeen rahoitukseen osallistuvat Biowatti Oy, UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj ja MTK.

3. Tulosten hyödyntäminen

Kirjan antaa taustatietoa puuenergian käytöstä metsälle aiheutuvista vaikutuksista. Tietoja voidaan käyttää hyväksi laadittaessa metsäbiomassojen hyödyntämistä käsitteleviä toimintaohjeita, sekä suunniteltaessa puunkorjuun laatujärjestelmiä.

4. Tulokset

Kirja nojautuu lukuisiin pitkäaikaisiin kenttäkokeisiin ja tekee niiden pohjalta johtopäätelmiä energiapuuksi kelpaavan puubiomassan talteenoton ympäristövaikutuksista. Tekstin pääpaino on ensiharvennus ja uudistuskypsien metsien puuntuotoskyvissä, metsätuhoissa, metsien monimuotoisuudessa ja maisemahoidossa. Tässä yhteydessä esitetään seuraavat tärkeimmät aihekohtaiset päätelmät.

4.1 Metsämaan ravinnetase (Mäkönen, Kukkola, Finér)

Kangasmetsien ensiharvennukset:

- Ensiharvennusmetsissä hakkuutähteen korjuusta aiheutuva ravinnemenetys ajoittuu puuston suurimman ravinnetarpeen ajanjaksolle. Sekä kuusen että männyn kasvu on taantunut voimakkaimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilla hakkuutähdettä on ollut eniten.
- Mänty ei ilmeisesti ole yhtä herkkä ravinteiden menetykselle kuin kuusi. Koska kangasmetsissä typen niukkuus on puuston kasvun minimitekijä, kasvun taantuminen johtunee ensisijaisesti typen puutteesta.
- Ainespuun korjuussa maanpinnalle tuleva hakkuutähdekerros lisää typen mineralisaatiota myös allejäävässä karikkeessa ja humuksessa. Orgaanisen aineen laadun lisäksi ravinteiden vapautumista säätelevät maaperän lämpö- ja vesiolot.
- Kasvatettavaksi jäävän puuston reagointi hakkuutähteen korjuuseen vaihtelee suuresti metsiköittäin. Tähän vaikuttavia tekijöitä ei vielä tunneta. Ilmeisesti orgaanisen aineen laadun lisäksi paikallisilla hajotusoloilla on suuri merkitys.
- Metsikön ravinnetilan heikentäminen puuston parhaan kasvuvaiheen aikana ei ole mielekästä. Metsämaan puuntuotoskyvyn ylläpitämistä ja puuston kasvua ajatellen hakkuutähteen korjuu kasvatusmetsistä ei ole perusteltua.

Kangasmetsien päätehakkuut:

- Tuoreen hakkuutähteen korjuu päätehakkuualoilta merkitsee huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta.
- Maan ravinteisuuden ylläpitämiseksi neulasten pitäisi aina jäädä tasaisesti hakkuualalle. Tällöin biomassan entistä tarkemmasta korjuusta aiheutuvat riskit ja ravinteiden kompensointitarve jäisivät ilmeisesti vähäisiksi.

- Pohjoismaisten tutkimusten mukaan kuusen taimikoiden kasvu on taantunut selvimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilta hakkuutähteen korjuussa on poistunut eniten ravinteita. Hakkuutähteen yhdellä korjuukerralla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta männyn taimikoiden alkukehitykseen. Erilaisilta kasvupaikoilta ei kuitenkaan ole luotettavia tuloksia käytettävissä.
- Kuivat kankaat on vähäisten humus- ja ravinnevarojen vuoksi perusteltua jättää kokonaan hakkuutähteen korjuutoiminnan ulkopuolelle, vaikka ne eivät ole olleet muita kasvupaikkoja herkempiä hakkuutähteen korjuun suhteen.
- Hyvä uudistumistulos on ratkaisevan tärkeä uuden puusukupolven tuotokselle. Uudistusalan nopealla taimettumisella voi tietyissä tapauksissa olla suurempi merkitys metsikön kehitykselle kuin maan ravinteisuuden lyhytaikaisella heikkenemisellä.
- Hakkuutähteen korjuun seurauksena metsämaiden ravinteisuuden hoitoon joudutaan kiinnittämään kasvavaa huomiota puuntuotoskyvyn kestävyuden turvaamiseksi.

Suometsät:

- Harvennuksissa ainespuun korjuussa poistuvat typpi- ja fosforimäärät ovat suhteellisen pieniä pintaturvekerroksen sisältämiin ravinnevarastoihin verrattuna, joten ainespuun korjuu ei vaaranna näiden ravinteiden saatavuutta. osalta tilanne on toinen.
- Kokopuun korjuussa kasvupaikalta poistuu jopa puolet kaliumin ja boorin ravinteiden kokonaismäärästä. Sen vuoksi niiden menetys saattaa jo lyhyellä aikavälillä heikentää puuntuotoskykyä, mikäli menetystä ei korvata lannoittamalla.
- Puuntuottamista ajatellen ravinteisuudeltaan keskitasoiset ojitetut suometsät ovat ensisijaisia tuhkalannoituskohteita.
- Kangasmetsissä kasvunlisäyksen aikaansaaminen näyttäisi edellyttävän tuhkan ohella myös typpilisäystä.

- Suometsien tuhkalannoituksessa sopivana kerta-annoksena pidetään 4000–8000 kg/ha ja kangasmetsissä enintään 3000 kg/ha.
- Tuhkalannoitus vähentää maan pintakerroksen happamuutta jopa muutaman vuosikymmenen ajaksi.
- Tuhkalannoitus ei ole merkittävästi muuttanut sienien ja marjojen raskasmetallipitoisuuksia eikä maan mikrobistoa.

4.2 Metsätuhot (Kytö, Korhonen)

- Hakkuutähteiden poistolla metsästä ei näytä olevan huomattavaa vaikutusta metsän tauteihin jos asiaa tarkastellaan lyhyellä tähtäimellä. Jos hakkuutähteet jatkuvasti ja yleisesti poistetaan useamman puusukupolven aikana, metsän sienilajisto yksipuolistuu. Sen seurauksena tautien esiintymisriski luultavasti lisääntyy.
- Oheneva humuskerros näyttää vähentävän mykoritsajuurten määrää ja siten todennäköisesti vähentää puiden kasvua ja vastustuskykyä.
- Hakkuutähteiden poiston seurauksena mahdollisesti syntyvät ravinteiden puutostilat alentavat puiden vastustuskykyä sienitaudeille ja tuhohyönteisille.

4.3 Metsälajiston monimuotoisuus (Siitonen)

- Avohakkuu muuttaa ratkaisevasti metsikön olosuhteita jolloin vanhan sulkeutuneen metsän lajisto osaksi häviää. Tilalle tulee useissa lajiryhmissä suurempi määrä sukkession alkuvaiheen avoimeen ympäristöön sopeutuneita lajeja. Melko suuri osa lajistosta myös säilyy avohakkuuun yli, mutta lajiston runsaussuhteissa tapahtuu suuria muutoksia. Hakkuutähteiden korjuun lisäksi vaikutus lajistoon on useimmissa tapauksissa marginaalinen.
- Talousmetsissä esiintyvistä harvinaisista kasvilajistosta, mahdollisesti myös muusta lajistosta, suuri osa on todennäköisesti keskittynyt ympäristöstään

poikkeaviin avainbiotoopeihin, jotka useimmissa tapauksissa tulee jättää energiapuun korjuun ulkopuolelle.

- Lahopuun väheneminen on keskeisin yksittäinen talousmetsien monimuotoisuutta vähentävä tekijä. Tästä syystä uusituissa metsänhoitosuosituksissa ja käytännön metsätaloudessa on kiinnitetty erityistä huomiota järeäläpimittaisen lahopuun lisäämiseen jättämällä eläviä säästöpuita ja säästämällä mahdollisuuksien mukaan olemassa oleva järeä lahopuu hakkuissa. Energiapuun korjuu ei saisi johtaa siihen, että luonnonhoitotavoitteiden vastaisesti järeä kuollut puusto otettaisiin metsistä yhä tarkemmin talteen. Järeäläpimittainen lahopuu on lajiston monimuotoisuuden kannalta tärkeämpää kuin pieniläpimittainen latvus- ja oksapuu.
- Orgaanisen aineen poistamisen vaikutuksista maaperäeliöstöön, metsämaan rakenteeseen ja toimintaan sekä uuden metsämaan muodostumiseen tiedetään edelleenkin suhteellisen vähän. Kaikki nämä tekijät yhdessä vaikuttavat kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyyn. Pohjoisissa havumetsissä metsämaa lienee kuitenkin varsin hyvin puskuroitunut kestämaan ajoittaisia häiriöitä, kuten metsäpaloja. Kertaluonteinen hakkuutähteiden korjuu päätehakkuun tai harvennusten yhteydessä tuskin aiheuttaa pysyviä vaikutuksia kasvupaikan metsämaahan.

4.4 Virkistyskäyttö (Karjalainen, Sievänen)

- Hakkuutähteen poistaminen hakualueelta parantaa maiseman visuaalista laatua ja maaston kulkukelpoisuutta. Myönteiset vaikutukset toteutuvat parhaiten silloin kun itse hakkuutähteenkorjuu ei aiheuta pysyviä maisemahaittoja tai korjuun jäljet eivät vaikeuta maastossa liikkumista. Myös toteuttamalla hakkuutähteenkorjuu virkistyskäytön kannalta hiljaisena ajankohtana, välttää myös tilapäiseltä meluhaitalta tai pettymykseltä, jonka virkistäytyjä helposti kokee, jos hän kohtaa metsätyömaan virkistysympäristössään.
- Virkistäytävä odottaa löytävänsä metsästä ehyen, kauniin maiseman ja luonnon rauhan. Kaikki odotusten vastaiset kokemukset aiheuttavat pettymystä ja tyytymättömyyttä. Virkistäväkokemus ja sen myötä virkistysyhyödyt jäävät ehkä saamatta. Siksi paras virkistysympäristö on sellainen, jossa on mahdol-

lisimman vähän havaittavissa ihmisen taloustoiminnan jälkiä, jossa on helppo liikkua, ja maisema on mahdollisimman luonnonmukaisen näköinen. Jos hakkuutähteiden poistolla nopeutetaan hakkuualan muuttumista nopeasti luonnonmukaiseen maisematilaan, on toiminta virkistyskäytön kannalta myönteistä.

5. Projektin jatkosuunnitelmat

Projektin lopputuotteena syntyvä kirja valmistuu ja tulee myyntiin syksyn 2001 aikana. Hanke päättyy kirjan ilmestymiseen.

Suopohjien metsitys hiilinieluiksi ympäristö-vaikutukset halliten – PUUY17

Pirkko Selin, Virpi Käyhkö, Jari Marja-aho & Veijo Klemetti
Vapo Oy Energia
PL 22, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-623 623, 014-623 5707
e-mail: etunimi.sukunimi@vapo.fi

Abstract

Project title in English: Environmentally sound afforestation of cut-away peat harvesting areas by fixing it up as a new carbon sink and controlling the impacts.

The project aiming at investigation of afforestation of the cut-away peat production areas to carbon sinks started in autumn 2000. The project will be carried out as co-operation between Vapo Oy Energia and Muhos research station of the Finnish Forest Research Institute. The objective of the research is to develop technically operational and economical method for afforestation of cut-away peatlands. Methods used for estimation of carbon balance of cut-away peatlands are studied in the research. Carbon reserves of afforested cut-away peatlands will be estimated on the basis of these results. Effects of afforestation on watercourses are measured both at earlier afforested test areas and at new test areas to be created. The quality of runoff waters and the flow of it will be measured at the monitoring sites. In addition to this, two new afforestation test areas have been created. The natural afforestation and utilisation of ash as fertiliser will be studied at these test areas. Basic material has been collected for the project e.g. by arranging two seminars.

1. Projektin tausta

Turvetuotannosta on vapautunut yli 10 000 hehtaaria suopohjaa. Suopohjista merkittävä osa tulee siirtymään metsätalousmaaksi. Metsänkasvun on todettu aikaisemmissa tutkimuksissa onnistuvan suopohjilla. Suopohjien soveltavuuteen metsitettäväksi vaikuttaa oleellisesti maaperän ravinteisuus ja raekoko sekä vesitalous.

Ilmastovaikutusten kannalta on tärkeää, että vapautuneelle suopohjalle saadaan syntymään mahdollisimman tehokkaasti ja nopeasti hiiltä sitovat nielut. Osaa alueista voidaan käyttää tehokkaasti hiilidioksidia sitovina puutiheikköinä, joita hyödynnetään noin 20 vuoden kuluttua energiapuun hankinnassa.

Turvetuotantoalueiden tuotantovaiheen vesistökuormituksesta on tutkittua tietoa, mutta suopohjien metsittämisen vaikutuksia ei tiedetä. Turvetuottajilla on valtioneuvoston antaman vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaisesti velvollisuus vuoteen 2005 mennessä vähentää elinkeinosta aiheutuvaa ravinnekuormitusta merkittävästi. Suopohjien metsittämisen vaikutus on jatkossa huomioitava osana elinkeinon ainekuormitusta.

2. Projektin tavoitteet

Projektin tavoitteena on selvittää, mitä metsitysmenetelmiä käyttäen suopohjien vesistökuormitus saadaan minimoitua. Tavoitteena on saavuttaa metsätalouden yleinen kuormitustaso metsitetyillä suopohjilla.

Projektin tavoitteena on hankkia turvetuotantoelinkeinon ja turvetuotantoon vuokranneiden maanomistajien käyttöön uutta käytännön tietoa ja osaamista suopohjien metsittämisestä. Tarkoituksena on kehittää mahdollisimman tehokas ja nopea sekä taloudellisesti sopiva menetelmä suopohjien metsitykseen talousmetsäksi ja puutiheiköksi. Menetelmän tulee olla teknisesti toimiva ja taloudellisesti kannattava käyttää. Näiden tietojen ja tulosten pohjalta on mahdollista laskea todelliset vuosittain syntyvät hiilinielut suopohjille.

Projektissa selvitetään myös suopohjien metsittämiseen soveltuvan konekaluston tarve olemassa olevan kaluston pohjalta ja siihen liittyvät kehitystarpeet. Lisäksi

selvitetään miten turvetuotannon loppuvaiheen tuotantotekniikalla voidaan edistää metsittämistä. Projektin tuloksena syntyy myös suopohjien luokitus ja toteutustapa metsittämistä varten eri tyyppisillä alueilla, joka huomioi mm. maaperän ja vesitalouden vaikutuksen puuntuottokykyyn.

Projektin tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia turvetuotannosta vapautuvien suopohjien hiilitaseen määrittämiseksi, jotta tietoja voitaisiin käyttää myöhemmin soiden ja turpeen käyttöön liittyvässä hiilitaseen laskennassa.

Projektissa kehitetään hiilen sidonnan seurantamenetelmä metsikön perustamisesta aina myöhempisiin kasvatusvaiheisiin asti. Seurantamenetelmä huomioi biomassaan sitoutuvan hiilen lisäksi maaperän ja kasvipeitteen vaikutuksen hiilen sidontaan.

3. Projektin toteutus

3.1 Suopohjien metsityksen vesistövaikutukset

Suopohjien metsittämisen vesistökuormitustietoja hankitaan perustettavien ja aikaisempien tutkimusten yhteydessä perustettujen metsitysalueiden yhteyteen sijoitettavien kuormitustarkkailupisteiden avulla. Tarkkailupisteissä selvitetään eri ikäisiltä metsitetyiltä suopohjilta tulevien valumavesien laatu ja määrä (mittapadot, veden virtaamamittauslaitteet), joiden pohjalta voidaan laskea kuormitus. Kuormitustarkkailuun liittyvistä koejärjestelyistä vastaa Vapo Oy ja valumavesien analysoinnista Metlan Muhoksen tutkimusasema.



Kuva 1. Metsityksen vesistökuormituksen tarkkailupiste Pelsonsuolla.

3.2 Metsityksen menetelmäkehitys

Limingan Hirvinevalla on tehty jo aikaisemmin Metlan metsitystutkimuksia. Sen vanhojen tutkimusalueiden nykytilanne ja niiden soveltuvuus tämän tutkimuksen tarpeita varten selvitettiin. Hirvinevälle suunniteltiin lisäksi kaksi uutta suopohjien metsityskoealuetta. Luontaisesta metsittämisestä, vaihtoehtoisten lannoitteiden hyödyntämisestä sekä mätästyksestä saadaan koealueilta sellaista suopohjien metsitykseen tarvittavaa tietoa, jota ei Metlan aikaisemmissa tutkimuksissa ole vielä selvitetty.

Koealueilta on otettu pohjamaanäytteet, jotka analysoidaan Metlan Muhoksen tutkimusaseman laboratoriossa. Näytteistä analysoidaan maalaji sekä metsittymisen kannalta oleelliset ravinteet. Lisäksi koealueilta on mitattu jäljelle jääneen turvekerroksen paksuus, jotta sen vaikutusta metsittymiseen voidaan seurata. Koealueiden seurannasta tehdään suunnitelmat.

Pyöreäsuolle Yli-Iihin on suunniteltu 17,1 ha:n laajuinen metsitysalue, jossa tullaan testaamaan saatavilla olevien maanmuokkaus- ja kylvökoneiden soveltuvuus suopohjille. Lisäksi metsitettävälle alueelle järjestetään valumavesien tarkkailu.



Kuva 2. Metsitettävää suopohjaa Pyöreäsuolla Yli-Iissä.

3.3 Seminaarit

Tutkimuksen aikana on olemassa olevan tiedon kokoamiseksi järjestetty seminaareja, joissa on käyty läpi aiheeseen liityvää nykyistä tiedon tasoa. Seminaari ”*Suopohjista hiiltä sitoviksi metsiksi*” järjestettiin 15.12.2000 Oulussa. Alustajien tekemien yhteenvetojen pohjalta koottiin seminaariraportti.

Seminaari ”*Metsätalouden vesistökuormituksen hallinta suopohjilla*” pidettiin Muhoksella Metsäntutkimuslaitoksen tiloissa 5.6.2001. Seminaarista julkaistaan Metlan tiedonantoja-sarjassa raportti, johon liitetään myös alan kirjallisuudesta koottu yhteenveto.

4. Projektin tulokset

4.1 Metsitysalueilta lähtevän veden laatutuloksia

Kahden ”vanhan” metsitysalueen veden laatua ja ainekuormitusta seurattiin kesä–lokakuussa v. 2000. Molemmat alueet ovat tutkimustarkoituksiin perustettuja kenttiä, joissa on runsaasti erilaisilla ojitus/viljely/lannoitustavoilla perustettuja koeruutuja toistoineen.

Pelonsuon metsitysalue on perustettu v. 1994–1995. Turpeen paksuus on keskimäärin 10–30 cm ja pohjamaa on hiekkaa. Tarkkailussa olevan alueen pinta-ala on 14 ha. Alue on ojitettu/mätästetty 16 ja 40 m:n sarkavälein ja puusto koostuu istutetuista sekä kylvetyistä männyistä, hies- ja rauduskoivuista. Lannoituksena on annettu metsän PK-lannosta laikkuna 45g/viljelypiste. Osalle aluetta on annettu lisäksi biotiittia.

Hirvinevan koe on perustettu v. 1986–1987. Tarkkailualueen pinta-ala on 6,2 ha. Alue on ojitettu/mätästetty 15 ja 40 m:n sarkavälein. Puustona on istutettuja ja kylvettyjä mäntyjä sekä hies- ja rauduskoivuja. Alkulannoitus (suom. PK) on annettu hajalevityksenä 425 kg/ha sekä laikkulannoituksena 20 g/viljelypiste.

Taulukossa 1 on verrattu koalueiden keskimääräistä veden laatua Pohjois-Pohjanmaan turvetuotantoalueilta ja luonnontilaiselta suolta (Joutensuo, Vuolijoki) samaan aikaan valuvan veden laatuun. Vertailutietoina esitetään myös keskilukuja turvevaltaisten pienten valuma-alueiden veden laadusta (Saukkonen & Kortelainen 1995, Joensuu ym. 1999). Yhteen tunnuslukuun perustuvaan vertailuun täytyy suhtautua varauksella, sillä osa vertailuaineistosta on kerätty eri vuosilta ja vedenlaatutuloksissa eri alueiden välillä esiintyy suurta hajontaa.

Suopohjien metsittämiseen liittyvää mitattua vedenlaatu tietoa on olemassa tosi vähän. Sen perusteella ei voida laskea toimenpiteiden aihauttamaa kuormitusta. Tässä tutkimuksessa on aloitettu seuranta, jonka avulla on takoitus saada pitemmän ajanjakson vedenlaatutuloksia. Tämän aineiston mukaan metsitettyjen suopohjien valumavesissä oli runsaanlaisesti kiintoainetta ja ravinteita (fosforia ja typpeä). Pitoisuudet olivat suurempia kuin turvevaltaisten metsätalousalueiden valumavesissä keskimäärin ja samaa luokkaa tai suurempia kuin turvetuotantoalueiden kuivatusvesissä samaan aikaan. Sen sijaan humuspitoisuus (COD_{Mn}) oli

koalueilla alhaisempi kuin vertailuaineistossa jopa luonnontilainen Joutensuo huomioiden. Rautapitoisuudet olivat samaa tasoa kuin turvevaltaisilla metsätalousmailla ja samalla alhaisempia kuin turvetuotantoalueilla. Hirvinevan suopohan valumaveden korkea sulfaattipitoisuus johtuu alueella esiintyvien sulfidipitoisten savimaiden vaikutuksesta.

Taulukko 1. Suopohjalle perustettujen metsitysalueiden valumaveden laatu verrattuna turvetuotantoalueiden, turvevaltaisten metsätalousmaiden sekä luonnontilaisen suon veden laatuun.

Alue	Tarkkailujakso	Keski- valuma l/s/km ²	Valumaveden laatu								
			ka mg/l	P-kok ug/l	PO ₄ -P ug/l	Nkok ug/l	NH ₄ -N ug/l	NO ₃ -N ug/l	COD _{Mn} mg/l	Fe mg/l	SO ₄ -S mg/l
Pelsonsuon metsitysalue	7.6.–31.10.2000	7,3	17,2	114	95	1149	297	101	13	1,6	1,1
Hirvinevan metsitysalue	7.6.–16.10.2000	6,2	13,6	64	39	1559	132	490	18	1,2	33,5
Turvetuotantoalue (20 kpl) *	15.5.–18.9.2000	10,0	6,1	62	29	1400	320	96**	33	4,2	
Vanha metsäojitusalue (75 kpl) ***	1990–1993		4,9	56		740	42	58	41****	1,6	
Turvevaltainen metsätalousmaa (13 kpl) ***	1962–1992		3,5	28	9	630	84	49	27	1,9	3,2
Joutensuo, luonnontilainen	22.5.–21.9.2000	5,2	2,8	15	3	509	62		21	2,1	

* **PSV-Maa ja vesi 2001:** Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen alueen turvetuotantosoiden käyttö- ja kuormitustarkkailu vuonna 2000. Velvoitetarkkailuraportti P00309/7.2.2001, 71 s. + liitteet.

** analyysi NO₂₃-N.

*** **Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999:** Vanhoilta metsäojitusalueilta valuvan veden kemialliset ominaisuudet. – Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. 1999 (toim): Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.–24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti s. 63–78.

**** **Saukkonen & Kortelainen 1995:** – Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus ravinteiden ja orgaanisen hiilen huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) 1995: Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2 – ympäristösuojelu. Suomen ympäristökeskus, s. 15–32.

***** laskettu kertomalla KMnO₄-arvo luvulla 0,253 (esim. Seppänen, H. 1984: Sovellettu limnologia I, Espoo).

4.2 Metsityskoealojen maa-analyysien tuloksia

Hirvinevalle perustetuilta koalueilta otetuista turpeen alaisen pohjamaan näytteistä on analysoitu raekoko. Molemmilla uusilla alueilla pohjamaa on hiekka- ja hietamoreenia, jota peittää ohut lajittuneiden maalajien kerros. Lähes kaikki näytteet olivat tästä lajittuneesta kerroksesta. Kaksi kolmasosaa näytteistä on hienoa hiekkaa, loput keskikarkeaa hiekkaa tai vuorokerroksellista maalajia, jossa vuorottelevat hiekka, hieta ja hiesu yleensä alle yhden sentin paksuisina kerroksina. Vain yhdessä näytteessä oli hienoainesta alle 15 %.

Raekokotulosten mukaan uudet koealueet soveltuvat hyvin metsitykseen. Lajituneiden maalajien kerros suoraan turpeen alla on niin ohut, että hienoinesta sisältävää moreenia nousi sen alta suon pinnalle ojitustöiden yhteydessä, mikä edelleen parantaa ravinnetaloutta.

Metsityskoealueilta on analysoitu 10 cm:n paksuisen pintakerroksen sisältämiä ravinteita. Näytepisteiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet typen (2,3 %), fosforin (1,0 mg/g) ja kaliumin (0,21 mg/g) ovat vastaavia kuin suometsäalueilta määritetyt arvot. Maanäytteitä on otettu myös alemmista maakerroksista.

5. Projektin tuloksien hyödyntäminen

Projektin tuloksia voivat hyödyntää turvetuotantoa harjoittavat yritykset, joilla on tuotannosta poistuvia alueita ja jotka saavat sitä kautta korvaavaa/uutta liikevaihtoa hyödyntämällä suopohjia metsätalousmaana. Projektilla on vaikutusta myös pk-yrityksien toimintaan, joita työllistetään metsitystoimenpiteiden kautta. Projektilla on merkittävä asema turvevarojen käyttöön liittyvän keskustelun osalta kansallisen ilmasto-ohjelman toteutuksessa sekä valtioneuvoston antaman vesiensuojelun tavoiteohjelman toteutuksessa.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Turvetuotannon loppuvaiheessa käytettäviä tuotantotekniikoita, kuten massansiirtoa, kehitetään metsitystä edesauttavaksi. Suopohjien metsityksessä pyritään mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään turvetuotannossa käytettävää veto- ja tuotantokalustoa.

Turvetuotannon loppuvaiheessa olevien soiden pohjamaatutkimusten pohjalta laaditaan luokitus, jota apuna käyttäen suopohjan hankintaa harkitseva maanomistaja voi arvioida suopohjan soveltuvuutta tietynlaisen metsän kasvatukseen. Luokitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat lähinnä maapohjan ravinteisuus, raekoko ja vesitalous.

Eri ikäisten sekä eri käyttötarkoituksia (talousmetsä, puupelto) varten metsitettyjen suopohjien hiilensidontakyky selvitetään. Selvitystyön suoritusta varten

kehitetään biomassan määrittämiseen perustuva käytännön seuranta- ja mittausmenetelmä, jonka avulla kasvustoista voidaan määrittää hiilensidontakyky luotettavasti. Muodostuvan kasvipeitteen sekä maaperän vaikutus hiilensidontaan selvitetään yhteistyössä alan asiantuntijoiden kanssa.

Puuenergian käyttö ja kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen – PUUT22

Margareta Wihersaari & Sampo Soimakallio

VTT Energia

PL 1606, 02044 VTT

Puh 09-4561, faksi 09-456 6538

e-mail: margareta.wihersaari@vtt.fi, sampo.soimakallio@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Wood energy and greenhouse gases

This project deals with greenhouse gas emissions from wood fuel production chains and the role of wood fuels in the control of greenhouse gas emissions in Finland. In the first part of the study (1999–2000) the direct and indirect greenhouse gas emissions from five different fuel production chains of wood chips were considered: terrain chipping, roadside chipping, terminal chipping, chipping of loose residues at the end use facility and chipping of baled residues at the end use facility. Some calculations for carbon balances in the forest soil were also made. In this second study the calculation models will be completed and geographical as well as economical aspects will be considered. Calculations concerning the use of forest residue can have on a national level in Finland when reducing greenhouse gas emissions will also be made.

1. Tausta

Puuenergian ympäristönäkökohtia on selvitetty vuosina 1999–2001 Tekesin Puuenergia-teknologiaohjelmaan kuuluvassa hankekokonaisuudessa. Hankekokonaisuuteen (PUUT11) on kuulunut kolme osahanketta: Elinkaarianalyysi (Mälkki), Kasvihuonekaasut (Wihersaari) ja Polton materiaalivirrat (Harju). Tekes jakoi hankekokonaisuuden toteutuksen kahteen vaiheeseen: vuosina 1999–2000 toteutettavaan osuuteen ja myöhemmin toteutettavaan jatko-

hankkeeseen. Tämä projekti on jatko projekti em. osa-hankkeelle ”Puuenergia ja kasvihuonekaasut”.

2. Tavoite

Projektissa tutkitaan puuenergian käyttövaihtoehtojen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa. Vaiheessa 1 mallinnettiin metsätähteiden tuotantoketjuja sekä laskettiin ketjujen energiatehokkuudet ja ominaispäästöt. Lisäksi arvioitiin metsätähteiden talteenoton aiheuttamia muutoksia metsämaan hiilitasessa. Nyt toteutettavassa jatko-osassa tavoitteena on täydentää aikaisemmin tehtyä laskentamallia sekä arvioida alueellisia tekijöitä ja kustannuksia kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kannalta. Tavoitteena on myös tehdä arvio metsätähteiden käytöstä päästöjen rajoittamisessa koko maan tasolla.

3. Toteutus

Tutkimus toteutetaan VTT Energian nykyisiä laskentamenetelmiä ja malleja käyttäen. Työ koordinoidaan Climtech-ohjelmaan kuuluvan bioenergiaselvityksen kanssa. Projektissa on seuraavat vaiheet/osatehtävät:

1. Täydennetään edellisessä projektissa kehitettyä haketuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöjen laskentamallia ensiharvennusketjujen osalta. Malliin liitetään myös yksinkertaiset kuvaukset mekaanisen metsäteollisuuden energiatuotantoon tarkoitettujen kuori- ja purujakeiden osalta.
2. Arvioidaan alueelliset tekijät ja kustannukset kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kannalta. Tällaisia alueellisia tekijöitä ovat mm. maantieteellinen sijainti (pohjoinen–etelä, rannikko–sisämaa), metsän tyyppi (suopohja vai mineraalipohja) sekä omistus- ja kilpailutilanne.
3. Arvioidaan metsätähteiden käyttöä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kannalta koko maan tasolla. Arvioidaan lisäkäytön aiheuttamia muutoksia hankintaketjun ominaispäästöissä sekä puuenergialla korvatut polttoaineet.

4. Tulokset

Tästä projektista ei ole vielä julkaistu tuloksia.

5. Jatkosuunnitelmat

Suomen Akatemia on myöntänyt rahoitusta hankkeelle ”Biomass and Climate Change”, jota toteutetaan yhteistyössä Budapestin teknillisen korkeakoulun kanssa Unkarissa lukuvuonna 2001–2002. Hankkeessa on tarkoitus käyttää tässä Tekes-projektissa kehitettyä laskentamallia sekä verrata Suomen ja Unkarin biopolttoainetuotantoketjuja ja mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä bioenergian avulla.

6. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Tämä projekti ei ole vielä tuottanut julkaisuja. Edellisestä projektista on julkaistu seuraava materiaali:

Wihersaari, M., Palosuo, T. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 1: Päätehakkuun haketuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöt. VTT Energian raportteja 8/2000.

Palosuo, T., Wihersaari, M. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 2: Hakkuutähteiden energiakäytön vaikutus metsien maaperän hiilitaseeseen. VTT Energian raportteja 9/2000.

Wihersaari, M. Yhdyskuntajätteiden ja metsätähteiden energiakäytön merkityksestä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa Suomessa. Lisensiaatintyö. TKK Konetekniikan osasto. 15.8.2000.

Wihersaari, M., Palosuo, T. Greenhouse Gas Emissions from Final Harvest Fuel Chips Production. Englanninkielinen posterit, joka on esitetty Puuenergiateknologiaohjelman vuosiseminaarissa 29.–30.8.2000 sekä Woody Biomass as an Energy Source – Challenges in Europe -konferenssissa Joensuussa 25.–28.9.2000.

Lisäksi posterit löytyvät internetistä osoitteesta <http://www.vtt.fi/ene/ej/kasvih/tuloksia.htm>.

Palosuo, T., Wihersaari, M. Energy use of forest residues – impact on soil carbon balance. Englanninkielinen posterit, joka on esitetty Puuenergiateknologiaohjelman vuosiseminaarissa Jyväskylässä 29.–30.8.2000 sekä Woody Biomass as an Energy Source – Challenges in Europe -konferenssissa Joensuussa 25.–28.9.2000. Lisäksi posterit löytyvät internetistä osoitteesta <http://www.vtt.fi/ene/ej/kasvih/tuloksia.htm>.

Palosuo, T., Wihersaari, M. & Liski, J. Net greenhouse gas emissions due to energy use of forest residues – impact of soil carbon balance. (Aiheesta pidetty esitelmä Woody Biomass as an Energy Source – Challenges in Europe -konferenssissa Joensuussa 25.–28.9.2000, Järjestäjänä EFI, Joensuun Yliopisto, IEA Bioenergy ja Silva network). Artikkelit ilmestyy EFI Proceedings -sarjassa. 12 s.

Wihersaari, M. & Palosuo, T. Metsähakkeen tuotannossa vähän päästöjä ja pieni energiankulutus. Puuenergia-lehti 1/2001. 3 s.

Puupolttoaineiden radioaktiivisuuden vaikutus tuhkan käyttöön – PUUT23

Riitta Hänninen, Seppo Klemola, Aino Rantavaara,
Tuomas Valmari & Virve Vetikko¹
Säteilyturvakeskus STUK
PL 14, 00881 Helsinki
Puh. 09-7598 8435 ¹, faksi 09-7598 8498
e-mail: virve.vetikko@stuk.fi

Abstract

Project title in English: Radioactivity of wood fuels and ash, and implications to the use of ashes

Wood fuels contain small amounts of radioisotopes that are concentrated in ashes during combustion. The project includes estimation of the current radiation situation in the Finnish wood energy industry. Assessment tools will be developed to predict ash radioactivity based on information on the characteristics of fuel and combustion technique. The conditions are identified, under which ash radioactivity measurements are necessary to assure the safe handling, storage and use of ashes. The project will be conducted in co-operation with energy and forest industries.

1. Projektin tausta ja tavoite

Hankkeen tuottama tieto palvelee puuenergiaa tuottavia laitoksia tuhkan käsittelyn ja käytön aiheuttamien säteilyvaikutusten tunnistamisessa ja huomioon ottamisessa. Erityisenä tavoitteena on siirtää mittaus- ja arviointitulosten perusteella syntyvä tuhkan radioaktiivisuuden ennakointimenettely puuenergia-alan käyttöön.

Puupolttoaineissa on pieniä määriä radioaktiivisia isotooppeja, jotka ovat peräisin Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden aiheuttamasta laskeumasta, ilma-

kehässä menneillä vuosikymmenillä tehtyjen ydinkokeitten laskeumasta sekä kallioperästä. Radioaktiivisista isotoopeista erityisesti cesium 137 on osoittautunut pysyväksi metsäekosysteemeissä kulkeutuen ravinteiden otossa metsäkasvillisuuteen ja puustoon tehokkaasti vielä vuosikymmeniä laskeuman jälkeen (Rantavaara 1996, Moberg ym. 1999).

Puupolttoaineissa olevat radioaktiiviset aineet rikastuvat poltossa tuhkaan (Rantavaara ja Moring 2001). Tshernobylin onnettomuuden jälkeen säteilyaltistusta seurattiin turvevoimaloissa, joiden polttoaine saastui suoraan laskeumasta. STUK antoi ohjeita turvetuhkan hyötykäytöstä (ST-ohje 12.2, 1993). Polttolaitosten tuottaman puuntuhkan radionuklidipitoisuuksia on tutkittu vuosina 1996–1997 (Rantavaara ja Moring 1998, 2001). Pitoisuudet vaihtelivat huomattavasti sekä laitoksittain että tuhkalajeittain. Polttoaineen tuhkaa muodostavien aineiden jakautuminen pohjatuhkan ja lentotuhkan kesken riippuu aineiden kemiallisesta käyttäytymisestä, poltto-olosuhteista ja -tekniikasta sekä polttoaineen koostumuksesta.

Lannoituksen on havaittu vähentävän puuston ja muun kasvillisuuden radioaktiivisuutta (Moberg ym. 1999). Myös tuhkalannoitus suositusten mukaisilla määrillä vähensi radiocesiumin pitoisuutta puolukoissa (Levula ym. 2000). Lannoitusvaikutus kompensoi tuhkan mukana metsiin palautuvien radioaktiivisten aineiden lisäystä (Rantavaara ja Moring 2001).

Hankkeessa kehitetään menettely, jolla puupolttoaineita käyttävät laitokset voivat arvioida syntyvän tuhkan radioaktiivisuutta ja ottaa tarvittaessa huomioon sen aiheuttama säteilyaltistus tuhkan käsittelyn, varastoinnin ja hyötykäytön yhteydessä. Menettelyssä määritellään, mitä tietoja polttoainevirrasta ja poltto-olosuhteista tarvitaan tuhkan radioaktiivisuuden arvioimiseksi. Hankkeen tulosten avulla määritellään myös, millaisissa tilanteissa voidaan tarvita tuhkan aktiivisuusmittauksia ja miten ne tulisi tehdä. Työntekijöiden altistusta säteilylle selvitetään mittaamalla annosnopeuksia laitospaikoilla ja arvioimalla altistusajoja. Altistusta selvitetään myös tuhkan rakeistuksen ja metsään levityksen yhteydessä. Yleisö voi altistua säteilylle kun tuhkaa käytetään ympäristörakentamiseen.

Hankeeseen osallistuvat Energia-alan keskusliitto ry Finergy, Metsäteollisuus ry sekä niiden jäsenyritykset.

2. Toteutus ja aikataulu

Tutkimuksessa otetaan huomioon tärkeimmät radionuklidit (cesium 137, kalium 40, torium 232, radium 226) sekä arvioidaan ulkoista ja sisäistä säteilyaltistusta työntekijöiden ja väestön kannalta.

Hankkeen osatehtävät ovat 1) Puupolttoaineiden (metsähake, kuori, puru) radionuklidipitoisuuksien kartoittaminen, 2) Radionuklidien jakautuminen eri tuhkafraktioihin palamisen ja tuhkan talteenoton yhteydessä, 3) Tuhkaa käsittelevien työntekijöiden altistuminen säteilylle, 4) Tuhkalannoituksen aiheuttama muutos ulkoiseen säteilyyn ja metsistä saatavien elintarvikkeiden radioaktiivisuuteen sekä 5) Polttoaineen ja polttotekniikan vaikutus tuhkan radioaktiivisuuteen ja sen aiheuttamaan säteilyaltistukseen eri hyötykäyttötavoissa.

Tuhka- ja polttoainenäytteiden hankinta ja säteilyaltistuksen kokonaistilanteen selvittäminen puuenergian tuotannossa toteutetaan yhteistyössä tuotantolaitosten ja polttoaineen toimittajien kanssa.

Hanke käynnistyi keväällä 2001 ja päättyi helmikuussa 2003. Loppuraportti valmistuu kesäkuun 2003 loppuun mennessä.

3. Kirjallisuus

*Levula, T., Saarsalmi, A. & Rantavaara, A. 2000. Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ¹³⁷Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). Forest ecology and management 126:269–279.*

Moberg, L., Hubbard, L. Avila, R., Wallberg, L., Feoli, E., Scimone, M., Milesi, C., Mayes, B., Iason, G., Rantavaara, A., Vetikko, V., Bergman, R., Nylén, T., Palo, T., White, N., Raitio, H., Aro, L., Kaunisto, S. & Quillette, O. 1999. An integrated approach to radionuclide flow in seminatural ecosystems underlying exposure pathways to man (LANDSCAPE) Final report. Report SSI 99:19. Swedish radiation protection institute. 104 s.

Rantavaara, A. 1996. Puutavaran radioaktiivisuus. STUK-A133. Säteilyturvakeskus 32 s.

Rantavaara, A. & Moring, M. 1998. Contaminated Tree Biomass in Energy Production-Potential Need for Radiation Protection. NATO-ARW Proceeding series, s. 303–310.

Rantavaara, A. & Moring, M. 2001. Puun tuhkan radioaktiivisuus. STUK-A 177. Säteilyturvakeskus. 41 s.

ST-ohje 12.2. Rakennusmateriaalien, polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus. Säteilyturvakeskus. Helsinki 1993. 6 s.

Kansainväliset projektit

IEA Bioenergy – tärkein yksittäinen t&k-toiminnan kansainvälinen verkottumiskanava

Kai Sipilä, IEA:n bioenergiaohjelman johtoryhmän Suomen edustaja
VTT Energia
PL 1601, 02044 VTT (Biologinkuja 3–5, Espoo)
Puh. 09-456 5440, faksi 09-460 493
e-mail: Kai.Sipila@vtt.fi

1. IEA Bioenergiaohjelman tavoitteet

IEA:n Bioenergiaohjelma (agreement) on eräs OECD-maiden energiajärjestön International Energy Agency:n aktiivisempia ja suurimpia verkostoja uusiutuvien energialähteiden alueella. Tällä hetkellä siihen kuuluu 18 maata ja uusia niin OECD- kuin sen ulkopuolisiakin maita on hakeutumassa ohjelmaan mukaan. Myös EU:n komissio on edustettuna useissa projekteissa, FAO:n ja Maailmanpankin kanssa on erillinen tiedonvaihtosopimus. Käytännön työ etenee kolmivuotiskausittain, uusin jakso alkoi vuoden 2001 alusta. Työ on ajettu 13 eri taskiin eli projektiin, joista Suomesta Yrjö Solantausta koordinoi niistä yhtä, nimeltään “Bioenergiakonseptien teknistaloudellinen kilpailukyky”, josta on erillinen esitys vuosikirjassa. Suomi on mukana 7 projektissa. Yhden projektin vuotuinen osanottomaksu on keskimäärin 10 000 US\$/a (n. 11 735 €), joten Suomen kustannukset ovat noin 500 000 mk/a jäsenmaksuina lisättyinä projektien vastuuhenkilöiden osanotto- ja matkakuluilla. Ohjelman puheenjohtajana toimii Dr. Josef Spitzer Joennum Researchistä Itävallasta. Suomen edustajina johtoryhmässä ovat Kai Sipilä VTT Energiasta ja Heikki Kotila Tekesistä. Lokakuussa 2002 johtoryhmä kokoontuu jälleen Suomessa.

Tiedonvaihtokanavana IEA:n Bioenergiaohjelma on mielestäni tehokkain kansainvälinen verkottumiskanava tutkimus- ja kehitystoiminnan asioissa, ja sen hyöty korostuu erityisesti mentäessä EU:n ulkopuolelle niin Amerikkaan kuin Kaukoitään. Ohjelman kautta on helppo saada niin nettisivujen kuin

henkilökohtaisten kontaktien kautta nopeasti tietoa ulkomailta, ja toisaalta viestittää tehokkaasti suomalaisen bioenergiaosaamisen tuloksista ja sisällöstä tuleville yhteistyöpartnereille ja asiakkaille. Yritystahoja ja yrityshankkeiden tuloksia toivotaan projekteihin entistä aktiivisemmin. Ohjelman nettisivut löytyvät www.ieabioenergy.com sekä Suomen IEA:n hankkeiden osalta www.tekes.tietokoura.com/iea/.

Tänä vuonna johtoryhmä on työstämässä erityisesti seuraavia aiheita:

- Kioton ilmasto-ohjelmaa varten strategiamuistiota bioenergian roolista, joka tulee myös osaksi IEA:n uusiutuvien energialähteiden kehittämisstrategiaa
- Strategiamuistiota kestävästä metsätaloudesta ja puuenergian tuotannosta
- Strategiamuistiota jättepohjaisten kierrätyspolttoaineiden roolista bio-energiana
- Uusia entistä informatiivisempia ohjelman nettisivuja ja tiedotustoimintaa.

2. Suomen edustajat eri projekteissa

Vuoden 2001 alusta alkaneella kolmivuotiskaudelle Suomen edustajat eri projekteissa ovat esitetty taulukossa 1. Heiltä saa lisätietoja yhteistyöverkoston tuloksista ja toisaalta heille voi jättää kyselyjä tai viestejä välitettäväksi koko yhteistyöryhmälle. Jotkut projektit pohjautuvat meneillään oleviin Tekesin Puuenergian tai Jätteiden energiakäyttö tai ClimTech- teknologiaohjelmien projekteihin, tai toisaalta hankkeisiin, joissa ei ole varsinaista isompaa projektia juuri meneillään. Varsinaisesti osanotto päätetään kalenterivuodeksi kerrallaan, mutta koska hankkeet ovat kolmivuotisia, niin usein osanottostrategia työsuunnitelmineen tehdään kolmeksi vuodeksi. Hankkeisiin osallistutaan luonnollisesti valikoidusti. Joihinkin projekteihin ei Suomi ole liittynyt vähäisen kansallisen painoarvon vuoksi, ja joistain on jääty aktiivisesti pois oman kehitystyömme vähentyessä. Liitteessä 1 on esitetty kaikki ohjelman projektit. Todettakoon, että kun vuoden alusta prof. Pentti Hakkila jäi pitkän päivätyön tehneenä sivuun task 31 toiminnasta, halusivat niin kyseinen projekti kuin ohjelman johtoryhmä lausua mitä parhaimmat kiitöksensä hänen arvokkaasta panoksestaan IEA:n työssä.

Taulukko 1. IEA Bioenergia-ohjelman tehtävät ja suomalaiset yhdyshenkilöt.

Projektin nimi	Yhdyshenkilö ja yhteystiedot
<i>Task 16 – Technology Assessment of Cellulosic Materials to Ethanol in Sweden.</i>	Suomi ei osallistu
<i>Task 30 – Short Rotation Crops for Bioenergy Systems.</i>	Suomi ei osallistu
Task 31 – Conventional Forestry Systems for Sustainable Production of Bioenergy	Prof. Antti Asikainen, puh. 013-251 4042 e-mail: Antti.Asikainen@metla.fi
Task 32 – Biomass Combustion and Co-firing	Heikki Oravainen, puh. 014-672 532 e-mail: Heikki.Oravainen@vtt.fi
Task 33 – Thermal Gasification of Biomass	Esa Kurkela, puh. 09-456 5596 e-mail: Esa.Kurkela@vtt.fi
Task 34 – Pyrolysis of Biomass	Anja Oasmaa, puh. 09-456 5594 e-mail: Anja.Oasmaa@vtt.fi
Task 35 – Techno-Economic Assessments for Bioenergy Applications	Yrjö Solantausta, puh. 09-456 5517 e-mail: Yrjo.Solantausta@vtt.fi Projektin koordinaattori
Task 36 – Energy from Integrated Solid Waste Management Systems	Kai Sipilä, puh. 09-456 5440 e-mail: Kai.Sipila@vtt.fi, Jätteiden energiakäyttöohjelma
Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas	Helena Manninen, puh. 0910-521 5888 e-mail: Helena.Manninen@tekes.fi, Streams ohjelma
Task 38 – Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems	Prof. Ilkka Savolainen, puh. 09-456 5062 e-mail: Ilkka.Savolainen@vtt.fi, ClimTech ohjelma
Task 39 – Liquid Biofuels	Prof. Liisa Viikari, puh. 09-456 5140 e-mail: Liisa.Viikari@vtt.fi
<i>Task 28 – Solid Biomass Fuels Standardisation and Classification.</i>	Suomi osallistuu EU/CEN:n kautta
<i>Task 29 – Socio-economic Aspects of Bioenergy Systems.</i>	Suomi ei osallistu

Projektien tuloksista tiedotetaan Tekesin teknologiaohjelmien vuosi- ja tutkijaseminaareissa, ohjelmien ja IEA-toiminnan nettisivuilla ja varsinaisten projektien väli- ja loppuraporttien avulla. Vuoden 2001 alkaneen kolmi-vuotiskauden keskeiseksi tavoitteeksi onkin otettu Tekesin taholta IEA:n toiminnasta entistä tehokkaampi tiedottaminen ja vuorovaikutus kansallisiin ohjelmiin.

Lienee paikallaan myös informoida niistä IEA:n hankkeista, joihin Suomi ei osallistu. *Task 16 on USA:n ja Ruotsin kahdenkeskinen bioetanolin valmistuksen kehityshanke metsäbiomassasta*, joka tähtää yhteisen demonstraatiolaitoksen rakentamiseen Ruotsiin amerikkalaisella teknologialla. Näillä mailla on huomattavat intressit saada puupohjaisen etanolituotannon koemittainen tuotanto alkamaan lähivuosina pohjautuen kansallisiin energia- ja teknologian kehittämissstrategioihin. Asia tulee loppuvuodesta nousemaan erittäin ajankohtaiseksi myös Suomessa, koska EU on antamassa liikenteen biopolttoaineita koskevaa mietintöä, jossa esitetään 5 % biopoltonesteosuutta v. 2010 liikenteen polttonestekulutuksesta. Suomessa se merkitsisi noin 150 000 toe/a volyyymia.

Task 30 liittyy peltobiomassojen tuotantoon ja hyödyntämiseen energia-sektorilla. Pääpaino on nopeakasvuisten energiapajujen ja -ruohojen kasvatuksessa ja korjuussa. Aihe on ajankohtainen niissä maissa, joissa peltopinta-ala on huomattavan suuri metsäalaa nähden, ja joissa liikenteen rypsi biodieselin ja ohraetanolin rinnalle halutaan kiinteän polttoaineen vaihtoehtoja lämmitys- ja sähköntuotantosektoreille. Kilpailukyky on riippuvainen kansallista viljelytuista.

Task 28 liittyy kiinteiden biomassojen standardisointityöhön. Aihe on erittäin tärkeä niin kansainvälisen bioenergia- kuin laitekaupan kannalta. Suomi osallistuu aktiivisesti tähän työhön muiden EU-maiden eurooppalaisen standardointiorganisaation CEN:in kautta. Tämä IEA-projekti on perustettu niitä EU:n ulkopuolisia maita varten, jotka haluavat osallistua kyseiseen yhteistyöhön.

Hiljattain perustettuun, uuteen Task 29:ään Suomi ei vielä ole liittynyt. Heikki Kotila on Tekesissä valmistelemassa mahdollista liittymistä ja kyseisen yhteistyön verkottamista kansallisiin hankkeisiin.

3. IEA:n bioenergy yhteistyön hyödyt

Nähdäkseni tämä kansainvälinen, lähes 20 eri maan, bioenergiatahojen verkosto on tehokkain ja laajin nykyisistä alan verkostoista. Kussakin maassa sen piirissä on noin 5–20 henkeä tiedonsiirtolistoillaan teollisuudesta, tutkimus- ja viranomaisorganisaatioista. Näin laajat yhteistyötahot ovat mielestäni erityisen tärkeitä, koska bioenergia-alan kehityshaasteet ovat perin erilaiset kuin muiden

uusiutuvien energialähteiden. Ajatellaampaa esimerkiksi tuulta tai aurinkoa eri maissa ja maanosissa, yhteneväisyydet ovat paljon isommat tekniikoille ja liiketoimintamalleille kuin bioenergia-alueella. Tämä näkyy selvästi myös IEA:n Pariisiin pääkonttorin työssä, jossa eri uusiutuvia energialähteitä pyritään voimakkaasti korostamaan osana Kioto-prosessia.

Suosittelinkin, että käykää aktiivisesti IEA:n Bioenergiaohjelman nettisivuilla sekä eri osaprojektien nettisivuilla ja olkaa aktiivisesti yhteydessä niin suomalaisiin kontaktihenkilöihin kuin hankkeiden vetäjiin ja johtoryhmien jäseniin. Yhteistyön sopijatahot ovat kansallisia teknologia- tai energiaviranomaisia, kuten Tekes, joten yhteistyö heijastaa hyvin kansallisia alan painotuksia.

Lite 1. Eri maiden osallistuminen IEA:n Bioenergiaohjelmaan

Table 1: Task Participation in 2001 as at 4 May 2001

Task	AUS	AUT	BEL	ERA	CAN	CRO	DEN	FIN	FRA	ITA	JAP	NEL	NOR	NZE	SWE	SW	UK	USA	CEC	Total Participants in Task
16: Tech. assessment etc.															•			⊗		2
28: Solid biomass fuels etc.							•					•	•					•	⊗	5
29: Socio-economic aspects		•			•	⊗					•				•		•			6
30: Short Rotation Crops etc.	•				•	•	•					•		•	⊗		•	•		9
31: Conventional Forestry etc.	•		•		⊗		•	•				•	•	•	•		•	•		11
32: Biomass Combustion etc.	•	•	•		•		•	•				⊗	•	•	•	•	•	•	•	14
33: Thermal Gasification etc.		•					•	•		•		•			•	•	•	⊗	•	10
34: Pyrolysis of Biomass													•					•	⊗	3
35: Techno-economic Assessments etc.		•			•			⊗				•			•			•		6
36: Energy from Integrated Solid Waste etc.	•				•			•	•		•	•	•		•		⊗		•	10
37: Energy from Biogas etc.		•					•	?				•			•	⊗	•			6
38: Greenhouse Gas Balance etc.	•	⊗			•	•	•	•		?		•	•	•	•		•	•		12
39: Liquid Biofuels		•			•		•	•				•			•		•	⊗	•	9

* = Actual participation is higher because these are joint programmes with CEC participants.

⊗ = Operating Agents.

IEA Bioenergy – techno-economic assessments for bioenergy applications, Task 35 – PUUT16

Yrjö Solantausta
VTT Energia
PL 1601, 02044 VTT
Puh. 09-456 5517, faksi 09-460 493
e-mail: Yrjo.Solantausta@vtt.fi

Tiivistelmä

IEA Bioenergia projektitehtävä 35:n tavoitteena on mm.

- tukea teollisuuden pyrkimystä lisätä bioenergian käyttöä
- osallistua toisen IEA-tehtävän kanssa elinkaarianalyysiin, jossa vertaillaan Hollannin suurimman sähköntuottajan biosähkön tuotantovaihtoehtoja
- osallistua uusien energian tuotantotekniikoiden kehitystyöhön
- osoittaa mahdollisuuksia CO₂-päästöjen vähentämiseksi
- tehdä osallistujamaissa selvityksiä joiden tuloksista laadittavia yhteenvetoja voidaan käyttää osallistujamaissa T&K-työn lähtötietoina.

VTT Energia, NREL USA:sta ja Essent Energi Hollannista ovat IEA Bioenergian puitteissa aloittaneet tänä vuonna yhteistyön, jossa tehdään Essentin biosähkön tuotantovaihtoehtoille elinkaarianalyysi. Hollannissa lainsäädäntö velvoittaa sähköntuottajia korvaamaan noin 20 % käyttämästään kivihielestä uusiutuvilla energianlähteillä. Essentin voimayhtiön kannalta tavoitteena on määritellä edullisin tapa vähentää CO₂-päästöjä sähkön tuotannossa.

Projektiryhmä kokoontui aloituskokoukseen heinäkuussa Hollannissa. Tehtävään osallistuvat Suomi, Itävalta, Kanada, Hollanti, Ruotsi ja USA. Aluksi tullaan valitsemaan teknisesti lupaavimmat vaihtoehtoiset biosähkön tuotantoketjut tarkempaa elinkaarianalyysyä varten. Vaihtoehtoina ovat mm. puu-

hakkeen, puupellettien ja puusta valmistetun bioöljyn tuonti ja käyttö Hollannissa.

Nyt käynnistyvää työtä edelsi vuosina 1998–2000 toteutettu IEA Bioenergian tehtävä 22. Seuraavassa on yhteenveto vuoden 2000 tuloksista.

1. Background

Bagasse residues, produced from sugarcane processing, are the largest industrial biomass residues worldwide. Co-generation of heat and power is currently the only commercial large-scale use of this biomass waste. The Rankine power plant, which is the industrial technology, has a low power-to-heat ratio. Increasing the ratio would be desirable, as this would potentially lead to lower cost of electricity, and a more efficient utilization of the bagasse. As part of the IEA Bioenergy, alternatives to the Rankine cycle has been studied.

Alternative bagasse energy concepts were studied by considering the current sugar mill bagasse utilization and energy requirements, and integrating bagasse pyrolysis and gasification to improve the mill's energy efficiency. In both cases combined heat and power cycles using gas turbine or engine power plants were compared to the conventional Rankine cycle. Both systems are under development and offer some advantages. The gasification system has a high efficiency, and the technical uncertainties are well known. The power plant fuelled with pyrolysis liquid is flexible and easier to operate because of decoupling power plant and solid fuel handling. This concept has considerable technical uncertainties. All power plants may be operated for periods extending beyond the typical 180 days operation of a sugar mill either by storing densified bagasse (produced during mill operating time) or pyrolysis oil.

Both advanced systems have a higher efficiency and a power-to-heat ratio than the Rankine cycle. Estimated cost of electricity for cases under different operation modes are presented and compared.

The study was carried out 2000 within the IEA Bioenergy Task 22, Techno-Economic Assessments for Bioenergy Applications. The aim of the work was to study the competitiveness of new biomass to electricity concepts being developed at a specific site. The case studied deals with utilization of bagasse, which is a residue from sugar mill operation. Global potential amount of bagasse is large, and converting bagasse to electricity could play an important role in reducing green house gas emissions in countries with sugar cane cultivation

2. Introduction

Bagasse is a waste biomass from the sugarcane refining process. Bagasse residues represent the largest quantity industrial biomass waste available worldwide and therefore the most significant potential source of power produced from biomass. Figure 1 shows a comparison of the potential number of power plants by 2025 at 7 and 40 MW of electricity production for various biomass residues /1/.

As methods are considered to increase the usage of bioenergy globally as a way to reduce greenhouse gases, bagasse utilization will have a significant impact on the global bioenergy production. This study considers ways to improve and increase bagasse utilization by increasing the efficiency of electricity production through advanced bioenergy processes, and therefore replacing electricity produced by fossil fuels.

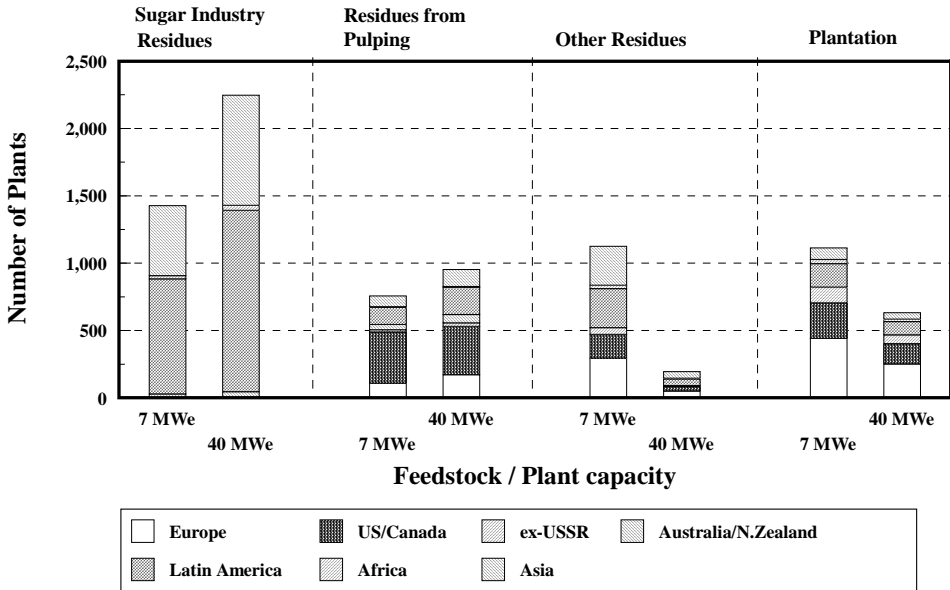


Figure 1. Number of potential power plants by 2025 for different industrial biomass residues.

Figure 1 shows that the majority of bagasse residues exist in Latin American countries. As an example, the country of Guatemala alone produces 28,600 tonnes of wet bagasse (50% moisture) daily during the sugar cane harvest period lasting for 150 to 180 days a year. Table 1 shows the typical sugar mill capacity and bagasse production for eight mills in Guatemala /2/. Significant quantities of bagasse are produced for consideration of integrating advanced bioenergy concepts at even the smallest capacity sugar mills.

Table 1. Sugar mill plant capacity and bagasse production in Guatemala (short tons, 50% moisture).

Facility	Daily cane capacity (tons)	Daily bagasse produced (tons)	Annual sugar produced (tons)
Concepción	8,000	2,400	147,000
Pantaleón	20,000	4,400	300,000
Magdalena	20,000	5,000	235,000
Tululá	7,000	1,600	66,350
El Baúl	6,000	1,400	86,050
El Pilar	16,000	4,000	142,500
Tierra Buena	7,000	1,950	100,000
Guadalupe	5,000	1,245	62,500
Total	89	21,995	1139,4

The increasing costs of conventional energy are resulting in sugarmills to investigate ways to increase the efficiency of power production from bagasse to enable them to sell power to the grid. In Nicaragua two sugarmills are considering selling power to the grid generated by bagasse combustion during the sugar production season, and then using eucalyptus from dedicated energy plantations as a fuel during the remainder of the year. The estimated electricity production cost is \$0.043/kWh. This cost is considered low due to the use of second hand equipment /3/.

3. Bases for the study

3.1 Scope

In the production of sugar from sugar cane, cane stalks are harvested and transported to sugar mills for processing. Cane stalks are crushed to release the sugar-laden juice, which is clarified and then reduced by steam heated evaporation processes until the desired level of sugar concentration is reached, followed by various refining processes. The fibrous remains of the crushed cane, called bagasse, is burned wet in boilers to produce steam that is used in the various processes. The average sugar mill has a daily capacity of 5,000 to 25,000 tons of raw cane throughput per day. The harvest period is 150 to 180 consecutive days annually, and during this period the mills operate continuously (24 hours per day, 7 days per week). Many sugar mills also generate electricity for their own consumption using steam turbines, and sell any excess electricity through the local grid during the 150 to 180 day period of operation of the sugar mill /3/.

The steam required by the sugar mill for cane processing is low pressure steam. In mills where electricity is produced a typical Rankin steam cycle is used. In sugar mill operation the amount of bagasse available exceeds the amount required for energy to produce low pressure steam for cane processing. The amount of bagasse used to produce steam for sugar production can range from 60 to 90 percent of the total bagasse available, depending on the efficiency of the bagasse combustion/boiler system. For the purposes of this study a sugar mill steam demand equivalent to 75 percent of the bagasse available was assumed for a basis. In the mills that do not produce their own electricity by co-generation, this excess bagasse is a waste that must be disposed. It is either burned in open fields or given to nearby mills that have co-generation capabilities.

For the purposes of this study, the integration of advanced bioenergy processes into a sugar mill considered processing only the amount of excess bagasse available. This was viewed as a more realistic approach to the energy integration as it would allow a mill to continue to use its current system of existing boilers to produce steam for the mill.

The sugar mill operating conditions vary from one mill to the next. Each mill operates at different capacities for different periods of time and with different efficiencies of the existing bagasse combustion systems. Therefore average conditions were chosen to study the overall feasibility of the energy integration technologies. However, the conditions particular to a specific mill can be inputted to the material and energy balance model that has been prepared to study a specific sugar mill application.

3.2 Feedstock

Bagasse is approximately 50% water by weight, and roughly 25% of the weight of raw cane milled becomes bagasse. For example, in a sugar mill with a 10,000 ton per day throughput, roughly 2,500 tons of bagasse will be produced daily. Typical properties of bagasse are shown in Table 2.

Table 2. Typical physical properties of bagasse (moisture free basis)

Carbon	48.8 % weight
Hydrogen	5.8 % weight
Oxygen	41.7 % weight
Nitrogen	0.2 % weight
Ash	3.5 % weight
Lower heating value (dry)	16.1 MJ/kg

3.3 Basis of the mass balance

Table 3 shows the typical sugar mill operating conditions that form the basis for the pyrolysis combined cycle concept. The actual amount of bagasse fed to the existing boilers is 70 percent of the total bagasse available. This is 5 percent less

than the amount that would be used in the boilers if the bagasse pyrolysis system was not used. In this case the additional steam required by the sugar mill is produced in the heat recovery boiler in the combined cycle power section and passes to the mill after passing through the steam turbine.

Table 3. Sugar mill operating basis for energy integration.

Mill operating period	160 d/year
Total Bagasse available	2000 t/d
Bagasse moisture content	50%
Sugar mill steam demand	6.3 t/d
Bagasse required for steam production	1400 t/d
Steam pressure	5 bar
Bagasse feed to pyrolysis combined cycle	600 t/d
Bagasse Higher Heating value, HHV	17.4 MJ/kg
Bagasse Lower Heating value, LHV (50% moisture)	6.8 MJ/kg
Energy efficiency of existing bagasse boilers	75%

4. Sugar mill energy integration concept

4.1 Pyrolysis combined cycle

Figure 2 shows a block diagram of the concept studied for the integration of a bagasse pyrolysis combined cycle process into a sugar mill. The integration of the pyrolysis concept into the sugar mill results in additional energy efficiencies beyond those realized by the pyrolysis combined cycle alone. The heat contained in the flue gas from the existing bagasse boilers, which is normally lost, is used in the bagasse dryer in the pyrolysis plant. This increases the energy efficiency

of the pyrolysis plant since normally a small portion of the biomass feed to a pyrolysis plant is needed to supplement the energy required for drying. Low pressure steam from the steam turbine is used to supplement the sugar mill steam demand, allowing more bagasse to be processed in the pyrolysis combined cycle to produce electricity.

Wet bagasse is fed to the existing boilers, which is the current method of bagasse utilization in the sugar mills. A portion of the wet bagasse is dried to 10 percent moisture and fed to a fast pyrolysis plant. The char and gas by-products of the pyrolysis process are burned to produce the energy needed for the pyrolysis. Flue gases from the char combustion are sent to the dryer as a heat source.

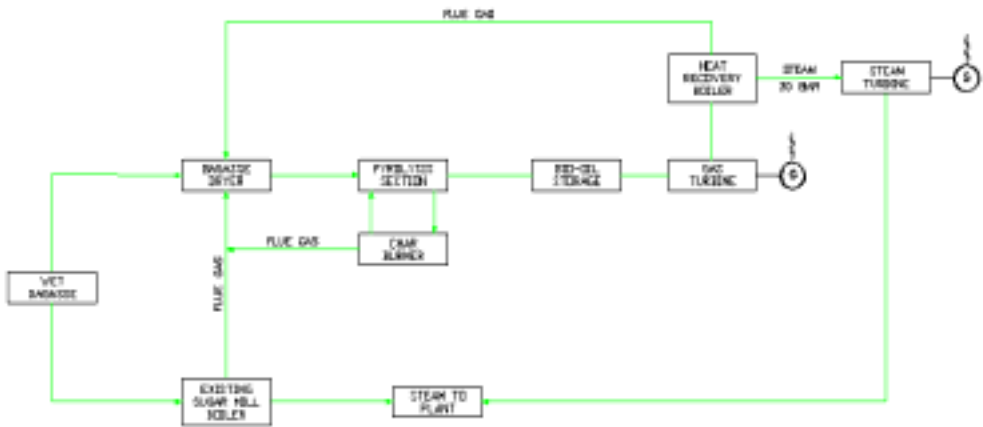


Figure 2. Sugar mill energy integration by bagasse pyrolysis combined cycle.

Figure 3 shows a flowsheet of the pyrolysis section of the bagasse pyrolysis combined cycle concept. The vapours from the pyrolysis of the dry bagasse are condensed to produce a homogeneous bio-oil. The bio-oil can be stored and used in the power production section of the plant as required. Since wet bagasse cannot be stored for long periods of time, the ability to store bio-oil produced from bagasse allows the sugar mills to produce power with their surplus energy from the bagasse for longer periods of time.

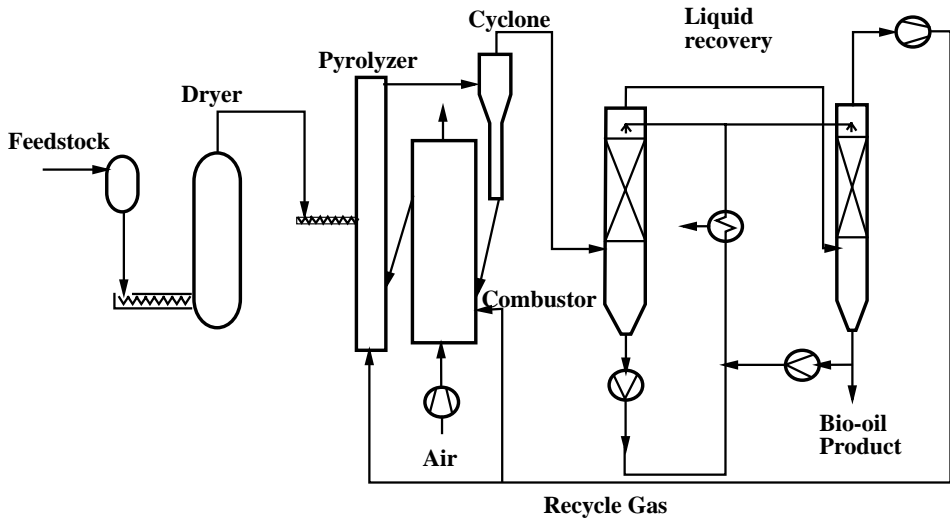


Figure 3. Bio-oil production by bagasse pyrolysis.

In the power section of the plant the bio-oil is combusted in a gas turbine that is connected to a generator to produce electricity. The hot flue gas from the turbine passes through a heat recovery boiler to produce steam. The steam powers a steam turbine, producing more power, and the low pressure steam from the steam turbine is sent to the sugar mill to meet the mill's steam requirement. The power section for the pyrolysis combined-cycle is shown in Figure 4.

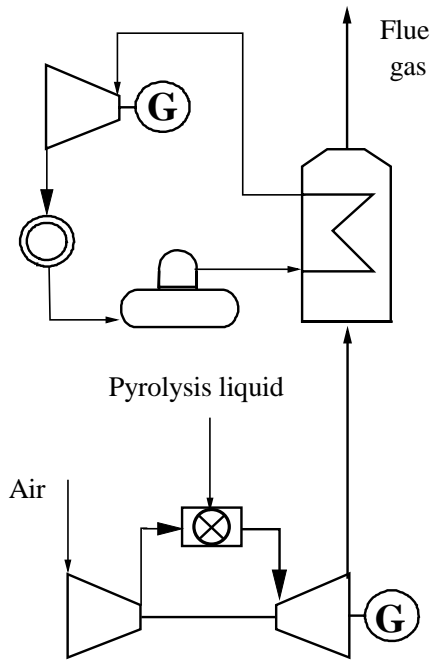


Figure 4. Pyrolysis combined-cycle.

The pyrolysis section of the system has a capacity of 600 t/d wet bagasse, which corresponds to the typical capacity of wood pyrolysis plants that are foreseen by the process technology developers and that have been analyzed in previous technical economic studies /4/.

4.2 Gasification gas engine

Figure 5 shows a flow sheet of the gasification gas engine concept fuelled by densified bagasse. The gasification power section is integrated into the sugar mill in the same way as the pyrolysis concept shown in Figure 2 above. Gas is produced from densified bagasse, because dried and densified bagasse may be stored to increase the operation time on the power plant. The gas engine is coupled directly with the gasifier. The gasification system has been integrated into the sugar mill to include use of flue gas from the existing bagasse boilers for bagasse drying. The densification is sized to produce fuel for entire 7 800 h/a power plant operation during sugar mill's 3 840 annual operation hours.

The gasification process is based on atmospheric pressure gasification with wet gas clean up. The bagasse is dried to 20% moisture in a flue gas dryer, densified and fed to the gasifier. The gases pass through a gas clean-up system and are fed to the gas engine to produce electricity.

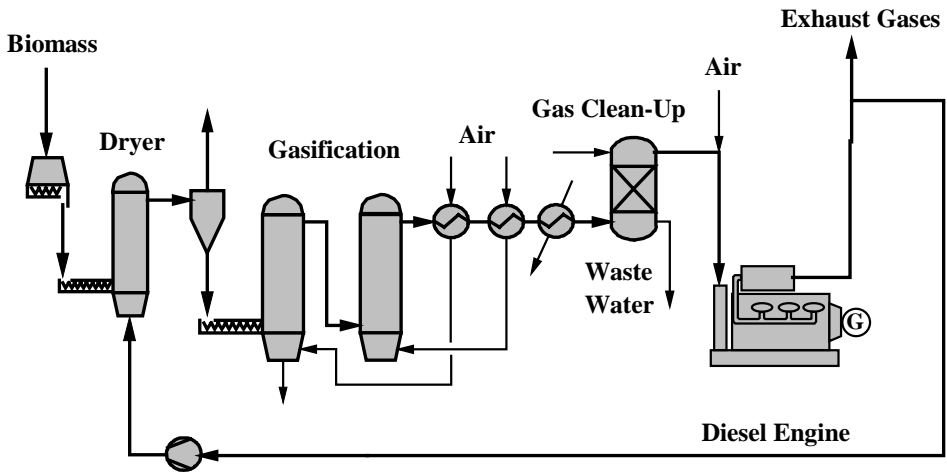


Figure 5. Power production by bagasse gasification and gas engine.

4.3 Rankine cycle

Figure 6 shows a flow sheet of the Rankine cycle power plant. The boiler section is integrated into the sugar mill in the same way as the other two concepts, i.e. serving in CHP mode during the sugar mill operating time of 160 d/a using bagasse residues as such. A densification plant is producing fuel for the remainder of the power plant operation time during sugar mill operation time. The boiler plant is fired with densified, stored bagasse outside sugar mill's operation time.

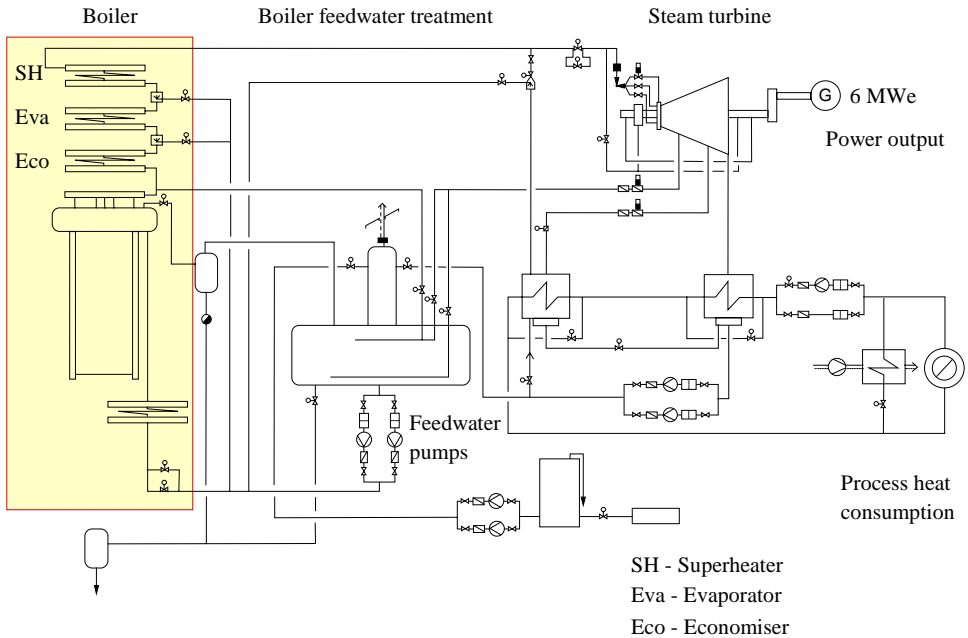


Figure 6. Power production by bagasse rankine cycle.

4.4 Technical uncertainties

4.4.1 Bagasse pyrolysis

Some of the companies that are developing biomass fast pyrolysis process technologies have tested bagasse in their pyrolysis pilot plants. However, the amount of pilot plant operating data and experience with bagasse pyrolysis is limited, and the largest scale of operational experience with bagasse pyrolysis is significantly less than the 25 to 30 t/d scale at which wood fast pyrolysis technology has been demonstrated. The limited experience and data means that some problems can be expected in the scale up of the technology to the 600 t/d wet bagasse feed capacity considered in this study. A considerable r&d programme is needed to develop this opportunity.

The following are the key uncertainties related to the scale-up of bagasse fast pyrolysis processes:

- scale-up effects on liquid product yields
- feed particle size effects on liquid yields
- stability of the liquid product particularly at the high ambient temperatures present in sugar mills, including possible changes with time, temperature, water content and viscosity increase
- liquid product solids content
- pyrolysis plant safety – carbon monoxide, metal carbonyls, carcinogens
- combustion characteristics of the char by-product.

4.4.2 Bio-oil as a gas turbine fuel

The use of bio-oil as fuel in gas turbines is a relatively recent development. Efforts to date indicate the feasibility of operating a gas turbine on bio-oil through combustion rig and full scale engine testing /5, 6, 7, 8/. The technical challenges can be summarized by examining the key differences in fuel characteristics between biofuel and common distillate fossil fuels such as No. 2 Diesel, shown in Table 4. The utilization of bio-oil with gas turbines is achieved through the modification of current systems and processing/handling procedures to accommodate these unique properties. These are summarized in Table 4 with a detailed discussion found in reference /7/. However, much of the requirements for bio-oil operation are analogous to those utilized in the combustion of heavy fuels for gas turbines. This therefore allows previously established technologies to be applied to bio-oil operation.

This technology has been demonstrated through combustion rig and full scale gas turbine engine testing. Orenda alone has combusted over 10,000 kg of bio-oil in combustion rig tests and 15,000 kg in engine testing. These short-term tests have demonstrated the applicability of bio-oil to turbine operation. Therefore, the next step, which is currently being carried out, is the development and testing of second generation bio-oil gas turbine systems for commercial level operation.

Table 4. Gas turbine design modifications for bio-oil compared to diesel fuel.

Parameter	Units	Bio-Fuel	Diesel #2	Design Modifications
Net Calorific Value	MJ/kg	15–20	42.0	Upgrade fuel system flow capabilities
Viscosity	CSt	3–15 @80 °C	2–4@20 °C	Preheat system, fuel nozzle atomization
Acidity	PH	2.3–3.0	5	Careful selection/screening of fuel system materials
Water	Wt %	19–24	0.05 v% (combined)	None, advantageous for reduced NO _x
Particulate	Wt %	0.1–0.6		Liquid filtering, increase combustor residence time
Ash	Wt %	0.01–0.5	0.01	Baghouse, turbine wash system
Alkali (Na + K)	Ppm	5–400	<1	Coating optimization, fuel treatment

4.4.3 Gasification gas engine

There is some uncertainty related to scaling up the gasification section of the plant. Bagasse has been gasified in pilot facilities, for example TPS in Sweden /9/, but there is no data available from larger facilities.

Numerous gas engines have been operated for varying periods with gas derived from several biomass fuels. However, no plant has actually been operated industrially. There are still technical uncertainties especially related to the gas cleaning stage of the concept. However, the uncertainty related to the gas engine operation may be considered moderate.

4.4.4 Rankine cycle

The Rankine cycle is the current industrial standard. There are no major uncertainties with this technology. The major drawback for the concept is the low efficiency.

5. Results

5.1 Process modeling methods

A rigorous performance analysis is the key to a meaningful feasibility study. Performance analysis is essential in estimating system the costs. The design of industrial units, or more accurately, the prediction of industrial plant performance was the primary objective of the current work. Both the operating and investment costs, key elements in feasibility studies, were determined on the basis of mass and energy balances.

Process analysis computer software, AspenPlus™, was used as the basic framework to perform material and energy balance calculations for the process cases. Aspen is a steady-state process analysis program extensively employed in chemical engineering process modelling.

The performance models were used to supply

- mass and energy flows in the process
- energy demand and production in the process units/equipment
- performance of unit operations
- sizing data for unit operations.

The data from the models are then used for

- a cost and performance analysis of the process configurations
- technical sensitivity studies, in which some critical process parameters are varied to study their effects on the overall performance or cost.

5.2 Performance results

5.2.1 Pyrolysis concept

The material balance for the bagasse pyrolysis plant is shown in Figure 7. The efficiency for the shown configuration is 74% based on lhv of the fuel. It should be noted that the extremely high efficiency of the system is partly due to a specific integrated configuration, where flue gases are used in the pyrolyser dryer. The bagasse dryer uses hot gases from three sources:

- part of the flue gases from the existing boilers ($3.0 \text{ MW}_{\text{th}}$)
- flue gases from the gas turbine heat recovery steam generator ($1.8 \text{ MW}_{\text{th}}$)
- flue gases from the pyrolysis process combustor, which also provides heat for pyrolysis ($4.0 \text{ MW}_{\text{th}}$). This flow with its composition is shown on flowsheet Figure 7.

Total of 9 t/h of pyrolysis liquid is produced from 13 t/h of dry bagasse feed.

Mass balances for the pyrolysis combined cycle is shown in Figure 8. Part of the bio-oil produced from the bagasse pyrolysis is stored while operating the pyrolysis CC in combined heat and power mode producing 7 MW_e of power. There will be enough oil stored to operate the power plant for an additional 165 days in condensing mode producing 7.9 MW_e . The benefit of the bagasse pyrolysis combined cycle concept is to allow the sugar mill to produce power after the sugar cane processing period.

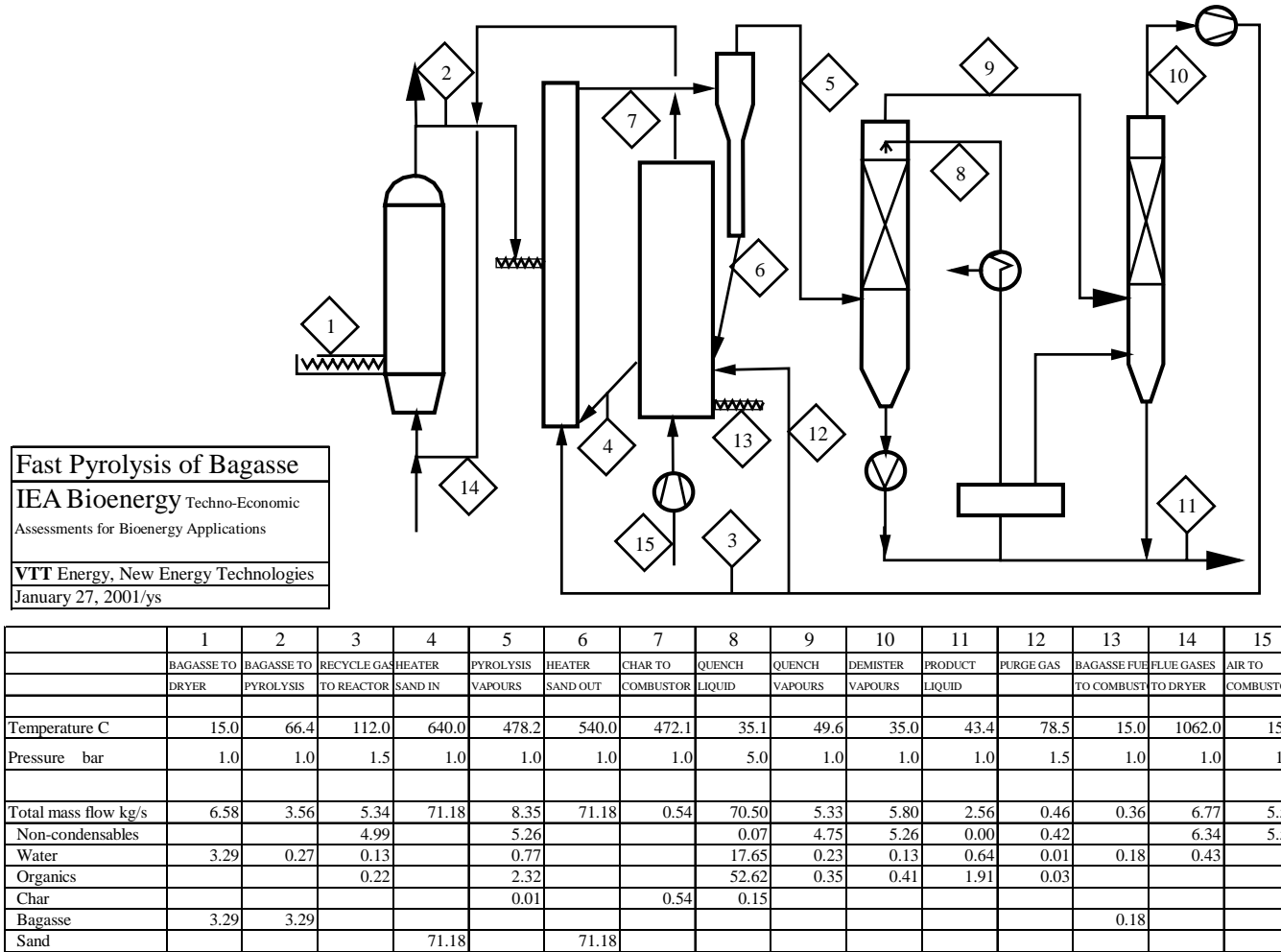
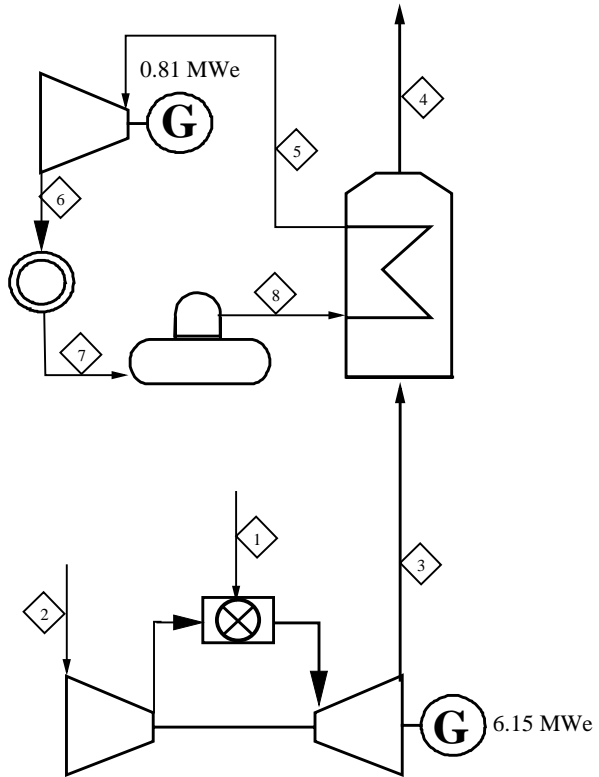


Figure 7. The mass balance for the pyrolysis plant.

Fast Pyrolysis of Bagasse
 IEA Bioenergy Techno-Economic
 Assessments for Bioenergy Applications
 VTT Energy, New Energy Technologies
 January 27, 2001/ys



	1	2	3	4	5	6	7	8
	PYROLYSIS	GAS TURBINE	GAS TURBINE	HRSG	SUPERHEATED	TURBINE	CONDENSER	BFW TO
	LIQUID	AIR	FLUE GAS	FLUE GAS	STEAM	STEAM OUT		HRSG
Temperature C	15.0	15.0	435.0	202.9	400.0	228.1	40.0	106.3
Pressure bar	1.05	1.01	1.20	1.20	31.0	5.0	4.5	31.0
Total mass flow kg/s	1.25	27.00	28.25	28.25	2.56	2.56	2.56	2.56
Gases		26.94	27.29	27.29				
Water/vapour	0.32	0.06	0.96	0.96	2.56	2.56	2.56	2.56
Organic liquid	0.94							
Mole flow kmol/s		0.93	0.98	0.98	0.14	0.14	0.14	0.14
CO2 molfrac			0.05	0.05				
N2		0.78	0.74	0.74				
AR		0.01	0.01	0.01				
O2		0.21	0.15	0.15				
H2O		0.004	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0

Figure 8. The mass balance for the pyrolysis CC plant, CHP mode.

A summary of the pyrolysis liquid production plant balances is shown in Table 5. A summary of both of the combined-cycle power plant modes is shown in Table 6.

Table 5. Pyrolysis liquid production plant performance.

Pyrolysis section	
Bagasse feed to dryer (wet 50% moisture)	600 t/d
Bagasse feed to pyrolysis (7.5% moisture)	307 t/d
Bio-oil Produced	221 t/d
Bio-oil heating value, l _h v	15.4 MJ/kg
Pyrolysis section efficiency	74.5 %
Pyrolysis section operating period	160 d/year

Table 6. Pyrolysis combined cycle power plant: process performance.

Power section	CHP mode See note 1	Condensing mode
Operating period	160 d/year	167 d/year
Gas turbine efficiency	31.9%	31.9%
Gas turbine power production	6.1 MW _e	6.1 MW _e
Steam turbine power	0.8 MW _e	1.7 MW _e
Net plant power	7.0 MW _e	7.9 MW _e
Power production efficiency	29.2	33.0
Process heat production	6.3 MW _{th}	
Overall efficiency (note 2)	55.8 %	
Average annual power production efficiency	31.9 %	

Note 1: For the pyrolysis case the power section is run in two modes: Combined Heat and Power mode during the operation of the sugar mill to provide steam needed to supplement the mill's steam demand, and Condensing mode during the period when the mill is not in operation.

Note 2: Overall efficiency = (annual power and heat) / (feed bagasse lower heating value * mass flow)*100

5.2.2 The references: The gasification gas engine and the Rankine power plants

Table 7 shows the results of the material and energy balance for the bagasse gasification engine power plant. The gasification engine cycle plant would be operated for 160 days per year corresponding to the sugar mill operating period, and additionally 165 days fuelled with densified and stored bagasse. The overall efficiency annual efficiency of the plant is 29 percent. The performance is interpolated from an earlier work within the IEA Bioenergy /10/. In that work wood fired gasification gas engine concepts were analyzed.

Table 7. Gasification gas engine power plant: process performance.

Gasification section	
Bagasse feed to dryer (wet 50% moisture)	600 t/d
Bagasse feed to gasification (20% moisture)	375 t/d
Gas heating value, lhv	4.9 MJ/kg
Power and heat section	
Gas engine output	3.5 MW _e
Number of engines	2
Net Plant Power	7.0 MW _e
Power production efficiency %	28.6
Operating period	325 d/year

In addition to the pyrolysis and gasification cases, a conventional Rankine cycle case was analyzed as reference (Table 8). In this case the same amount as previously of bagasse was combusted in a modern boiler with a steam turbine power cycle. The Rankine plant would be operated for 160 days per year corresponding to the sugar mill operating period, and additionally 165 days fuelled with densified and stored bagasse. The overall annual average efficiency for this case is 25.6 percent at 6.5 MWe.

Table 8. The Rankine cycle power plant: Process performance.

	CHP mode	Condensing mode
Operating period	160 d/year	165 d/year
Bagasse fed to the boiler (20% moisture)		185 t/d
Bagasse fed to the boiler (50% moisture)	295 t/d	
Net plant power	5.6 MW _e	7.9 MW _e
Power production efficiency	24.0 %	25.1 %
Average annual power production efficiency	26.3 %	

5.2.3 Costs of power production from bagasse

The costs to produce electricity for each of the cases are compared in Table 9 and Figure 9. For each case an interest rate of 10 percent and plant operating life of 15 years were used. In Guatemala the cost for a sugar mill to purchase electricity is approximately US\$ 0.06/kWh. It may be seen that the pyrolysis combined-cycle has the highest overall power production efficiency followed by gasification. The efficiency of the Rankine cycle is lower than the two.

Rankine cycle has the lowest cost of electricity (COE), when bagasse is considered no cost. However, differences between the cases are not large (pyroCC has 17% and gasification-engine 9% higher COE than the Rankine). It should also be noted that the COE is quite sensitive towards the used cost of densification (Figure 10). Internal rate of return (IRR) is also calculated. Depreciation is estimated as straight line in ten years, and the estimation has been done for 20 years. The Rankine case has the highest IRR at 10%. Pyrolysis CC and gasification-engine have slightly lower IRR. Sensitivities for the COE and IRR are shown below.

Table 9. Comparison of electricity costs of from bagasse, bagasse no cost, densification 20 US\$/tonne (20 wt% moisture).

	Pyrolysis combined cycle	Gasification engine	Rankine cycle
Power production, MW _e	7.4	7.0	6.1
Annual operating period, d	327	325	325
Power production efficiency	31.9	28.6	24.6
Capital cost, US\$/kW	3400	2000	2100
Cost of electricity, US\$/kWh	0.069	0.064	0.059
IRR % at 0.06 US\$/kWh	7.5	8.0	9.9

Cost of electricity, base case

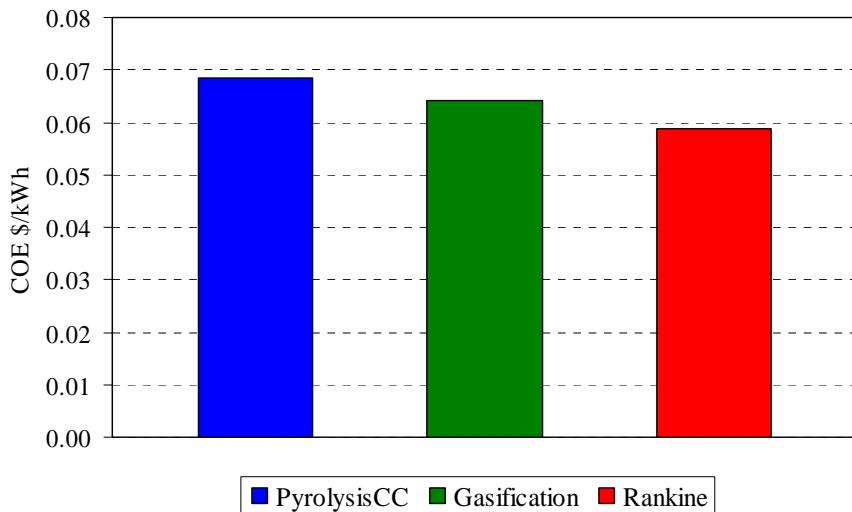


Figure 9. Comparison of cost of electricity, base capacity 600 t/d of 50 wt% moist bagasse.

COE as a function of densification cost of bagasse is shown in Figure 10. No densification is needed with pyrolysis and its COE is constant. It may be seen that at low densification cost (10 US\$/tonne) gasification and Rankine yield an equally low COE. However, if densification cost is high (30 US\$/tonne), pyrolysis and Rankine yield practically equal COE. In this case gasification produces high COE. It may be concluded that in the two cases with densification COE is quite sensitive to densification cost.

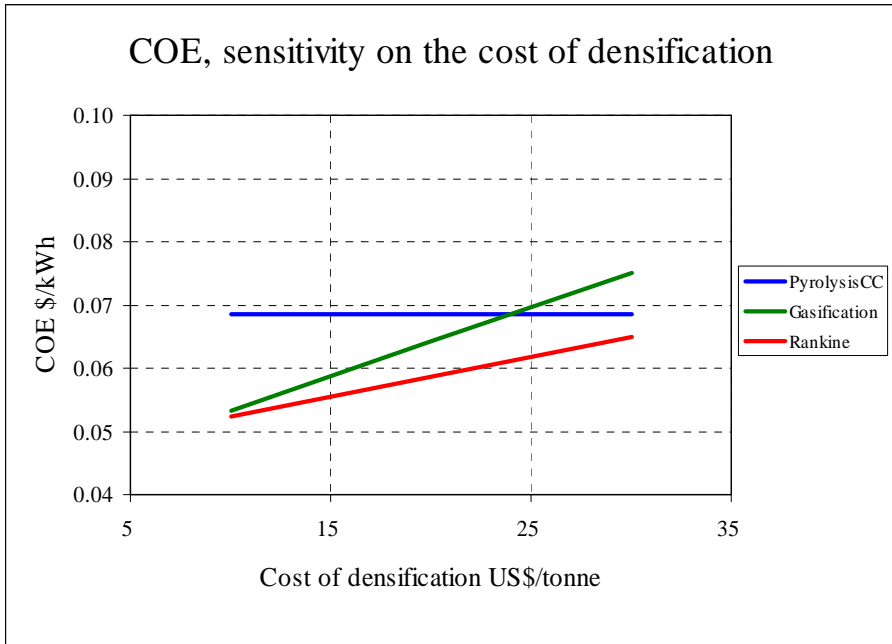


Figure 10. Comparison of cost of electricity as a function of densification cost of bagasse, 50 wt% moisture bagasse feed zero cost.

6. Conclusions

- It appears that retrofitting a sugar mill to integrate advanced bioenergy processes for only the excess bagasse available is not competitive at current electricity costs.
- The situation may be different, if a power plant is built to process all of the bagasse available and integrated with the sugar mill's energy requirements.

In this case, the overall energy system may be optimized both for sugar and power production, whereas now the sugar production is practically the only consideration. Such a project would almost certainly have to involve both a sugar company and a utility.

- Further study to consider integrating a power plant to process all of the bagasse available at a sugar mill is recommended. This study would be based on the actual conditions at a specific sugar mill.
- The Rankine cycle appears superior compared to new concepts being proposed. However, cost of electricity is quite sensitive to densification, which is assumed for both gasification and Rankine concepts.
- If densification is high cost, pyrolysis CC becomes more competitive.

7. Acknowledgements

We gratefully acknowledge the assistance of Dan Fuleki of Magellan, Orenda Aerospace Division, in providing performance data on gas turbines, and insight into the operating requirements of gas turbines with biomass derived fuels.

8. References

1. Hall, D. & House, J., Biomass: a modern and environmentally acceptable fuel. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 38 (1995) 521–542.
2. Factors Affecting the Commercial Potential of ‘Solarwall’ Technology in Drying Bagasse, Natural Resources Canada Report, Ottawa, Canada, March 2000.
3. Heat and Power from Eucalyptus and Bagasse in Nicaragua: Parts A and B. Food and Agriculture Organization, FAO, United Nations.

4. Beckman, D., Pyrolysis Power Plant Using Rapid Thermal Processing and a Steam Turbine, and Bio-oil Production Plant Using Rapid Thermal Processing, Volume 3, IEA Bioenergy Techno-economic analysis activity, VTT Research Notes 1961, Espoo Finland, 1999.
5. Wornat, M.J., Bradley, G. P. & Yang, N.Y.C, Singe Droplet Combustion of Biomass Pyrolysis Oils, Energy and Fuels, 1994, Vol. 8, No. 5, pp. 1131–1142.
6. Jasas, G. Kaskper, J. & Trauth, R., "Gas Turbine Demonstration of Pyrolysis-Derived Fuels", Technical Report, DDE/ET/3333--T2, Report No. 1901, June 1983.
7. Andrews, R.G., Fuleki, D., Zukowski S. & Patnaik, P.C., Results of Industrial Gas Turbine Tests Using a Biomass Derived Fuel, 3rd biomass conference of the America's, pp. 425–435, 1997.
8. Krumdiek, S.P. & Daily, J.W., Evaluating the Feasibility Of Biomass Pyrolysis Oil for Spray Combustion Applications, Combustion Science and Technology, Vol. 134, pp. 351–365, 1998.
9. Waldheim, L. et al., Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash, in proc. Progress in Thermochemical Biomass Conversion, September 2000.
10. Solantausta, Y., Beckman, D., Östman, A., Podesser, E. & Overend, R., VTT Research Notes 2024, Espoo 2000.



Kirjoittaja(t)

Eija Alakangas (toim.)

Nimeke

Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001

Tiivistelmä

Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on luoda teknistaloudelliset edellytykset metsähakkeen käytön viisinkertaistamiseksi vuoteen 2003 mennessä eli lisätä käyttöä 2,5 miljoonaan m³:iin. Vuonna 2003 metsähakkeella tuotettaisiin energiaa noin 5 TWh eli lähes 0,5 Mtoe. Näin nopea kasvu on mahdollista saavuttaa vain teollisuuden raakapuun hankintaan liittyvän puupolttoaineen tuotannon ja suurien käyttökohteiden kautta. Vaatimuksena on lisäksi, että metsähake tuotetaan ympäristöystävällisin menetelmin ja metsätalouden kestävyys turvaten. Rinnakkaisena tavoitteena on parantaa puupolttoaineiden laatua. Vuonna 2000 metsähakkeen käyttö oli lähes miljoona m³.

Tekes on siis keskittänyt puuenergian kehitystoiminnan Puuenergian teknologiaohjelmaan, jonka kokonaisbudjetin arvio vuosille 1999–2003 on 250 miljoonaa markkaa. Vuoden 2001 kesäkuun alkuun mennessä oli käynnistynyt 26 tutkimuslaitos-, 24 yritys- ja 12 demonstraatiohanketta. Niiden kokonaislaajuus on 86,1 miljoonaa markkaa (14,5 M€). Tässä ohjelman toisessa vuosikirjassa 2001 esitellään 42 projektin tuloksia vuosilta 2000–2001.

Avainsanat

biomass, bioenergy, biofuels, wood, energy wood, wood fuels, wood residues, logging residues, wood chips, bark, harvesting, chipping, thinnings, mixed fuels, crushing, transportation, storage, quality control, processing, fuel supply, energy production, co-combustion, gasification, environmental impacts, radioactivity, ash radiation protection

Toimintayksikkö

VTT Energia, Energian tuotanto, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 Jyväskylä

ISBN

951-38-5722-0 (soft back ed.)
 951-38-5723-9 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Projektinnumero

Julkaisu-aika

Elokuu 2001

Kieli

suomi, englanti

Sivuja

459 s.

Hinta

J

Projektin nimi

Puuenergian teknologiaohjelma

Toimeksiantaja(t)

Teknologian kehittämiskeskus (Tekes)

Avainnimeke ja ISSN

VTT Symposium
 0357-9387 (nid.)
 1455-0873 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Myynti

VTT Tietopalvelu
 PL 2000, 02044 VTT
 Puh. (09) 456 4404
 Faksi (09) 456 4374

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Symposium 216
VTT-SYMP-216

Author(s) Eija Alakangas (ed.)			
Title The Yearbook 2001 of the Finnish Wood Energy Technology Programme			
Abstract <p>The Finnish Wood Energy Technology Programme of Tekes, National Technology Agency, focuses on developing the production technology of forest chips from logging residues and small-sized trees. The Programme is one of the tools of the Ministry of Trade and Industry for substituting renewable sources of energy for fossil fuels. It is aimed to reduce the cost and improve the quality of forest chips. Quality control of wood and bark residues from the forest industries is also included.</p> <p>In June 2001, the Programme consisted of 26 research institute projects, 24 industrial projects and 12 demonstration projects. The total expenditure for the ongoing 50 research and development projects will be 86.1 million FIM (14.5 M€) and that for the demonstration projects 39.9 million FIM (6.7 M€).</p> <p>The Programme also participates in international co-operation such as the ALTENER Bioenergy Network-AFBnet, OPET network (Organization Promoting for Energy Technologies) of EU, and Task 31 (Conventional Forestry Systems for Sustainable Production of Bioenergy) of the IEA Bioenergy Agreement.</p> <p>This second yearbook presents the results of 42 ongoing projects and it is published in the yearseminar arranged on 5th-6th September in 2001, in Jyväskylä.</p>			
Keywords biomass, bioenergy, biofuels, wood, energy wood, wood fuels, wood residues, logging residues, wood chips, bark, harvesting, chipping, thinnings, mixed fuels, crushing, transportation, storage, quality control, processing, fuel supply, energy production, co-combustion, gasification, environmental impacts, radioactivity, ash radiation protection			
Activity unit VTT Energy, Fuel Production, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ, Finland			
ISBN 951-38-5722-0 (soft back ed.) 951-38-5723-9 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number	
Date August 2001	Language Finnish, English	Pages 459 p.	Price J
Name of project Puuenergian teknologiaohjelma		Commissioned by The National Technology Agency (Tekes)	
Series title and ISSN VTT Symposium 0357-9387 (soft back ed.) 1455-0873 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	