



Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002



VTT SYMPOSIUM 221

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

Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002

Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari
Joensuu, 18.–19. syyskuuta 2002

Toimittaja
Eija Alakangas, VTT Prosessit

Seminaarin järjestäjä
VTT Prosessit



ISBN 951-38-5732-8 (soft back ed.)

ISSN 0357-9387 (soft back ed.)

ISBN 951-38-5733-6 (URL:<http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

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

Copyright © VTT 2002

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland

Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosessit, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ

puh. vaihde (014) 672 611, faksi (014) 672 597

VTT Processer, Koivurannantie 1, PB 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ

tel. växel (014) 672 611, fax (014) 672 597

VTT Processes, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ

phone internat. +358 14 672 611, fax +358 14 672 597

Esipuhe

Puuenergian teknologiaohjelma on jatkanut menestyksellistä toimintaansa vuoden 2002 aikana. Ohjelman käynnistyessä vuonna 1999 tavoitteena oli metsähakkeen käytön viisinkertaistaminen vuoteen 2004 mennessä. Tässä ohjelma tukeutuu kansallisen ilmastostrategian pyrkimyksiin. Uusia metsähaketta hyödyntäviä voimalaitoksia on otettu käyttöön useita kuluneen vuoden aikana ja metsähakkeen käyttömäärissä ylitetään jo 1 milj. m³:n raja. Kansallisten pyrkimysten ohella ohjelman tavoitteena on tukea alan vientiteollisuutta. Kysyntää on sekä EU-alueella että kauempanakin, kun uusiutuville energialähteille on asetettu veroteknisesti tai muuten kannustava kilpailuasetelma.

Kaikelle tutkimus- ja kehittämistoiminnalle on tärkeää oikea ajoitus. Mielestäni Puuenergian teknologiaohjelma on onnistunut tässä hyvin. Tutkimustuloksia ja yritysten tarjoamia teknisiä ratkaisuja saatiin aikaan, kun metsähakkeen nopea kasvuvaihe lähti liikkeelle ja investoinnit käynnistyivät. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma ja kansallinen metsäohjelma sekä niihin liittyvät energia- ja metsätuet ovat saaneet aikaan hyvän yhteisvaikutuksen. Pelkällä tutkimuksella tai tukitoimilla ei olisi päästy samoihin tuloksiin. Lähivuosien vetoapua tuovat päästökaupan pelisääntöjen luominen, vihreän energian sertifikaatit ja EU:n biopolttonestedirektiivi, jotka kansainvälistävät puupolttoaine- ja teknologia-alat lopullisesti.

Tekesin teknologiaohjelmat ovat määräaikaista panostuksia tärkeäksi katsottuihin alueisiin. Puuenergiaohjelmassa alkaa olla tulosten ja kokemusten niputtamisen aika. Ohjelman tutkimusjohtajan katsaukseen on kerätty alan toimijoiden kokemuksia tämänhetkisestä tilanteesta. Vertailua on tehty erityisesti 1990-luvun puolivälin tilanteeseen nähden. Osat ”kannolta kattilaan” mukaiselle toiminnalle ovat olemassa. Metsähakkeen hintatasossa on tultu alaspäin, mutta saatavuus tietyillä alueilla voi jo olla ongelma, mikä samalla heijastuu kustannustasoon. Teknologiassa riittää jatkuvaa parantamista, mutta niinhän on muillakin aloilla ja alan yritykset seuraavat herkällä korvalla asiakkaidensa vaatimuksia.

Haluan kiittää Tekesin puolesta Puuenergian teknologiaohjelman tuloksiin myötävaikuttaneita henkilöitä hyvästä yhteistyöstä ja strategisesta otteesta ohjelman toteutuksessa. Uusiin tehtäviin siirtymiseni vuoksi Tekesin vastuuhenkilöksi ohjelmalle tulee Marjatta Aarniala. Toivotan teille kaikille parasta onnea pyrkimyksissänne lisätä bioenergian käyttöä Suomen energiataloudessa korkeatasoisen järjestelmä- ja teknologiaosaamisen avulla.

Heinäkuussa 2002

Heikki Kotila
Teknologian kehittämiskeskus

Sisällys

Esipuhe	3
<i>Heikki Kotila, Tekes</i>	
Puuenergian teknologiaohjelman katsaus 1999–2002	9
<i>Pentti Hakkila, VTT Prosessit</i>	
TUOTANNON SUUNNITTELU JA ORGANISOINTI	
Metsähakkeen tuotannon kehittäminen nuorista metsistä – PUUT28	53
<i>Kari Hillebrand (toim.), VTT Prosessit</i>	
Rajanveto aines- ja energiapuun välillä – PUUY11	75
<i>Hannu Kivelä, JP Management Consulting (Europe)</i>	
Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjäverkostosta hakkeen tuottamisessa – PUUY15	87
<i>Mikko Jäkälä, Koneyrittäjien liitto ry</i>	
Työsuoritteen määrittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksessa – PUUY22	101
<i>Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy</i>	
Esiselvitys verkkoliiketoiminnan mahdollisuuksista Suomen energiapuumarkkinoilla – PUUY23	109
<i>Jaakko Jokinen, Anna Mälkönen & Hannu Kivelä, JP Management Consulting (Europe)</i>	
TUOTANTOTEKNIikka JA -JÄRJESTELMÄT	
Metsähakkeen autokuljetuksen logistiikka – PUUT20	119
<i>Tapio Ranta, Petri Halonen & Pertti Frilander, VTT Prosessit</i>	
<i>Antti Asikainen, Metsäntutkimuslaitos</i>	
<i>Mikko Lehikoinen & Kari Väätäinen, Joensuun yliopisto</i>	
Metsien biomassan nostaminen todelliseksi uusiutuvan energian vaihtoehdoksi – FORPOWER – PUUY12	135
<i>Arto Timperi, Timberjack Oy/Plustech Oy</i>	

Risutukkitekniikan edellytykset suurimittaisessa puupolttoainehankinnassa – PUUY19	141
<i>Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy</i>	
<i>Christer Backlund, UPM-Kymmene Oyj</i>	
<i>Antti Korpilahti, Metsäteho Oy</i>	
<i>Kari Hillebrand, VTT Prosessit</i>	
<i>Samuli Rinne, YTY-konsultointi Oy</i>	
Hakkuutähteen hankinnan ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä – PUUY21	157
<i>Timo Hartikainen, Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd</i>	
<i>Heikki Karppinen, Metsäkeskus Pohjois-Karjala</i>	
<i>Juha Laitila & Antti Asikainen, Metsäntutkimuslaitos</i>	
<i>Stefan Hotari, Technological University of Toronto</i>	
LAADUNHALLINTA, VASTAANOTTO JA KÄYTTÖ	
Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen – PUUT15	171
<i>Raija Kuoppamäki, Risto Impola & Lauri Nikala, VTT Prosessit</i>	
Metsäteollisuuden vastapainevoimantuotannon tehostaminen – PUUT17	185
<i>Pekka Ahtila, Teknillinen korkeakoulu</i>	
Puupolttoaineen laadun ja tuotantotehokkuuden parantaminen haketustekniikkaa kehittämällä – PUUT18	189
<i>Veli Seppänen, Heikki Kaipainen, Seppo Kovanen & Lauri Nikala, VTT Prosessit</i>	
Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käytettävyyteen – PUUT24	205
<i>Markku Orjala, Janne Kärki & Martti Mäkipää, VTT Prosessit</i>	
<i>Maria Oksa, VTT Tuotteet ja tuotanto</i>	
Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden seospolton savukaasupäästöt – esitutkimus – PUUT25	223
<i>Raili Vesterinen, VTT Prosessit</i>	
Puupolttoaineiden kemialliset muutokset varastoinnissa ja kuivauksessa – PUUT29	231
<i>Leena Fagernäs, Risto Impola & Raija Kuoppamäki, VTT Prosessit</i>	

Kehyspuiteohjelma Alholmens Kraftin biopolttoaineiden vastaanoton ja varastoinnin kehittämiseksi sekä polttoprosessin optimoimiseksi – PUUY20	241
<i>Jari Niemelä & Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy</i>	
<i>Eero Koskinen, Powest Oy, Markku Tuomenoja, Empower Engineering Oy</i>	
Puun ja lietteiden yhteispolton vaikutus kattilakorroosioon – PUUY28	245
<i>Juha Räsänen, Varenso Oy, Energiapalvelut</i>	
SEURANNAISVAIKUTUKSET JA METSÄTALOUS	
Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10	249
<i>Timo Saksa, Leo Tervo & Kari Kautto, Metsäntutkimuslaitos</i>	
Puuenergian käyttö ja kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen – PUUT22	269
<i>Sampo Soimakallio & Margareta Wihersaari, VTT Prosessit</i>	
Puupolttoaineiden radioaktiivisuuden vaikutus tuhkan käyttöön – PUUT23	279
<i>Virve Vetikko, Tuomas Valmari, Aino Rantavaara, Marko Oksanen, Seppo Klemola & Riitta Hänninen, Säteilyturvakeskus STUK</i>	
Hakkuutähteiden ja kantojen korjuun vaikutus maanmuokkaukseen ja metsänviljelyyn – PUUT32	293
<i>Pertti Harstela & Veli-Matti Saarinen, Metsäntutkimuslaitos</i>	
Suopohjien metsitys hiilinieluisiksi ympäristövaikutukset halliten – PUUY17	297
<i>Veijo Leiviskä, Oulun yliopisto, Thule-instituutti, Pirkko Selin & Veijo Klemetti, Vapo Oy Energia</i>	
PIENTUOTANTO JA -KÄYTTÖ	
Puun pienkäytön T&K:n tarpeiden kartoitus – PUUT26	315
<i>Heikki Oravainen, VTT Prosessit</i>	
Puupolttoaineiden jakelu, käsittely ja laadun parantaminen pienkäytössä – PUUT30	321
<i>Ari Erkkilä, Kari Hillebrand, Tapio Ranta, Markku Kallio & Heikki Oravainen, VTT Prosessit</i>	
Puupelletin laadunhallinta pienjaketussa ja käsittelyssä – PUUY27	335
<i>Seppo Tuomi, Työtehoseura ry</i>	

Pilkkeen tuotantoprosessin hallinta ja kehittäminen – PUUY30 <i>Kalle Kärhä, Työtehoseura ry</i>	347
KANSAINVÄLISET PROJEKTIT	
Cofiring of biomass and coal – PUUT21 <i>Veli-Pekka Heiskanen, VTT Prosessit</i>	359
Teknologiasiirto biopolttoaineiden tuotannossa USA:n ja Suomen välillä – PUUT27 <i>Arvo Leinonen, VTT Prosessit</i>	385
Maximum biomass use and efficiency in large-scale cofiring – PUUT31 <i>Anne Suomalainen, VTT Prosessit</i>	397
Kaukoidän puupolttoaineiden laadunmääritys – PUUY25 <i>Dan Asplund, Jyväskylän Teknologiakeskus Oy</i>	409
IEA Bioenergy -yhteistyö <i>Kai Sipilä, VTT Prosessit</i>	411
IEA Bioenergy Task 31: Conventional forestry systems for sustainable production of bioenergy <i>Antti Asikainen, Metsäntutkimuslaitos</i>	415
IEA Bioenergy Task 32: Biomass combustion and cofiring <i>Heikki Oravainen, VTT Prosessit</i>	417
IEA Bioenergy Task 34: PyNe <i>Anja Oasmaa, VTT Prosessit</i>	421
IEA Bioenergy Task 35: Techno-economic assessments for bioenergy applications <i>Yrjö Solantausta, VTT Prosessit</i>	423
IEA Bioenergy Task 38: Greenhouse gas balances of biomass and bioenergy systems <i>Kim Pingoud, VTT Prosessit</i>	427

Puuenergian teknologiaohjelman katsaus 1999–2002

Pentti Hakkila
VTT Prosessit
PL 1601, 02044 VTT
Puh. 0400 208 789, faksi (09) 460 493
sähköposti: pentti.hakkila@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Wood Energy Technology Programme.

The Finnish Wood Energy Technology Programme of Tekes, National Technology Agency, focuses on developing technology for the production of forest chips from logging residues and small-sized trees. It is one of the tools of the Ministry of Trade and Industry for substituting renewable sources of energy for fossil fuels in accordance with the Finnish energy and climate strategies. 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 July 2002, the Programme consisted of 35 research projects, 35 industrial development projects and 15 industrial demonstration projects.

The Programme also participates in international co-operation such as the ALTENER Bioenergy Network-EUBIONET, 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 in English, 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/woodenergy).

1. Metsähakkeen tuotantotavoite

Suomen energia- ja ilmastostrategioissa asetetaan suuri paino bioenergialle. Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman keskeisenä tavoitteena on lisätä puupolttoaineitten käyttöä vuodesta 1995 vuoteen 2010 mennessä 2,7 milj. toella. Kasvusta 0,9 milj. toe eli kolmannes pyritään toteuttamaan pienpuulla ja hakkuutähteellä, mikä edellyttää 5 milj. m³:n metsähaketuotantoa vuonna 2010. Se vastaisi lämpöarvoltaan noin 3 % nykyisestä kokonaisenergian kulutuksestamme. Hiiltä ja öljyä korvatesaan se alentaisi hiilidioksidipäästöjä vastaavasti 3 %:lla ja lisäisi energiaomavaraisuuttamme niinkään 3 %:lla.

Metsähakkeen nykyiseen koti- ja ulkomaiseen käyttötasoon verrattuna tavoitteet ovat haasteellisia. Tarvitaan merkittävää kehityspanosta tuotanto- ja käyttötekniikkaan, logistisesti erittäin vaativien tuotantojärjestelmien käyttöönotto, suuria investointeja sekä puun käyttöä edistävää energiapolitiikkaa.

2. Puuenergian teknologiaohjelma

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.

Kun ohjelma käynnistyi, metsähakkeen käytön kasvua rajoittivat ennen kaikkea korkeat tuotantokustannukset, hankinta- ja jakeluorganisaatioitten puute, vastaanottojärjestelmien ja kattiloitten soveltumattomuus puupolttoaineille, metsähakkeen epätasainen laatu sekä metsäkone- ja kuljetusyrittäjien puute. Ohjelma suunnattiin ratkaisemaan tätä ongelmavyöhyhtiä. Samalla kun tähdätään tuotanto- ja käsittelykustannusten alentamiseen, toimitusvarmuuteen ja tuotteen laadun parantamiseen, otetaan painokkaasti huomioon myös ympäristön ja kestävän metsätalouden tarpeet. Kesäkuussa 2002 ohjelma sisälsi yhteensä 73 tutkimus- ja kehityshanketta, joista 46 oli jo päättynyt (liite 1). Hankkeitten aihepiiri nähdään seuraavasta. Ohjelma sisältää lisäksi 15 KTM:n rahoittamaa demonstraatiohanketta.

Aiheryhmä	Tutkimuslaitos- hanke	Yritys- hanke
Tuotannon suunnittelu ja organisointi	5	4
Tuotantojärjestelmät ja -tekniikka	4	15
Laadunhallinta, vastaanotto ja käyttö	11	9
Seurannaisvaikutukset ja metsätalous	6	1
Pientuotanto ja -käyttö	3	5
Kansainväliset hankkeet	6	1
Yhteensä	35	35

Ohjelmaa koordinoi VTT Prosessit ja sitä ohjaa johtoryhmä, jonka kokoonpano selviää liitteestä 2. Tekesin ja KTM:n rahoittamien hankkeitten lisäksi johtoryhmä on rahoittanut kymmenen ohjelman seurannan ja suuntauksen kannalta tärkeätä selvitystä, joista neljä viimeistä on vielä kesken:

- 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 laitoskytkennöillä
- Polttohakkeen tuotanto nuorista metsistä. Opas
- Metsähakkeen laatukartoitus
- Puupolttoaineiden puskuri- ja varmuusvarastointi
- Puupolttoaineiden keinokuivatuksen kannattavuus laitoksilla.

Tiedotus ja viestintä ovat tärkeä osa ohjelmakokonaisuudesta. Tämä toiminta on kuvattu liitteessä 3.

3. Metsiemme biomassapotentiaali

Suomella on poikkeuksellisen edullinen lähtökohta puuenergian tuotannolle. Henkeä kohti laskettuna metsäpinta-ala on 4 ha, runkokuu kasvu 16 m³/vuosi, runkokuu hakkuukertymä 10,5 m³/vuosi ja tuontikuu määrä 3 m³/vuosi. Kaikki arvot ovat Euroopan ennätyksiä.

Vaikka yli 90 % hakkuukertymästä jalostetaan raaka-ainetta säästävin menetelmin puumassaksi, paperiksi, sahatavaraksi ja levyiksi, kuitenkin 45 % puuvirusta päätyy lähinnä prosessitähteinä energiakäyttöön. Lisäksi metsiin jää suuri määrä raaka-aineksi soveltumatonta puubiomassaa, joka muodostaa mittavan energiareservin.

On laadittu lukematon määrä valtakunnallisia ja alueellisia laskelmia metsiemme biomassapotentiaalista ja sen talteenottomahdollisuuksista. Laskelmien tulokset riippuvat teollisuuden puunkäytön kehitysarvioista, lämpö- ja voimalaitosten puusta, maksukyvyistä sekä biomassan talteenotolle asetettavista kustannus- ja ekologisista rajoitteista. Metsäntutkimuslaitoksen arvio, jossa on otettu huomioon joukko teknisiä ja ekologisia mutta ei esimerkiksi kuljetusetäisyyksiin liittyviä kustannusrajoitteita, päätyy seuraavaan tasoon (Hakkila ja Fredriksson 1996):

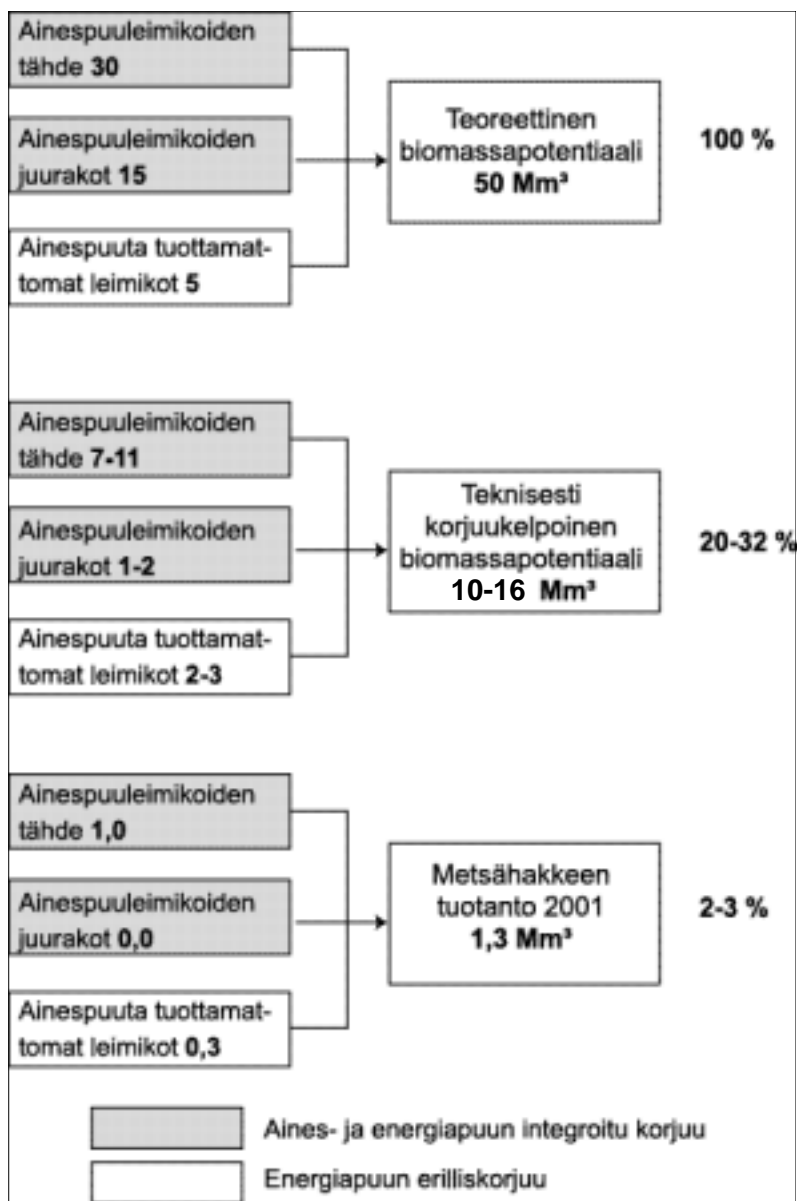
- Päätehakuualojen hakkuutähteet neulasten mukaantulosta riippuen 5–9 milj. m³ vuodessa. Nykytilanteessa arvio vaikuttaa optimistiselta, sillä kun vuonna 2006 luovutaan pinta-alapohjaisesta verotusjärjestelmästä, erityisesti kuusivaltaisten metsien päätehakuut saattavat supistua ainakin tilapäisesti. Toisaalta kitkaton korjuulogiikka ja viiveetön metsänviljely suosivat hakkuutähteen talteenottoa neulasineen vihreänä, mikä kasvattaa kertymää kohti arviohaarukan yläreunaa.
- Nuorten metsien pienpuu oksineen (kuusivaltaiset metsiköt kuitenkin ravinetappioitten supistamiseksi oksitta) 4–6 milj. m³. Osa näistä leimikoista tuottaa myös ainespuuta, osa ei. Kertymään vaikuttaa merkittävästi kuitupuun vähimmäisläpimittavaatimus, jonka olisi hyvä joustaa ylös- ja alaspäin kuitupuun kysynnän mukaan. Kesällä 2002 metsäteollisuus on alentamassa kuitupuun vähimmäisläpimittaa, jolloin energiapuupotentiaali supistuu kohti haarukan alarajaa.

- Aikaisemmin arvioihin sisällytettiin myös kanto- ja juuripuu, mutta korkeitten kustannusten vuoksi se jätettiin 1990-luvulla arvioista pois. UPM-Kymmenen menetelmäkehittely on kuitenkin kohentanut kanto- ja juuripuun energiakäytön edellytyksiä niin, että tämäkin biomassalähde on syytä lukea ainakin edullisimpien päätehakkuuleimikoitten osalta jälleen metsiemme energiareserviin. Talteenotettavissa olevan kantopuun määrä on varovaisesti arvioiden 1–2 milj. m³ vuodessa.

Kuvassa 1 esitetään arvio teoreettisesta biomassapotentiaalista, sen korjuukelpoisesta osasta sekä metsähakkeen nykykäytöstä. Arviot korjuukelpoisesta biomassareservistä ovat runkopuun inventointitietoihin verrattuina epätarkkoja. Käytännön toiminta Suomessa ja Ruotsissa on kuitenkin osoittanut, että ainakin suuruusluokka on oikeansuuntainen ja että edellä mainituista lähteistä on korjattavissa vuosittain yli 10 milj. m³ (25 milj. i-m³) energiapuuta. Metsähakkeen nykykäyttö, 1,3 milj. m³ vuonna 2001, on noin kymmenes osa korjuukelpoisesta reservistä ja vain 2–3 % teoreettisesta biomassapotentiaalista.

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman 5 milj. m³:n vuositaso voidaan siis pitää biomassavarojen suhteen mahdollisena. Suomen Luonnonsuojeluliitto, jonka kanta voimakkaaseen hakkuutoimintaan on yleisesti ottaen vähintäänkin varauksellinen, on esittänyt jopa tavoitteen korottamista 6,5 milj. m³:iin.

Tavoite viittaa vuoteen 2010. Siihen mennessä on kokemuksen kautta saavutettu nykyistä paljon parempi tuntuma biomassareservien korjuukelpoisuudesta ja saatavuudesta. Siinä vaiheessa myös pohja tavoitteitten tarkistamiselle ja mahdolliselle korottamiselle on nykyistä varmempi.



Kuva 1. Ainespuuksi soveltumattoman metsäbiomassan teoreettinen potentiaali, korjuukelpoisuus ja nykytuotanto metsähakkeena. Yksikkönä milj. m³/vuosi.

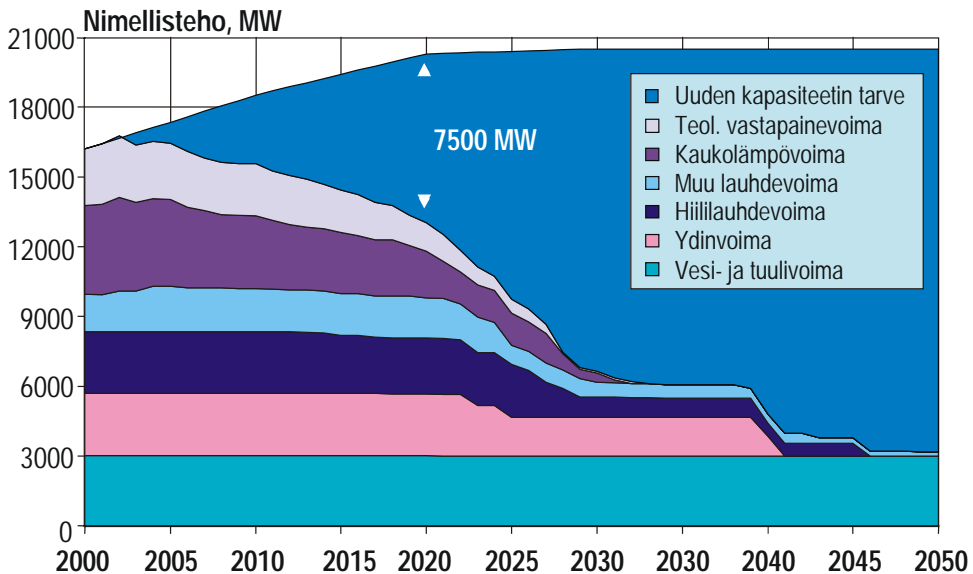
4. Käyttöpotentiaali

Hakkeen käyttö edellyttää lämpö- ja voimalaitoksilta erityisjärjestelyjä polttoaineen vastaanotossa, varastoinnissa, käsittelyssä, seostamisessa ja kattilateknikassa. Aikaisemmin vain verraten harvoilla laitoksilla on ollut tarvittava valmius. Koska suurten voimalaitosten elinikä on 20–40 vuotta, valmiuden hankkiminen uuden polttoaineen käyttöön vaatii runsaasti aikaa. Viime vuosina tilanne on kuitenkin muuttunut ratkaisevasti, sillä on valmistunut ja valmistumassa uusia laitoksia, jotka jo alunperin on suunniteltu puupolttoaineita silmällä pitäen, ja vanhoissa laitoksissa on tehty hakkeen käytön vaatimia muutoksia. Pohjolan Voima Oy on investoinut bioenergialaitoksiin enemmän kuin yksikään toinen yritys Euroopassa viime vuosina.

FINBION (2002) mukaan Suomessa oli keväällä 2002 rakenteilla tai päätetty rakentaa lämmön ja sähkön yhteistuotantoon tarkoitettua biokattilakapasiteettia 1700 MW:n edestä. Näissä kattiloissa tullaan polttamaan lähinnä puuta ja turvetta. Metsähakkeen seososuus tulee riippumaan sen saatavuudesta ja hintakilpailukyvyistä turpeeseen nähden.

Kuluvan vuosikymmenen loppuun mennessä Suomeen odotetaan rakennettavan sata uutta biopolttoaineille suunniteltua lämpö- ja voimalaitosta. Osa on uusia ja osa käytöstä poistettavien tilalle rakennettavia. Niitten yhteinen teho on lähes 3000 MW. Kiinteitten puupolttoaineitten lisäkäytön arvioidaan nousevan näissä laitoksissa 10 TWh:n tasolle (Laurila 2002).

Vielä pitemmällä tähtäyksellä sähkön kulutuksen kasvu ja vanhojen voimalaitosten uusimistarve edellyttävät uuden tuotantokapasiteetin rakentamista 7 500 MW:n edestä vuoteen 2020 mennessä (kuva 2). Näitten voimalaitosten ja myös uusien lämpölaitosten ja pientalojen rakentaminen sekä puristeitten ja biopolttonesteitten raaka-ainetarve luovat vähitellen mahdollisuuden hyödyntää kaikki se metsähake, joka Suomesta on saatavilla kilpailukykyiseen hintaan. Rajoittavana tekijänä ei tule silloin olemaan niinkään käyttäjien puute ja hakkeen kysyntä kuin metsähakkeen tuotanto ja rajallinen saatavuus. Jo tällä hetkellä Suomessa on alueita, joilla metsähakkeen käytön kasvua jarruttaa nimenomaan saatavuus, joskin taas etäämpänä suurista käyttäjistä kysyntä saattaa olla vielä laimea.



Kuva 2. Arvio vanhan voimalaitoskapasiteetin poistumisesta ja uuden rakentamistarpeesta (VTT Prosessit 2002).

5. Kustannuskehitys

Metsähakkeen hinta laski voimakkaasti koko 1990-luvun ajan. Sen 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.

Vuonna 2001 hinnan lasku pysähtyi ja kääntyi nousuun. Metsäntutkimuslaitoksen seurantalaston mukaan metsähakkeen keskimääräinen hinta oli ilman arvonlisäveroa 9,00 €/MWh, mikä merkitsi lähes 5 %:n nousua. Samaan aikaan sahanpurun hinta oli käyttöpaikalla vastaavasti 6,85 €/MWh ja kuoren 6,75 €/MWh. Niillä hinnan nousu oli itse asiassa vieläkin suurempi kuin metsähakkeella, mihin olivat syynä kysynnän kasvu sekä tuotannon samanaikainen supistuminen (Puupolttoaineen... 2002).

Metsähakkeen hinta on Suomessa edelleen 25–30 % alhaisempi kuin Ruotsissa (Prisblad ... 2002) ja muualla Euroopassa (Vesterinen ja Alakangas 2001). Käyttäjät toivovat hinnan vieläkin alenevan, mutta siihen ei näytä olevan juuriakaan mahdollisuuksia. Päinvastoin, käytön kasvu luo uusia hintapaineita:

- Metsänomistajat odottavat energiapuulle kantohintaa.
- Autokuljetus on jo nyt metsähakkeen suurin yksittäinen kustannuserä, ja kuljetusetäisyydet ovat pidentymässä käytön kasvun myötä.
- Tuotannon kasvaessa toiminta joudutaan ulottamaan entistä vaikeammin korjattaviin leimikoihin.
- Vaatimus entistä suuremman neulasosuuden jättämisestä kasvupaikalle pienentää kertymää ja hiertää korjuulogiikkaa, mistä aiheutuu väistämättä lisäkustannuksia.
- Välttämättömyyden sanelema tiukka taksapolitiikka hidastaa investointeja korjuu- ja kuljetuskalustoon ja jarruttaa uusien yrittäjien alalle tuloa.

Keskimääräisen hintatason tarkastelu saattaa johtaa kuitenkin harhaan, sillä leimikkotekijät ja kuljetusetäisyydet vaihtelevat. Ero hakkuutähdehakkeen ja pienpuuhakkeen kustannuksissa on suuri, ja sen aiheuttajana on pienpuun kallis kaato-kasaustyö. Metsähakkeen käytön kasvutavoite kuitenkin edellyttää, että myös pienpuuhake on saatava liikkeelle.

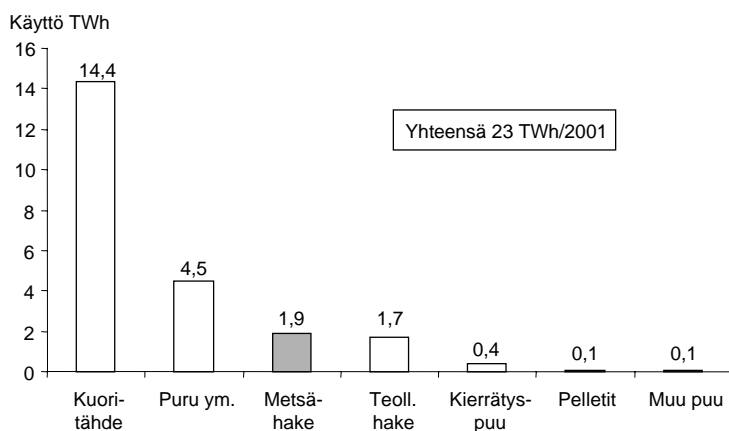
Käyttäjien hakkeestamaksukyvyn kehittyminen on tällä hetkellä hämärän peitossa, sillä EU:n poliittiset päätökset tulevat vaikuttamaan vähintään yhtä paljon kuin tekniikan kehittyminen. Puupolttoaineitten arvo- ja hintakehitys tulee riippumaan EU:n direktiiveillä ohjailtavista bioenergian vähimmäisosuusvaatimuksesta esimerkiksi liikennepolttoaineissa tai sähköntuotannossa, päästö- ja sertifiikaattikaupasta sekä niiden rinnalla sovellettavasta energiaverotuksesta. Poliittiset päätökset saattavat johtaa kuluvalle vuosikymmenellä merkittäviin muutoksiin metsähakkeen tuotantoedellytyksissä. Näitten näkymien ja mahdollisuuksien varjolla tuskin voidaan vielä toimintaa laajentaa, mutta ne ovat joka tapauksessa saaneet aikaan ainakin jo sen, että alan toimijain kiinnostus metsähakkeen mahdollisuuksiin ja aktiivinen osallistuminen ovat vuonna 2002 vireämpiä kuin kenties milloinkaan aikaisemmin.

6. Käytön kehittyminen

Metsäntutkimuslaitos otti kiinteät puupolttoaineet mukaan puunkäyttötilastoon vuonna 2000. Metsähake tuli säännöllisen seurannan piiriin, ja nyt tietomme puupolttoaineitten käytöstä ovat tarkemmat kuin kenties missään muussa maassa. Aikaisemmin luotettavia tietoja käytön kehittymisestä oli metsähakkeen osalta saatavilla vain kertaluontoisista selvityksistä vuosilta 1982, 1995 ja 1999.

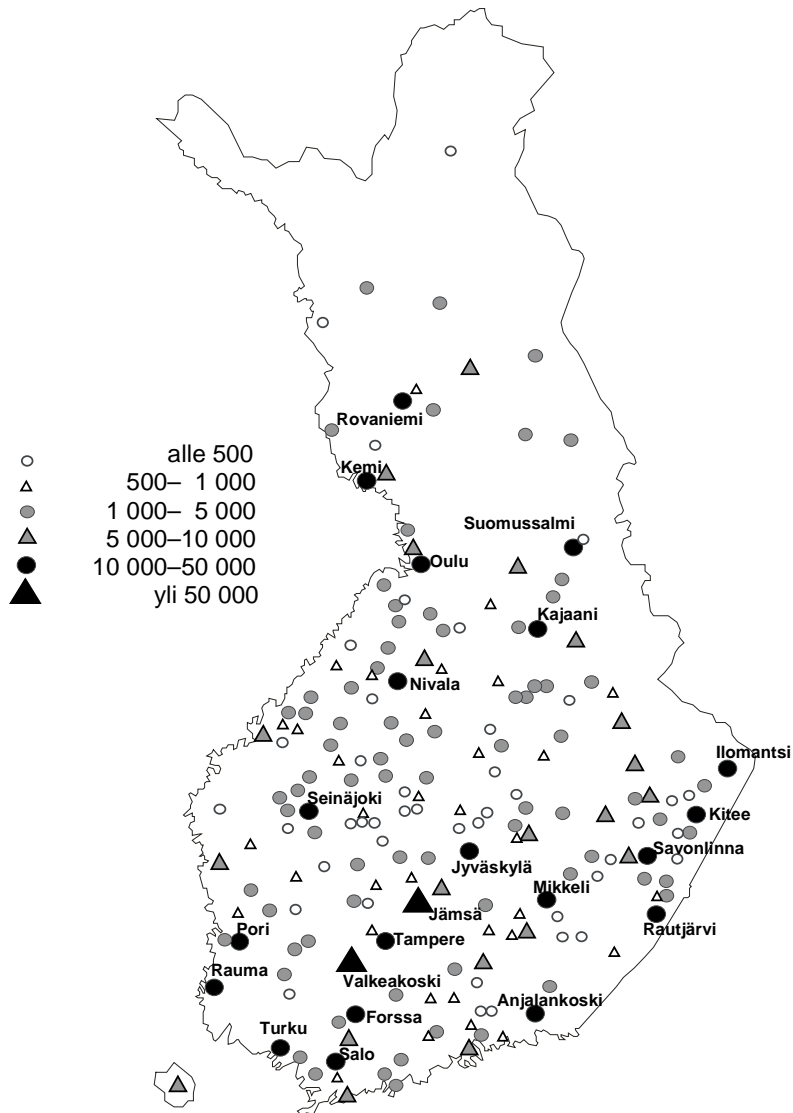
Kun pienkäyttö jätetään tarkastelun ulkopuolelle, kiinteitä puupolttoaineita käyttäviä lämpö- ja voimalaitoksia tunnistettiin vuonna 2001 yhteensä 645 kappaletta. Metsähaketta käytettiin 307 laitoksessa. Niistä 130 oli pieniä lämpöyrittäjäyhtiökohteita, joissa kattilan keskikoko on vain 0,4 MW. Kiinteitten puupolttoaineitten kokonaiskäyttö oli kaikkiaan 12,40 milj. m³, josta metsähakkeen osuus oli 0,96 milj. m³ eli 8 % (kuva 3).

Tuottajat käyttävät osan prosessitähteestä omilla laitoksillaan polttoaineen tulematta milloinkaan kaupan piiriin. Metsähake sen sijaan on pienkäyttöä lukuun ottamatta kokonaan kaupan piirissä. Siksi metsähakkeen osuus oli suurempi, 16 % kiinteitten puupolttoaineitten kaupan volyymistä. Koska metsähakkeella on korkeampi markkinahinta kuin kuorella ja purulla, sen osuus oli kiinteitten puupolttoaineitten kokonaisarvosta (ilman puupolttoainejalosteita) 12 % ja markkinoille tulleitten kiinteitten puupolttoaineitten arvosta 23 %. Metsähakkeen tuotannon arvo oli ilman pienkäyttöä 17 milj. euroa.



Kuva 3. Kiinteitten puupolttoaineitten käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2001. Lähdeaineistona Metlan tilastotiedote 620.

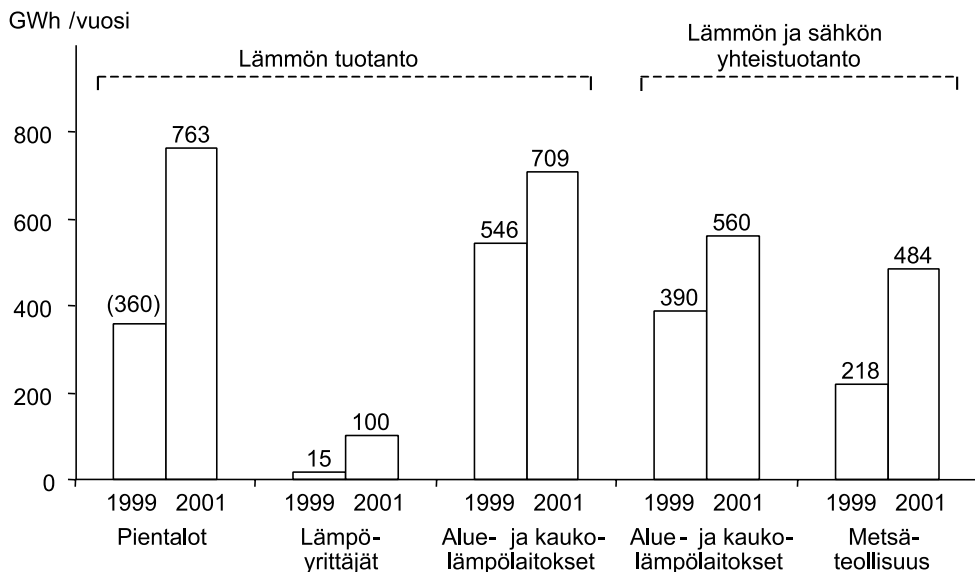
Lämpö- ja voimalaitosten metsähakkeen käyttö oli suurin Keski-Suomen, Lounais-Suomen ja Pirkanmaan metsäkeskusten alueilla, yli 100 000 m³ kussakin. Etelä-Savon, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskusten alueilla käyttö oli 80 000–100 000 m³. Muualla se jäi pienemmäksi. Kuvassa 4 on mukana 200 johtavaa metsähakkeen käyttäjää.



Kuva 4. Tärkeimmät metsähaketta käyttäneet lämpö- ja voimalaitokset vuonna 2001. Kuvasta puuttuu noin 100 pientä metsähaketta käyttävää kiinteistöä, jotka ovat lämpöyritystoiminnan piirissä. Metsäntutkimuslaitoksen metsätilastoaineistoa.

Lämpö- ja voimalaitosten lisäksi metsähaketta poltetaan myös pientaloissa. Tältä osin tiedot ovat olleet pitkään vanhentuneita ja epäluotettavia, mutta äskettäin Metsäntutkimuslaitos sisällytti edellä mainittuun metsätilastotiedotteeseensa ennakoarvion vuoteen 2001 kohdistuvasta käyttöselvityksestä. Sen mukaan pientalot polttivat metsähaketta 0,38 milj. m³, joka mukaan luettuna metsähakkeen kokonaiskäyttö ylty kaikkiaan 1,34 milj. m³:iin.

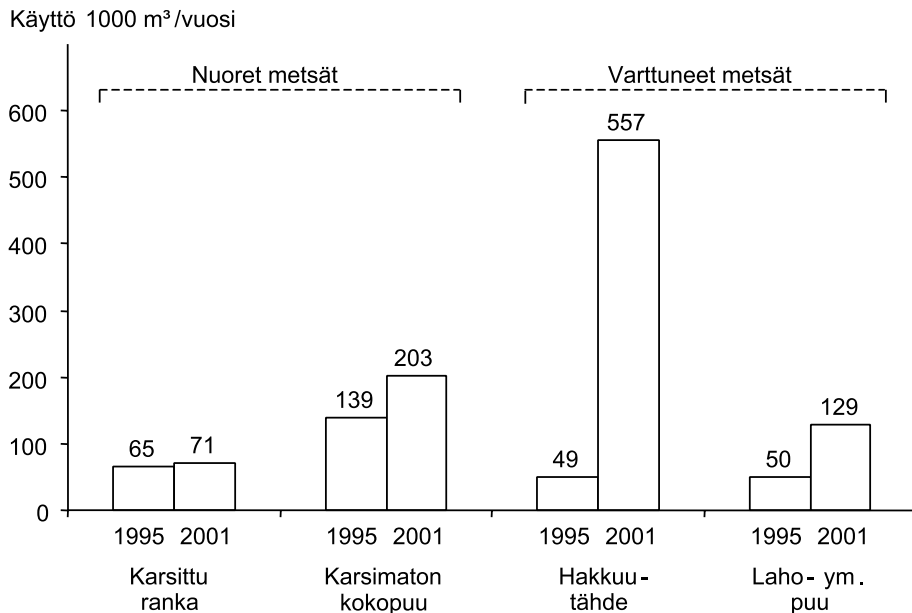
Kun pienkäyttö lasketaan mukaan, pääosa metsähakkeesta ohjautuu edelleen pelkän lämmön tuotantoon. Jos pientalot jätetään tarkastelun ulkopuolelle, lämmön ja sähkön yhteistuotantoon käytetään enemmän metsähaketta kuin pelkän lämmön tuotantoon. Yleisesti hyväksytyyn tavoitteen mukaisesti kasvu on voimakkainta yhteistuotannossa (kuva 5), jossa puupolttoaineitten kustannuskilpailukyky on parhaimmillaan. Kuvan osoittama pientalojen käytön nopea kasvu ei ole todellinen, vaan kysymyksessä on aikaisemman kasaantuneen tilastovirheen kertaluontoinen korjaaminen.



Kuva 5. Metsähakkeen käyttäjät. Metsäntutkimuslaitoksen (vuosi 2001) ja VTT:n (vuosi 1999) aineistoa.

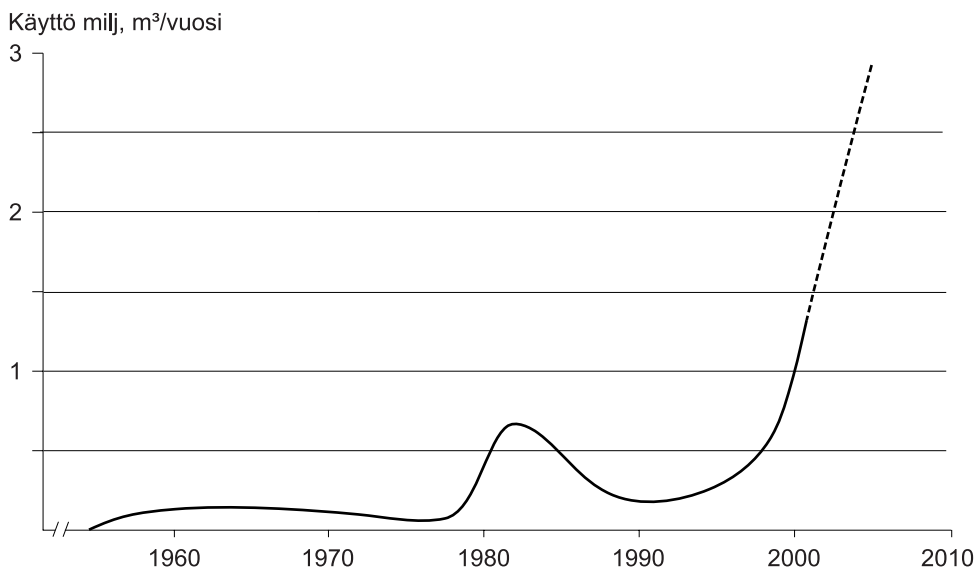
Metsätalouden, konevalintojen, hankintajärjestelmien, integroinnin, kustannusten, polttoaineen ominaisuuksien ja tuotantotuen tarpeen kannalta on suuri merkitys sillä, millaisista raaka-aineista ja raaka-ainelähteistä metsähake tuotetaan.

Vielä viime vuosikymmenen puolivälissä lähteenä oli lähinnä nuorten metsien pienpuu, mutta sen jälkeen kasvu on perustunut pääasiassa uudistushakkuualueiden hakkuutähteeseen. Vuonna 2001 jo 58 % lämpö- ja voimalaitosten metsähakkeesta oli peräisin hakkuutähteestä. Sen sijaan pienpuusta tehdyn markkinahakkeen tuotanto ei ole juurikaan kasvanut (kuva 6).



Kuva 6. Metsähakkeen raaka-ainelähteet vuosina 1995 ja 2001. Ei sisällä pienkäyttöä. Metsäntutkimuslaitoksen aineistoa.

Metsäntutkimuslaitoksen ja VTT:n selvityksiin perustuva kuva 7 osoittaa metsähakkeen käytön kehittymisen neljän vuosikymmenen aikana sekä energia- ja ilmastostrategioitten edellyttämän kasvuvauhdin kuluvan vuosikymmenen jälkipuoliskolla. Kuva antaa vaikutelman, että nykyinen kasvuvauhti vastaa tavoitettua, mutta se sisältää tilastoharhan, kun pienkäyttö arvioitiin aikaisemmin liian pieneksi. Vuodelle 2001 tehty 0,2 milj. m³:n tasokorjaus pienkäytössä heijastuu kuvassa kasvuna. Toisaalta taas on kuitenkin odotettavissa, että useat suuret CHP-laitokset, esimerkiksi Alholmens Kraft Pietarsaassa, nostavat metsähakkeen käytön suunnittelemaalleen tasolle vuoden 2002 aikana, mikä tulee näkymään edullisesti kuluvan vuoden käyttötilastoissa.



Kuva 7. Metsähakkeen käytön kehittyminen. Katkoviiva kuvaa tavoitetta. Metsäntutkimuslaitoksen ja VTT:n aineistoa.

Puuenergian teknologiaohjelman omana tavoitteena on metsähakkeen käytön nostaminen 2,5 milj. m³:iin vuonna 2003. Tavoitteen saavuttaminen edellyttäisi käytön kasvavan vuosina 1999–2003 kaikkiaan 2,0 milj. m³, mistä on kolmen vuoden aikana toteutunut vasta 0,8 milj. m³, eli vajaat 0,3 milj. m³ vuodessa. Vuosien 2002 ja 2003 aikana edellytettäisiin kaksinkertaista kasvunopeutta. Tähän tuskin aivan päästään, mikä merkinnee tavoitteen saavuttamisen viivästymistä ainakin vuodella.

Mahdollisuudet uusiutuvien energialähteitten edistämishjelmassa asetetun virallisemmän tavoitteen saavuttamiseksi ovat paremmat, koska aikaa on ohjelman alusta lähtien varattu 15 vuotta (1996–2010). Asetettu 5 milj. m³:n käyttötavoite vuodelle 2010 vaatii tästä lähtien 400 000 m³:n vuosittaista kasvua koko kuluvan vuosikymmenen ajan, kun kasvu vuosina 1996–2001 on ollut keskimäärin 200 000 m³ vuodessa. Tavoite edellyttää, että tekniikan ja tuotantojärjestelmien kehittäminen jatkuu ja että kaikki osapuolet huolehtivat osuudestaan.

Metsiemme biomassavarat eivät siis ole esteenä tavoitteen saavuttamiselle, ja lämpö- ja voimalaitosten tekniset ja asenteelliset valmiudet ovat kehittyneet erittäin suotuisasti niin, että niittenkin puolesta 5 milj. m³:n käyttötaso on mah-

dollinen vuoteen 2010 mennessä. Pullonkaula on vastedes selvästi tuotannossa, lähinnä tuotannon kustannuksissa ja kustannusongelmista johtuen metsähakkeen saatavuudesta. Luvussa 7 tarkastellaan kitkatekijöitä, jotka vaikeuttavat metsähakkeen tuotantoa ja joihin tulisi etsiä ratkaisuja.

7. Metsähakkeen tuotantoa jarruttavia tekijöitä

Metsähakkeen tuotanto ja luotettava jakelu lukemattomista hajallaan olevista leimikkokohteista on erittäin vaativa logistinen tehtävä, jota vaikeuttavat monet taloudelliset, tekniset, institutionaaliset, metsänhoidolliset ja ympäristönsuojeluun liittyvät tekijät. Tekes ja KTM antoivat vuoden 2002 alkaessa Puuenergian teknologiaohjelmalle tehtäväksi kartoittaa metsähakkeen tuotannon kitkatekijät. Selvitys toteutettiin haastattelututkimuksena, jossa oli mukana 15 metsähakkeen tuotantoon ja käyttöön osallistuvaa keskeistä toimijaa. Tulokset palvelevat Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman seuranta ja metsähakkeen tuotantoa edesauttavien toimenpiteitten suunnittelua. Tuloksia voidaan hyödyntää myös Puuenergian teknologiaohjelman ohjauksessa ja hankesuunnittelussa.

Luvussa 7 tarkastellaan tekijöitä, jotka selvimmin vaikeuttavat metsähakkeen tuotantoa ja joihin siitä syystä tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Koska haastattelulausunnot ovat luottamuksellisia, tulokset esitetään yleisellä tasolla. Kaikki osapuolet eivät koe kitkatekijöitä samalla tavoin eivätkä aseta niitä samaan tärkeysjärjestykseen.

7.1 Toisarvoinen asema ainespuun rinnalla

Pienpuun ja metsätähteen energiakäyttö nauttii yhteiskunnassa laajaa kannatusta, ja lähes kaikki osapuolet puoltavat lisäystavoitteita. Suomen energia- ja ilmastostrategiaa palveleva yhteinen hyvä ei kuitenkaan sellaisenaan ole käytännön toimijoille riittävä kannustin, ellei metsähakkeen tuotanto konkreettisesti hyödytä siihen osallistuvia. Aines- ja energiapuun integroidussa tuotannossa metsähake pyrkii pienemmän arvonsa johdosta jäämään organisaatiossa toisarvoiseen asemaan:

- Metsänomistaja saa metsähakkeesta korkeintaan nimellisen kantorahan. Ne metsänomistajat, jotka eivät osaa antaa arvoa välillisille hyödyille metsänhoidossa, eivät tue aktiivisesti metsäbiomassan energiakäyttöä.
- Puunkorjuuorganisaatioissa metsähakkeen tuotanto saatetaan kokea ylimääräisenä rasitteena, kun arvokkaan ainespuun rinnalla joudutaan käsittelemään lähtökohtaisesti nolla-arvoista tähdettä, jonka mittaustiedot ja tiedonhallintajärjestelmätkin ovat epämääräisiä ja josta aiheutuvia yleiskuluja kerääntyy ainespuun kontolle. Metsäpolttoaineet jäävät varastopaikkojen jaossa helposti toisarvoiseen asemaan, mistä esimerkiksi tienvarsihaketuksessa saattaa kertyä lisäkustannuksia.

Toimialalle olisi tärkeätä, että metsänomistajat, metsänhoitoyhdistysten toimihenkilöt, kone- ja kuljetusyrittäjät sekä hankintaorganisaation henkilökunta oppisivat arvostamaan metsäpolttoaineita metsätalouden ja puunhankinnan luonnollisena ja täysarvoisena tuotteena ja osa-alueena. Esimerkiksi risutukkijärjestelmä (reaaliaikainen mittaustulos, helppo tiedonhallinta, selkeät varastomuodostelmat, siisteys, ketjun toimintavarmuus, kitkaton kuljetuslogistiikka) näyttää nostavan metsäpolttoaineen statusta hankintaorganisaatiossa, vaikkei se sinänsä ole vielä pystynyt oleellisesti lisäämään biomassan rahallista arvoa.

7.2 Kysymys kantohinnasta

Jos tavoitteet toteutuvat, metsähake edustaa vuonna 2010 ehkä 8 % (5 milj. m³/60 milj. m³) puutavarakertymästä ja 10 % kaiken puutavaran hankintakustannussummasta. Mutta kuitenkin, vaikka metsähakkeen raaka-aineen kantohinta nousisi esimerkiksi 2 euroon/m³ eli 1 euroon/MWh, siitä kertyvä kantohintasumma olisi vain noin 0,8 % ainespuun kantohintasummasta.

Kysymys kantohinnasta on metsänomistajalle siten lähinnä periaatteellinen. Hankintaorganisaatiot katsovat ilmaisten metsänhoidollisten etujen korvaavan kantorahan puuttumisen. Eräitten metsänomistajajärjestöjen taholla sen sijaan metsäbiomassan talteenotto on pyritty leimaamaan metsänhoidon kannalta jopa kielteiseksi, ja haitan kompensoimiseksi on vaadittu lämpö- ja voimalaitosten puustamaksukykyyn nähden epärealistisia kantohintoja.

Kantohinnan maksamiseen liittyy myös byrokratiaa ja mittaustyötä, jonka kustannukset ovat maksettavaan rahamäärään verrattuna korkeat. Biowatti Oy on ratkaissut ongelman pinta-alapohjaisella kantohinnalla. Byrokratia supistuu myös silloin, kun hakkuutähteelle mahdollisesti lankeava kantohinta maksetaan runkokuun lisähintana (esimerkiksi 0,1 euroa/m³ kuusen runkokuuta). Eräissä tapauksissa kantohinnan sijasta on maksettu energiapuun tienvarsivarastoinnista maanvuokraa, jolloin vältetään alv-byrokratialta.

Metsähakkeen tuotanto on toistaiseksi vain noin 10 % korjuukelpoisesta biomassapotentiaalista, joten raaka-aineen haltuunsaanti ei yleisesti ottaen ole ongelma. Käytön kasvaessa tilanne kuitenkin kiristyy, ja vuonna 2010 kysyntä vastanee jo 30–50 % potentiaalista. Siinä tilanteessa on välttämätöntä, että metsähakkeen tuotantoon liittyvät metsänhoidolliset edut metsänviljelyssä ja nuorten metsien hoidossa on osoitettu uskottavasti. Tähän liittyviä hankkeita tulee jatkaa, mukaan lukien esimerkiksi ammattitaidolla tehty kokonaistaloudellinen selvitys metsähakkeen tuotannon metsätaloudellisista vaikutuksista metsänomistajien kannalta, tai systeemanalyysi tuhkan palauttamisen järjestämisestä.

7.3 Metsänhoitoyhdistysten osallistuminen

Metsänhoitoyhdistykset ovat liikkeellepaneva voima yksityismetsätalouden puukauppatoiminnassa. Niitten panosta tarvitaan paitsi ainespuun myös energiapuun kaupassa, sillä kolme neljäsosaa energiapuupotentiaalista on yksityismetsissä. Metsänhoitoyhdistysten osallistumiselle energiapuun korjuuseen ja kauppaan ei ole ainespuun tapaan laissa rajoitteita.

Päätehakkuualojen hakkuutähteen haltuunotto onnistuu metsäteollisuuden puunkorjuuorganisaatioilta kohtuullisen hyvin ilman metsänhoitoyhdistyksiäkin, koska aines- ja energiapuun korjuut on jo pitkälle integroitu, mutta nuorten metsien pienpuun osalta näin ei ole. Mittava metsähaketavoite kuitenkin edellyttää merkittävää aktiviteettiä myös nuorissa metsissä.

Vaikka löytyy myönteisiä poikkeuksia, yleisesti ottaen metsänhoitoyhdistysten osallistuminen metsähakkeen tuotantoon on muodostunut pettymykseksi. Metsänhoitoyhdistyksille näyttää pääsääntöisesti riittävän, että ns. KEMERA-leimikot, joitten käsittelyyn on saatavissa valtion tukea, kunnostetaan metsän-

hoidollisesti. Siihen riittää haitallisen pienpuuston kaataminen ja ainespuun talteenotto. Tätä toimintaa valtio edistää pinta-alaperusteisella kunnostustuella, johon liittyy korvaus työnjohdosta. Vaikka maahanlyötävän pienpuun talteenotosta on KEMERA-kohteissa mahdollista maksaa kunnostustuen lisäksi korjuu- ja haketustukea, metsänhoitoyhdistykset eivät ole kuitenkaan laajalti innostuneet metsähakkeen hankintaan. Ne katsovat korvauksen vaivasta ja riskistä riittämättömäksi, sillä:

- metsänhoidollinen tavoite saavutetaan pelkästään haitallisen puuston maahanlyönnillä. Energiapuun talteenotto ei sen jälkeen enää vaikuta kohteen metsänhoidolliseen tilaan,
- metsänhoitoyhdistykset saavat valtion varoista kohtuullisen työnjohtokorvauksen puuston maahanlyönnin valvonnasta ja tarkastuksesta, mutta lisäkorvaus vaativammasta korjuu- ja haketustyöstä jää vähäiseksi,
- hakepuun ja erityisesti metsähakkeen toimitussopimusten aikaansaanti ja hankinnasta huolehtiminen ja vastaaminen vaativat asiantuntemusta ja jatkuvaa osallistumista,
- päätös korjuu- ja haketustuista on määräaikainen (tällä hetkellä voimassa vuoden 2002 loppuun), joten niitten varaan rakentuvia sopimuksia pidetään uskaliaina,
- tuet rajoittuvat KEMERA-leimikoihin, minkä vuoksi merkittävä osuus pienpuupotentiaalista jää kokonaan tuen ulkopuolelle. On ristiriitaista, että vaikka korjuu- ja haketustukien tarkoitus on edistää pienpuun energiakäyttöä, niitten myöntöperusteet ja leimikkokohteitten kelpuutus ovat puhtaasti metsänhoidollisia,
- pienpuun kaatotyö tapahtuu edelleen pääasiassa moottorisahalla ja vaatii sen vuoksi paljon työvoimaa, josta on pulaa.

Metsänhoitoyhdistyksiä ja niitten kanssa yhteistyössä toimivia metsuri- ja metsäkoneyrittäjiä tulisi aktivoida koulutusta ja viestintää lisäämällä ja verkostoitumista edistämällä. Metsänhoitoyhdistysten tulisi tiedostaa, että elleivät ne lähde

mukaan energiapuun hankintaan, ne saattavat menettää itselleen tärkeässä nuorten metsien hoidossa jalansijaa puutavaran hankintaorganisaatioille.

Pienpuuhakkeen tuotantotukien myöntöperusteita tulisi suunnata pikemminkin energia- ja ilmastotavoitteita kuin pelkästään metsänhoidollisia tavoitteita palveleviksi. Metsähakkeen tuotannosta maksettavaa työnjohtotukea tulisi tarkistaa niin, että metsänhoitoyhdistys ja muu vastaava toimija voisi saada työnjohtopanoista paremmin vastaavan katteen.

7.4 Kone- ja kuljetusyrittäjien asema

Kuten ainespuun, myös energiapuun tuotanto on täysin metsäkone- ja kuljetusyrittäjien varassa. Yrittäjät pitävät kannattavuutta kuitenkin kehnona, eikä alan imago ole heidän mielikuvassaan korkea. He näkevät esimerkiksi seuraavia ongelmia:

- Taksat ovat niin tiukat, että kaluston uusiminen tuottaa suuria ongelmia.
- Tiukasta taloudesta ja pääoman puutteesta johtuen merkittävä osa koneista rakennetaan ja mukautetaan metsähakkeen tuotantoon yrittäjien omasta toimesta. Tämä vähentää sarjavalmistesteisten koneitten kysyntää ja nostaa niiden hintoja.
- Tuotantoteknologia on edelleen vakiintumaton, minkä yrittäjät katsovat aiheuttavan investointiriskejä. Pienpuun osalta riskejä aiheuttaa myös tuotantotukipäästösten lyhytjänteisyys koneitten käyttöikään verrattuna.
- Kuljettajista on pulaa, eikä alalla ole järjestelmällistä koulutusta, joka tähtäisi nimenomaan metsäpolttoaineitten tuotantoon.
- Alan työllisyydessä on kausivaihteluja. Niitten tasaamiseksi tulisi entistä enemmän käyttää apuna puskuri- ja varmuusvarastointia ja kehittää hankintajärjestelmiä sellaisiksi, että tuotanto voi jatkua katkeamattomana sääoloista ja metsähakkeen käyttötarpeen tilapäisestä heilahtelusta riippumatta. Askeleen tähän suuntaan tarjoaa esimerkiksi "risutukki"-järjestelmä.

- Tuotannon alkupäässä (metsäkuljetuksessa) toimivat yrittäjät kokevat ongelmaksi myös mittauksen, joka saattaa viivästyä kuukausia, ennen kuin raaka-aine haketetaan ja mitataan tehtaalla. Esimerkkinä mittauksen onnistuneesta ratkaisemisesta on "risutukki"-järjestelmä.

Erityisesti nuorten metsien pienpuun hyödyntämiseksi tarvitaan metsäteollisuuden integroitujen hankintajärjestelmien rinnalle yrittäjien itsenäisesti hoitamia hakkeentoimitusjärjestelmiä. Leimikoitten saanti edellyttää yhteistyötä metsänhoitoyhdistysten kanssa, ja sitä voitaisiin tukea leimikko- ja yritystietoja välittävällä verkkopalvelulla.

Vaikka monet tekijät häiritsevät metsähakkeen tuotannon yritystoimintaa, alan järjestöt näkevät sen kuitenkin kasvuvolyyminsä ansiosta tärkeänä kehityskohteenä, sillä vuoden 2010 tavoite merkitsee noin 10 %:n lisäystä puun hankinnan liikevaihdossa. Määrien ja seososuuksien kasvaessa välttämättömyys sopeutua käyttäjän vaatimuksiin toimitusten säännöllisyydestä ja luotettavuudesta sekä polttoaineen laadusta kasvaa, olkoon kysymyksessä sitten integroitu tai integroimaton hankinta.

7.5 Autokuljetus

Autokuljetus on suurin yksittäinen kustannustekijä metsähakkeen hankinnassa, ja siitä koituu kolmannes kokonaiskustannuksista. Kun käyttömäärät kasvavat, raaka-ainetta joudutaan hankkimaan entistä etäämmältä ja toisaalta myös entistä pienemmistä leimikkokohteista. Suuntaus aiheuttaa kustannuspaineita.

Metsäpolttoaine toimitetaan lämpö- ja voimalaitoksille yleisimmin valmiina hakkeena tai murskeena. Päinvastoin kuin Ruotsissa, metsähakkeen autokuljetuskalusto on useimmiten rakennettu alunperin muuhun tarkoitukseen: sahanhakkeen, purun, kuoren tai turpeen kuljetuksiin. Tällainen kalusto on vaikeuksissa metsäteillä ja -varastoilla, varsinkin kun auton tulee mahtua haketuspaikalle samanaikaisesti hakkurin kanssa.

Kaluston huono soveltuvuus metsäteille, siitä aiheutuva autovaje, odotusajat kuormauksessa ja purkupaikalla ja vajaakuormat alentavat kuljetussuoritetta.

Tällaisen kuorma-autokaluston kuljettajat ovat tottumattomia ja siksi usein myös haluttomia poikkeamaan pääteiltä metsäteille.

Keinoja kuljetuskustannusten hallitsemiseksi ovat esimerkiksi:

- Metsähakkeen kuljetuskaluston eriyttäminen perinteisestä kalustosta. Metsähakkeelle räätälöidyn kaluston käyttö käy mahdolliseksi, kun toimitukset vakiintuvat ja määrät kasvavat.
- Kuljetuslogistiikan ja ohjausjärjestelmien kehittäminen odotusaikojen supistamiseksi ja ajomatkojen ja -kertojen optimoimiseksi.
- Esimerkkinä joustavasta kuljetusjärjestelmästä on risutukkijärjestelmä, jossa metsäpolttoaineen kuljetus on integroitu ainespuun kuljetukseen eikä sahanhakkeen, purun tai turpeen kuljetukseen. Toisen ratkaisun kuormauksessa syntyviin odotuksiin tarjoaa hakkuriautojärjestelmä.

7.6 Metsäpolttoaineitten puskuri- ja varmuusvarastointi

Polttoainehuollolta edellytetään luotettavuutta ja uskottavuutta. Öljyllä, hiilellä ja turpeella ne on ratkaistu varmuusvarastoinnilla, mutta puupolttoaineitten osalta tällainen käytäntö puuttuu. Puupolttoaineet syntyvät paljolta ainespuun tuotannon ja jalostuksen päivittäisinä sivutuotteina, ja toisaalta niiden huono säilyvyys johtaa ainetappioihin varastoinnissa.

Kuitenkin metsähakkeenkin käyttäjillä on oltava varmuus polttoaineen saannista. Tilanteita, joissa puupolttoaineen toimitukset voivat vaikeutua, ovat

- kansainvälinen tai kotimainen kriisitilanne
- metsäteollisuuden lama
- ankarat pakkassäät tai kelirikko
- työselkkaus.

Jonkin verran puupolttoaineita toki varastoidaan, mutta varastointi ei ole aina järjestelmällistä. Metsähakkeen tuotannon takellessa polttoaineen saatavuus voidaan hoitaa teknisesti esimerkiksi turpeen avulla etenkin suurissa laitoksissa, jotka muutoinkin turvautuvat puun ja turpeen seoskäyttöön. Kun voimalaitos on mukana laajamittaisessa päästö- ja sertifikaattikaupassa, saattaa kuitenkin syntyä ongelmia, jos puupolttoaineen käyttö edes tilapäisesti supistuu kovin jyrkästi.

Tarvitaan järjestelmäselvitystä metsäpolttoaineitten puskuri- ja varmuusvarastoinnista. Selvityksen kohteena tulisi olla myös puskurivarastointi metsähakkeen laadun tai yrittäjien työllisyyden tasaamiseksi. Selvityksessä tulisi tarkastella myös metsäpolttoaineen olomuotoa varastoinnissa (esimerkiksi taimikkopuun pystyvarastointi, kanto- ja juuripuun varastointi, irtorisun ja kokopuun tienvarsi- ja terminaalivarastointi, varastointi risutukkina), metsähakkeen tuotannon määrällisiä joustomahdollisuuksia sekä varastoinnin aiheuttamia lisäkustannuksia ja mahdollisia kustannussäästöjä.

7.7 Koneenrakennuksen ongelmat

Metsähakkeen tuotannon volyymi on toistaiseksi vaatimaton. Se on eri tietolähteitten mukaan Ruotsissa 3–5 milj. m³ vuodessa, Suomessa pienkäyttö pois lukien 1 milj. m³ ja Tanskassa 0,4 milj. m³. Muualta Euroopasta ei lukuja ole saatavissa, mutta käyttö on siellä vähäistä. Kaikkiaan metsähakkeen käyttö nousee EU-maissa enintään 8 milj. m³:n tasolle vuodessa (ilman pienkäyttöä). Vaikka kiinnostus metsähakkeeseen on ripeässä kasvussa, käyttö ei ole Suomea ehkä lukuun ottamatta vieläkään erityisemmin kiihtymässä, sillä edellytyksenä on aina kokonaisen tuotanto- ja käyttöjärjestelmän perustaminen. Purun ja kuoren runsauden, kierrätyspuun tuonnin ja suuren pellettituotannon (kapasiteetti 1 milj. t/vuosi) seurauksena metsähakkeen käyttö ei ole viime vuosina juurikaan kasvanut alan johtavassa maassa Ruotsissa. Kasvu lienee nopeinta Suomessa, noin 300 000 m³ vuodessa.

Metsähakkeen tuotannon erikoiskoneitten markkinat ovat siis toistaiseksi suppeat, varsinkin kun mahdollisimman suuri osuus kuljetuksista pyritään hoitamaan ainespuun kalustolla. Koneenrakennuksen kannalta ongelmia tuottaa lisäksi laaja kirjo leimikko-oloissa (päätehakkuualojen tähteet, nuoren metsän pienpuu, ehkä myös kantopuu) ja toiminnan mittakaavassa.

Ongelmia tuottaa myös korjuuteknologian vakiintumattomuus. Suomessa sovelletaan rinnakkain viittä erilaista tuotantojärjestelmää, vaikka tuotetaan vain 1 milj. m³ markkinahaketta vuodessa: palstahaketusjärjestelmä, välivarastohaketusjärjestelmä, hakkuriautojärjestelmä, terminaalihaketusjärjestelmä ja käyttöpaikkahaketusjärjestelmä. Kussakin niistä on käytössä useita erityyppisiä koneita.

Seurauksena on, että valmistussarjat jäävät pieniksi ja koneitten hinnat korkeiksi. Kun kone- ja kuljetusryttäjillä on puute pääomasta, heidän mahdollisuutensa uuden konekaluston hankintaan ovat rajalliset, kun uutta kehittyneempää teknologiaa tulee markkinoille. Laimeasta kysynnästä johtuu, että esimerkiksi jotkut hyviksi todetut hakkurit eivät ole voineet saavuttaa vakiintunutta kaupallisen tuotteen asemaa. Koneyrittäjien investointituki on edelleen välttämätöntä.

Vakiintumisen saralla on pisimmälle edennyt risutukkijärjestelmä ja sen keskeinen laiteratkaisu Timberjackin Fiberpac-paalain, jota verraten lyhyessä ajassa on toimitettu kotimaan markkinoille kahdeksan kappaletta. Myös vienti on avautumassa, mutta se edellyttää koko risutukkijärjestelmäkonseptin ”myymistä” uusiin olosuhteisiin, mikä vaatii sekä vientiponnisteluja ja aikaa. Kotimaan markkinoitten laajenemisen kannalta olisi oleellista, että risutukkien murskaus kävisi mahdolliseksi myös pienemmissä käyttöpisteissä vaikkapa siirrettävää kalustoa käyttäen. Sovellusalueen laajeneminen pienpuuhun vahvistaisi risutukkijärjestelmän asemaa edelleen.

7.8 Metsähakkeen laadunhallinta

Metsähakkeen laatu (kosteus, palakoko, puhtaus, viheraine) lienee kokonaisuutena parantunut, ja toisaalta käyttäjät ovat valmistautuneet entistä paremmin sietämään laadun vaihtelua. Eräillä laitoksilla metsähakkeen laatua ei pidetä lainkaan ongelmana, mutta varsinkin pienehköt laitokset odottavat laadun paranevan. Kuva metsähakkeen laadusta ja sen merkityksestä selkiytynee, kun sitä koskeva Puuenergian teknologiaohjelman selvitys valmistuu.

Huoli viheraineen korroosiovaikutuksista on jossain määrin hälvennyt, kun niitä on opittu välttämään puu- ja turvepolttoaineita seostamalla. Ongelma saattaa kuitenkin nousta esille, jos metsähakkeen seososuus kasvaa tuntuvasti.

Tärkeimmäksi laatutekijäksi on osoittautunut metsähakkeen kosteus erityisesti talviaikaan. Vaikka monet suuret käyttäjät voivat ainakin turpeen joukossa polttaa vaikeuksista metsähaketta, jonka kosteus on jopa 55–60 %, ne menettävät joka tapauksessa osan polttoaineen lämpöarvosta. Ongelmia saattaa syntyä päästöistä, jos päästövaatimukset kiristyvät ja käytetään kosteata polttoainetta.

Erityisesti pienten tuottajien ja käyttäjien osalta tarvitaan edelleen polttoaineen laatuun liittyvää menetelmkehittelyä ja koulutusta. Laatu opitaan lopulta hallitsemaan kuitenkin vasta kokemuksen kautta hankitulla logistiikan, varastoinnin ja seostamisen tietotaidolla.

7.9 Pienpuupotentiaalin hyödyntäminen

Metsähakkeen tuotannon kasvu on kohdistunut viime vuosina lähinnä päätehakkuualojen tähteeseen. Aikavälillä 1995–2001 markkinatuotanto kasvoi hakkuutähdehakkeella 49 000 m³:stä 557 000 m³:iin mutta pienpuuhakkeella vain 204 000 m³:stä 274 000 m³:iin.

Pienpuuhake tehdään sellaisesta ohuesta puusta, joka ei sovellu metsäteollisuuden raaka-aineksi. Niin ollen sen määräpotentiaali ja myös tuotantokustannus riippuvat vahvasti siitä, millaisia vähimmäismittoja metsäteollisuus soveltaa kuitupuulle. Sinänsä erittäin myönteinen suuntaus kuitupuun läpimittavaatimusten alentamiseen merkitsee pienpuuhakkeen saatavuuden heikkenemistä ja kustannusten kohoamista.

Pienpuuhakkeen tuotanto nähdään hyödylliseksi erityisesti siksi, että se tukee nuorten metsien metsänhoidollista kunnostamista ja tarjoaa samalla metsälälle työtilaisuuksia. On käynyt selväksi, että sitä tarvitaan myös metsähakkeen määrätavoitteitten saavuttamiseksi. Pelkästään huoltovarmuussyistä metsähakkeen tuotantopohjan tulisi olla monipuolinen, eikä se saisi perustua vain uudistushakkuitten tähteisiin.

Pienpuuhakkeen tuotannon rajoitteena ovat kalliit tuotantokustannukset ja vaikeus integroida se ainespuun tuotantoon. Ollakseen kilpailukykyinen polttoaine pienpuuhake vaatii tuotantotukea. Jos kohde täyttää KEMERA-ehdot, myönnetään korjuutukea 3,3 €/MWh ja haketustukea 2,1 €/MWh. Tuen käyttö on kui-

tenkin jäänyt odotettua vähäisemmäksi. Pienpuuhakkeen tuotannon edistämiseksi tarvitaan

- metsähoitoyhdistysten osallistumista leimikkokohteitten etsintään, leimikkokeskitysten keräämiseen, hakkeen toimitussopimusten aikaansaamiseen ja koneyrittäjäverkoston avustamiseen.
- koneyrittäjien toimitusverkostoja erityisesti alueellisten laitosten hakehuoltoa palvelemaan.
- pienpuuhakkeen tuotantoon liittyvän kaatotyön koneellistamista, mikä on välttämätöntä sekä metsuripulan vuoksi että korjuukustannusten alentamiseksi. Kaatokoneitten kehittyminen onkin avaamassa uusia mahdollisuuksia koneellistamiselle.
- valtion tukijärjestelmän tarkistamista siten, että se ulottuisi kaikkiin pienpuuhaketta tuottaviin leimikoihin KEMERA-ehdoista riippumatta. Tuki päätöksen tulisi olla pitkäjänteinen, eikä tukien maksuun liittyvä byrokratia saisi muodostua raskaaksi. Tuki ei saa kuitenkaan vaikuttaa siten, että se siirtäisi laatu- ja leimikkovaatimukset täyttävää kuitupuuta energiakäyttöön.

7.10 Yhteenveto

Metsähakkeen tuotannon tiellä on edelleen lukuisia esteitä (taulukko 1), vaikka monet niistä ovatkin madaltumassa. Vaikein ongelma on yhä metsähakkeen korkeahkot tuotantokustannukset, eikä niitten alentamiseen ole juurikaan mahdollisuuksia, kun tuotanto moninkertaistuu. Hintakilpailukyky on ainakin hakuutähdehakeella kuitenkin selvästi parempi kuin viime vuosikymmenellä, mutta pienpuuhakkeen osalta kehitys on ollut hidasta.

Taulukko 1. Muutos suurten laitosten metsähakkeen käytön rajoitteissa vuodesta 1995 vuoteen 2002.

Rajoite	1995	2002
Korkea hintataso	***	**
Toimitusten epävarmuus	**	*
Vastaanotto- ja käsittelytekniikan puutteet	**	*
Kattilan soveltumattomuus	**	*
Hakkeen epätydyttävä laatu	**	*
Saatavuus suhteessa kysyntään	*	**
Kone- ja kuljetusyrityksien puute	*	*
* Este		
** Merkittävä este		
*** Vakava este		

Suurimman kysynnän alueilla tuotannon kasvua on alkanut hidastaa rajallinen saatavuus, vaikka korjuukelpoisesta metsähakepotentiaalista on koko maan puitteissa käytössä ehkä vasta 10 %. Vastaisuudessa tuleekin kiinnittää erityistä huomiota metsähakkeen saatavuuden parantamiseen esimerkiksi seuraavin keinoin:

- Metsähakkeen tuotannon asema ja merkitys tulee selkeyttää ja vahvistaa ainespuun hankintaorganisaatiossa.
- Metsähakkeen tuotannon metsänhoidolliset edut tulee demonstroida metsänomistajille entistä vakuuttavammin. Samoin metsätalouden toimialan tulee vakuuttua imagohyödyistä, joka sille uusiutuvan energian tuotannosta koituu.
- Metsänhoitoyhdistykset tulee saada mukaan metsähakkeen tuotantoon laajalla rintamalla.
- Kone- ja kuljetusyrityksien kannattavuus metsähakkeen tuotannossa tulee varmistaa ja yrityksien motivaatiota ja valmiutta tulee lisätä.
- Kuljetusetäisyyksien pidentyessä tulee kiinnittää entistä suurempaa huomiota autokuljetuksen kalustoon, logistiikkaan ja kustannuksiin.

- Toimitusvarmuuden ja tuotantojouston lisäämiseksi tulee kehittää puskuri- ja varmuusvarastointia.
- Koneenrakennuksen järjeistämiseksi ja koneyrittäjien investointien helpottamiseksi tulee pyrkiä tuotantojärjestelmien vakiinnuttamiseen samalla tavoin kuin on tapahtunut ainespuunkin tuotannossa.
- Metsähakkeen lämpöarvon ja polton hyötysuhteen parantamiseksi sekä päästöjen hallitsemiseksi tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota laadun parantamiseen ja laatuvaihtelun tasaamiseen. Tarve on sitä suurempi mitä pienemmistä käyttäjistä, tai seospolton ollessa kysymyksessä mitä suuremmasta seossuhteesta, on kysymys.
- Kehitystyössä ja käytännön hankintatoiminnassa tulee kiinnittää erityistä huomiota nuorten metsien pienpuuhakepotentiaalini hyödyntämiseen. Keinoja ovat esimerkiksi metsänhoitoyhdistysten aktivointi, kaatotyön koneellistaminen sekä tukijärjestelmän tarkistaminen pikemminkin energia- ja ilmastostrategian kuin pelkästään metsänhoidollisten tarpeitten näkökulmasta.

Ohjelman julkaisut

Asikainen, A. Use of Forest Fuels increases rapidly in Finland. IEA Bioenergy T31 News 1/2002, s. 2.

Hakkila, P. 2001. Puuenergian teknologiaohjelman saavutuksia. FINBIO, julkaisu 19. S. 71–76.

Hakkila, P. 2002. Metsähakkeen tuotanto edistää metsien hoitoa. Metsäliiton Viesti 1/2002, s. 24–25.

Hakkila, P. 2002. Metsähake väärässä valossa. Puuenergia 1/2002, s. 6–9.

Hakkila, P. 2002. Puuenergian teknologiaohjelma. Ympäristö ja Terveys 3/2002, s. 10–13.

Hakkila, P. 2002. Wood Energy Technology Program: Techno-economic conditions for large-scale utilization of forest biomass. Energy technology Review 2002, s. 16.

Hakkila, P. 2002. Finland: environmentally friendly recovery of logging residues. FAO. Forestry Energy Forum 7, s. 30–32.

Hakkila, P. 2002. The Finnish Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Energy 1/2002, s. 9–10. Die Zeitschrift der Energieverwertungsagentur. Austria.

Hakkila, P. & Parikka, M. 2002. Fuel resources from the forest. In: Richardson, J., Björheden, R., Hakkila, P., Lowe, A. T. & Smith, C. T. (toim.). Bioenergy from sustainable forestry. Guiding Principles and Practice. Kluwer. S. 19–47.

Hakkila, P. 2002. Autokuljetukset metsäteollisuuden energiahuollossa. In: Väätäjä, M. (toim.). Matkalla tehtaalle. Puutavaran kaukokuljetuksen ja tehdasvastaston vaiheita. S. 8–17.

Hakkila, P. Puutavara. In: Väätäjä, M. (toim.). Matkalla tehtaalle. Puutavaran kaukokuljetuksen ja tehdasvastaston vaiheita. S. 46–52.

Hakkila, P., Saranpää, P. & Repola, J. 2002. Ensiharvennusmänty ja -kuusi kuitupuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. S. 71–84.

Hakkila, P. Environmentally friendly operation patterns. In: Richardson, J., Björheden, R., Hakkila, P. & Lowe, A. T. (toim.). Bioenergy from sustainable forestry. Guiding principles and Practice. Kluwer. S. 251–268.

Helynen, S. & Hakkila, P. Results of the Wood Energy Technology Programme in Finland. 12th European Conf. and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, 17.–21.6.2002.

Richardson, J., Björheden, R., Hakkila, P., Lowe, A. T. & Smith, C. T. 2002. Bioenergy from sustainable forestry. Guiding principles and practice. Kluwer.

Hakkila, P. 2002. Metsähake metsätalouden näkökulmasta. Teho 4/2002. Painossa.

Viitekirjallisuus

FINBIO. 2002. Bioenergian lisäkäytöllä edistetään ilmastostrategian toteuttamista ja energian kotimaisuutta. Lausunto eduskunnan valtiovarainvaliokunnalle.

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

Hakkila, P., Nousiainen, I. & Kalaja, H. 2001. Metsähakkeen käyttö Suomessa. Tilannekatsaus vuodesta 1999. Espoo: VTT Tiedotteita 2087. 39 s.

Laurila, P. 2002. Puupolttoaineiden kasvava käyttö. Finbion julkaisu 22. S. 51–57.

Prisblad för biobränslen, torv mm. 2002. Nr 2. Energimyndigheten.

Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2000. 2001. Metla. Metsätilastotiedote 574.

Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2001. 2002. Metla. Metsätilastotiedote 620.

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.

VTT Prosessit. 2002. Suomen energiavisio 2030. Ritva Hirvonen (toim.).

Liite 1

Ohjelman johtoryhmän kokoonpano 2001

Biowatti Oy, puh.joht.

Pekka Laurila

Revontulentie 8 A, 02100 Espoo

Puh. 01046 58210, faksi: 01046 94298

E-mail: pekka.laurila@ metsaliitto.fi

Teknologian kehittämiskeskus

Marjatta Aarniala

PL 69, 00101 Helsinki

Puh. 010 521 5736

E-mail: marjatta.aarniala@tekes.fi

KTM Energiaosasto

Mika Anttonen

PL 37, 00131 Helsinki

Puh. 09 1606 4815, faksi: 09 1606 3997

E-mail: mika.anttonen@ktm.fi

BMH Wood Technology

Antti Nurmi

PL 32, 26101 Rauma

Puh. 02 831 5236, faksi: 02 822 1327

E-mail: antti.nurmi@bmh.fi

Fortum Power and Heat Oy

Kyösti Rannila

PL 382, 40101 JYVÄSKYLÄ

Puh. 010 454 5111, faksi: 014 273 913

E-mail: kyosti.rannila@fortum.com

Vapo Oy

Timo Nyrönen

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5760, faksi: 014 623 5622

E-mail: timo.nyronen@vapo.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

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

Maa- ja metsätalousministeriö

Matti Heikurainen

PL 232, 00171 Helsinki

Puh. 09 160 3359, faksi: 09 160 2400

E-mail: matti.heikurainen@ mmm.fi

Pohjolan Voima Oy

Juha Poikola

PL 40, 00101 Helsinki

Puh. 09 693 061, faksi: 09 6930 6555

E-mail: juha.poikola@pvo.fi

Koneyrittäjien liitto ry

Simo Jaakkola

Sitratie 7, 00420 Helsinki

Puh. 09 566 00114, faksi: 09 563 0329

E-mail:simo.jaakkola@ koneyrittajat.fi

Kvaerner Pulping Oy

Matti Rautanen

PL 109, 33101 Tampere

Puh. 03 241 3111, faksi: 03 241 3448

E-mail: matti.rautanen@ kvaerner.com

Keski-Suomen TE-keskus
Mauri Marjaniemi
Cygnaeuksenkatu 1, PL 44
40101 Jyväskylä
Puh. 014 410 4844, faksi 014 410 4606
E-mail: mauri.marjaniemi@te-keskus.fi

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

VTT Prosessit, tutkimuspäällikkö
Pentti Hakkila
PL 1601, 02044 VTT
Puh. 0400 208 789, 09 456 6672,
faksi: 09 460 493
E-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

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

Liite 2

Puuenergian teknologiaohjelman projektit vuoden 1999 alusta

TUOTANNON SUUNNITTELU JA ORGANISOINTI

PUUT01 Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka (P)

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 (P)

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 (P)

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 (P)

Matti Sirén

Metsäntutkimuslaitos

PL 18, 01301 Vantaa

Puh. 09 857 05339, faksi: 09 857 05361

E-mail: matti.siren@metla.fi

PUUT28 Metsähakkeen tuotannon kehittäminen nuorista metsistä

Arvo Leinonen

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 677, faksi: 014 672 597

E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUY11 Aines- ja energiapuun välinen rajanveto (P)

Hannu Kivela

Jaakko Pöyry Oy

PL 4, 01621 Vantaa

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

E-mail: hannu.kivela@poyry.fi

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

PUUY22 Työsuorituksen 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 Verkko-liiketoiminnan mah-
dollisuudet Suomen energiapuumarkki-
noilla (Esis.) (P)
Petri Vasara
JP Management Consulting (Europe) Oy
PL 4, 01620 Vantaa
Puh. 09 89472611, faksi: 09 879 7031
E-mail: petri.vasara@poyry.fi

TUOTANTOTEKNIikka JA -JÄRJESTELMÄT

PUUT05 Seospolttoaineiden tuotanto
terminaalilla – hankekokonaisuus (P)
Arvo Leinonen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 677, faksi: 014 672 597
E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUT12 Kaksivaiheisen murskaimen
kehittäminen puun energijakeen tuot-
tamiseksi (P)
Arvo Leinonen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 677, faksi: 014 672 597
E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUT13 Hakkeen hankinnan työvai-
heiden kehittäminen, lähikuljetus ja
hakkeen varastointi (P)
Teuvo Rasimus
Savonlinnan ammatillinen aikuiskou-
lutuskeskus
Telakkatie 9, 57230 Savonlinna
Puh. 015 575 8236, faksi: 015 575 8290
E-mail: teuvo.rasimus@
akk.savonlinna.fi

PUUT20 Hakkeen autokuljetuksen
logistiikka
Tapio Ranta
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 722, faksi: (014) 672 749
E-mail: tapio.ranta@vtt.fi

PUUY01 Menetelmä nuorten metsien
harvennukseen (P)
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 (P)
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 eri-
koishakkurin 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 Hakkuutähteen käyttöpaikkamurskaukseen perustuva tuotantomenetelmä (P)

Seppo Paananen

UPM-Kymmene Oyj

PL 32, 37601 Valkeakoski

Puh. 0204 163 818, faksi: 0204 163 839

E-mail: seppo.paananen@upm-kymmene.com

PUUY05 Traktorikäyttöinen rumpuhakuri hakkuutähteelle (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

PUUY06 Terminaalihakkeen tuotantotekniikka (P)

Jaakko Silpola

Vapo Oy

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5644, faksi: 014 623 5707

E-mail: jaakko.silpola@vapo.fi

PUUY07 Puupolttoaineklinikka

Dan Asplund

Jyväskylän Teknologiateknologikeskus Oy

PL 27, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 4451 112, faksi: 014 4451 199

E-mail: dan.asplund@jsp.fi

PUUY12 Metsien biomassan nostaminen todelliseksi uusiutuvan energian vaihtoehdoksi, yritysryhmähänke

Arto Timperi

Plustech Oy

PL 306, 33101 Tampere

Puh. 0204 80 4683, faksi: 0204 80 4690

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

PUUY13 Metsäenergiakeruukoneen kehitys ja koelaitevalmistus

Sakari Pinomäki

Sakari Pinomäki Ky

Pinotie 3, 33470 Ylöjärvi

Puh. 03 3480 700

PUUY14 Hakkuutähteen kuljetuksen täysperävaunuyhdistelmä (P)

Jaakko Silpola

Vapo Oy Energia

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5644, faksi: 014 623 5707

E-mail: jaakko.silpola@vapo.fi

PUUY16 Hakkuutähteen tiivistykseen perustuvan niputuslaitteiston kehittäminen (P)

Fredrik Pressler

Biowatti Oy

Revontulentie 6, 02100 Espoo

Puh. 01046 585 07,

faksi: 01046 694 298

E-mail: fredrik.pressler@metsaliitto.fi

PUUY18 Haketta tuottavien koneiden suunnittelu ja valmistus (P)

Jorma Issakainen

Kesla Oyj

Kuurnankatu 24, 80110 Joensuu

Puh. 013 682 841

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

PUUY19 Risutukkitekniikka suurimitaisessa puupolttoainehankinnassa (P)

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

PUUY31 Kaksivaiheisen murskaimen jatkokehitys puun energijakeen tuottamiseksi
Heikki Paalanen
Joutsan Konepalvelu Oy
Kangasniementie 13, 19650 Joutsa
Puh 014-880 8100, faksi 014-880 8120
E-mail. heikkipa@joutsankp.fi

LAADUNHALLINTA, VASTAANOTTO JA KÄYTTÖ

PUUT06 Ensiharvennuspuun hyödyntäminen (P)
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 Prosessit
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 leijukerroskattiloissa (P)
Markku Orjala
VTT Prosessit,
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 (P)
Kari Hillebrand
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 675, faksi: 014 672 597
E-mail: kari.hillebrand@vtt.fi

PUUT15 Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen (P)
Raija Kuoppamäki
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 540, faksi: 014 672 598
E-mail: raija.kuoppamaki@vtt.fi

PUUT17 Metsäteollisuuden vastapainevoimantuotannon tehostaminen
Pekka Ahtila
Teknillinen korkeakoulu
PL 4100, 02015 TKK
Puh. 09 451 3622
E-mail: pekka.ahvila@hut.fi

PUUT18 Puupolttoaineen laadun ja tuotantotehokkuuden parantaminen haketus- ja murskaustekniikkaa kehittämällä (P)
Ari Erkkilä
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 2684, faksi: 014 672 749
E-mail: ari.erkkilä@vtt.fi

PUUT19 Puupolttoaineille soveltuvat vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät (P)
Risto Impola
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 542, faksi: 014 672 597
E-mail: risto.impola@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 (P)
Raili Vesterinen
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014- 672 574, faksi: 014-672 598
E-mail: raili.vesterinen@vtt.fi

PUUT29 Puupolttoaineiden kemialliset
muutokset varastoinnissa ja kuivauk-
sessa, vaihe 1
Leena Fagernäs
VTT Prosessit
PL 1601, 02044 VTT
Puh. 09 456 5453, faksi: 09 460 493
E-mail: leena.fagernas@vtt.fi

PUUY08 Kiinteän polttoaineen varas-
toinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus-
ja syöttöjärjestelmän kehittäminen (P)
Antti Nurmi
BMH Wood Technology Oyj
PL 32, 26101 Rauma
Puh. 02 831 5236, faksi: 02 822 1327
E-mail: antti.nurmi@bmh.fi

PUUY09 Ilmanpaineisen CFB-
kaasutustekniikan kehittäminen oljelle
ja muille agrobiopolttoaineille soveltu-
vaksi (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

PUUY10 Seospolttoaineiden toimitus,
käsittely, sekoittaminen ja syöttö –
MF2 (P)
Timo Järvinen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 692, faksi: 014 672 597
E-mail: timo.jarvinen@vtt.fi

PUUY20 Kehityspuuteohjelma Oy
Alholmens Kraft Ab:n biopolttoainei-
den tuotantomenetelmien, vastaanoton
ja varastoinnin kehittämiseksi sekä
polttoprosessin optimoimiseksi (P)
Juha Poikola
Pohjolan Voima Oy
PL 40, 00101 Helsinki
Puh. 050 3133 278, faksi: 09 6930 6335
E-mail: juha.poikola@pvo.fi

PUUY24 Syöttösiilopurkaimen kapasiti-
teetin säädön kehittäminen (P)
Esko Saarela
Raumaster Oy
Nortamonkatu 32, 26100 RAUMA
Puh. 02-83774231, faksi: 02-8223801
E-mail: esko.saarela@raumaster.fi

PUUY28 Puun ja lietteiden yhteispol-
ton vaikutus kattilakorroosioon
Ari Frantsi
Stora Enso Publication Papers Oy Ltd
Puh. 020 462 6915, faksi: 020 462 6913
Kymenso Oy, 46900 Anjalankoski
E-mail: ari.frantsi@storaenso.com

PUUY29 Puupolttoaineiden on-line
kosteus- ja laatumittaus
Sauli Jantti
Oy Merinova Ab
PL 810, 65320 VAASA
Puh. 06 282 8200, faksi: 06 282 8299
E-mail: sauli.jantti@merinova.fi

PUUY32 Irtometsätähteen ja risutukien vastaanoton ja käsittelyjärjestelmän kehittäminen

Antti Nurmi

BMH Wood Technology Oy

PL 32, 26101 Rauma

Puh. 02 831 5236, faksi: 02 822 1327

E-mail: antti.nurmi@bmh.fi

SEURANNAISVAIKUTUKSET JA METSÄTALOUS

PUUT10 Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen (P)

Timo Saksa

Metsäntutkimuslaitos

Suonenjoen tutkimusasema

77600 Suonenjoki

Puh. 017 513 8300, faksi: 017 513 068

E-mail: timo.saksa@metla.fi

PUUT11 Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien hankekokonaisuus (P)

Helena Mälkki

VTT Prosessit

PL 14031, 02044 VTT

Puh. 09 456 6442, faksi: 09 456 7043

E-mail: helena.malkki@vtt.fi

PUUT14 Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä (P)

Juha Nurmi

Metsäntutkimuslaitos

PL 44, 69101 Kannus

Puh. 06 874 3219, faksi: 06 874 3201

E-mail: juha.nurmi@metla.fi

PUUT22 Puuenergian käyttö ja kasvihuonekaasujen rajoittaminen (P)

Margareta Wihersaari

VTT Prosessit

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

PUUT32 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun vaikutus maanmuokkaukseen ja metsänviljelyyn

Pertti Harstela

Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013 251 3625, faksi: 031 251 3590

E-mail: pertti.harstela@joensuu.fi

PUUY17 Suopohjien metsitys hiilinieluiksi ympäristövaikutukset halliten (P)

Pirkko Selin

Vapo Oy Energia

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5752, faksi: 014 623 5707

E-mail: pirkko.selin@vapo.fi

KANSAINVÄLISET PROJEKTIT

PUUT16 Uusien bioenergiatekniikoiden kilpailukyky – IEA/Bioenergy (P)

Yrjö Solantausta

PL 1601, 02044 VTT

Puh. 09 456 5517, faksi: 09 460 493

E-mail: yrjo.solantausta@vtt.fi

PUUT21 Biopolttoaineen ja hiilen
seospoltto
Veli-Pekka Heiskanen
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672533, faksi: 014-672 597
E-mail: veli-pekka.heiskanen@vtt.fi

PUUT27 Teknologiasiirto biopolttoai-
neiden tuotannossa USA:n ja Suomen
välillä
Arvo Leinonen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 677, faksi: 014 672 597
E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUT31 Maximum biomass use and
efficiency in large-scale cofiring
Satu Helynen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 611, faksi: 014 672 597
E-mail: satu.helynen@vtt.fi

PUUY25 Kaukoidän puupolttoaineiden
laadunmääritys
Dan Asplund
Jyväskylän Teknologiatekeskus Oy
PL 27, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 4451 112, faksi: 014 4451 199
E-mail: dan.asplund@jst.fi

PIENTUOTANTO JA -KÄYTTÖ

PUUT26 Puun pienkäytön T&K:n
tarpeiden kartoitus
Heikki Oravainen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 532, faksi: 014 672 597
E-mail: heikki.oravainen@vtt.fi

PUUT30 Puupolttoaineiden jakelu,
käsittely ja laadun parantaminen
pienkäytössä
Ari Erkkilä
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 684, faksi: 014 672 749
E-mail: ari.erkkila@vtt.fi

PUUY26 Palax 450 polttopuuprosessori
Jaakko Viitamäki
Ylistaron Terästakomo Oy
PL 32, 61400 Ylistaro
Puh. 0500 365 640
E-mail:
jaakko.viitamaki@teratakomo.com

PUUY27 Puupelletin laadunhallinta
pienjaketussa ja käsittelyssä
Jouko Mäkelä
Työtehoseura ry
Melkonkatu 16 A, PL 28, 00211 Helsinki
Puh. 09 2904 1420, Faksi 09 6922 084
E-mail: jouko.makela@tts.fi

PUUY30 Pilkkeen tuotantoprosessin
hallinta ja kehittäminen
Jouko Mäkelä
Työtehoseura ry
Melkonkatu 16 A, PL 28, 00211 Helsinki
Puh. 09 2904 1420, Faksi 09 6922 084
E-mail: jouko.makela@tts.fi

PUUY33 Katalysaattorikiukaan
kehittäminen
Pertti Harvia
Harvia Oy
Teollisuustie 1–3, 40950 Muurame
Puh. 014 331 4000, Faksi 014 331 4090
E-mail: pertti.harvia@harvia.fi

JOHTORYHMÄN RAHOITTAMAT
SELVITYKSET

PUUJ01 Hakkuutähdehakkeen korjuun
ohjeistaminen (P)

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
(P)

Pentti Hakkila

VTT Prosessit

PL 1604, 02044 VTT

Puh. 09 456 6672, faksi: 09 456 5000

E-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

PUUJ03 Puuenergian tutkimus- ja ke-
hitystyön sekä käytön asema EU:ssa (P)

Pirkko Vesterinen

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 715, faksi: 014 672 749

E-mail: pirkko.vesterinen@vtt.fi

PUUJ04 Esiselvitys kanto- ja juuripuun
polttoainekäytön mahdollisuuksista (P)

Ari Erkkilä

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 684, faksi: 014 672 749

E-mail: ari.erkkila@vtt.fi

PUUJ05 Puupolttoaineiden vaikutus
voimalaitoksen käyttöalouteen (P)

Jouni Hämäläinen

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 529, faksi: 014 672 597

E-mail: jouni.hamalainen@vtt.fi

PUUJ06 Pellettien tuotantokustannuk-
set eri laitoskytkennöillä (P)

Martti Flyktman

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 539, faksi: 014 672 597

E-mail: martti.flyktman@vtt.fi

PUUJ07 Polttohakkeen tuotanto
nuorista metsistä. Opas

Tage Fredriksson

Puuenergia ry

Soidinkuja 4, 00700 Helsinki

Puh. 09 156 2247, faksi: 09 1562 433

E-mail:

tage.fredriksson@tapio.mailnet.fi

PUUJ08 Metsähakkeen laatukartoitus

Risto Impola

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 542, faksi: 014 672 597

E-mail: risto.impola@vtt.fi

PUUJ09 Puupolttoaineiden varmuus-
varastointi

Tapio Ranta

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 2722, faksi: 014 672 749

E-mail: tapio.ranta@vtt.fi

PUUJ10 Polttoaineiden kuivatuksen
kannattavuus laitoksilla

Anne Suomalainen / Martti Flyktman

VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 521, faksi: 014 672 597

E-mail: anne.suomalainen@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 kaukokuljetusyksikön purkava palstahakkuri
Biowatti Oy

PUUD12 Käyttöpaikkamurskain
Oy Alholmens Kraft Ab

PUUD13 Hakkuutähteen paalaus kone
Tmi Matti Sadeharju

PUUD14 Hakkuutähteen paalaus kone
H & A Ala-Korpi

PUUD15 Hienohakegiant-hakkuri
Kotimaiset Energiat Ky

Tietoa ohjelmasta Internetistä:

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

englanninkielinen

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

T = tutkimushanke

Y = yritysten tuotekehityshanke

J = johtoryhmän rahoittamat selvitykset

D = demonstraatiohankkeet

P = päättynyt projekti

Liite 3

Viestintä

Ohjelman projektien tuloksia on raportoitu mm. Metsäntutkimuslaitoksen, VTT:n, Koneyrittäjiliiton, Metsätehon ja Metsätalouden kehittämiskeskuksen Tapion julkaisusarjoissa. Ohjelman tuloksia raportoitiin keväällä Pietarsaareissa pidetyssä tutkijaseminaarissa ja syksyllä vuosiseminaarissa. Tutkijaseminaari on sisältänyt myös tutustumiskäyntejä ohjelmassa kehitettyihin koneisiin, menetelmiin tai energialaitoksiin tutustumista varten. Ohjelman kaikki projektit raportoidaan vuosittain niiden keston aikana vuosikirjassa, joka julkaistaan VTT:n Symposium-sarjassa ja on tulostettavissa myös VTT:n verkkosivuilta. Syyskuun alussa vuonna 2001 järjestetty vuosiseminaari oli yhdistetty Jyväskylässä pidettyyn Puu- ja Metsämessuihin, joihin ohjelma osallistui yhdessä OPET-verkoston (Organisations for Promoting Energy Technologies) ja muiden julkisten bioenergiaorganisaatioiden kanssa. Jyväskylän Messut markkinoi seminaaria myös omissa messuesitteissään, mikä lisäsi osallistujamäärää. Seminaarin osallistujamäärä oli suurin, lähes 180 henkilöä.

Ohjelman tuloksien suomalainen pääjulkaisukanavana on ollut Puuenergia-lehti, jonka joka numeroon on kirjoitettu ohjelmasta yksi–kaksi artikkelia. Lisäksi tuloksista on laadittu artikkeleja Teho- ja Koneyrittäjä-lehtiin sekä alan yritysten asiakaslehtiin (ks. s. 36–37). Ohjelman koordinaatio-organisaatio on antanut haastatteluja tiedotusvälineille ja tuloksista on laadittu kymmenkunta artikkelia elokuun 2001 jälkeen. Ohjelmasta on julkaistu artikkeleja myös kansainvälisissä lehdissä (ks. s. 36–37). Teknologiakatsauksia laadittiin yhdessä OPET-verkoston kanssa mm. Kokkolan voimalaitoksesta ja päivitettiin aikaisemmin laadittu teknologiakatsaus Alholmens Kraftin voimalaitoshankkeeseen sekä siihen liittyvistä korjuumenetelmien kehittämisestä. Tätä esitettä on käytetty mm. kansainvälisen energiakilpailun, Globe Energy Awardin, arviointiaineistona.

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

Kansainvälisestä yhteistyötä on tehty sekä OPET-verkoston että IEA Bioenergy Agreementin kanssa. OPET-verkoston kautta on välitetty tietoa puuenergian korjuuketjuista ja puun käyttökohteista sekä laadittu englanninkielinen raportti metsähakkeen korjuusta: Forest chips in Finland. Lisäksi pienpuuntuotannon- ja käytön kehitystarpeiden valmisteluun on käytetty OPET-verkostoa ja järjestetty mm. kaksi seminaaria alan laitevalmistajille marraskuussa 2001 ja maaliskuussa 2002. OPET-verkoston kanssa laaditut teknologiakatsaukset ja raportit ovat haettavissa pdf-tiedostoina OPET Finlandin verkkosivuilta (www.tekes.fi/opet). Koordinaatio-organisaatio on järjestänyt useita vierailuohjelmia kansainvälisille ryhmille puuenergian tuotannosta ja käytöstä mm. kolmelle japanilaiselle ryhmälle, ruotsalaiselle Växjön tutkijaryhmälle, australialaiselle ja skotlantilaisille metsäalan asiantuntijoille sekä espanjalaisille puututkimuslaitoksen edustajille. Vierailuihin on sisältynyt ohjelman ja sen tulosten esittelyä sekä retkeilyä käytännönkohteissa. Retkeilyt järjestettiin yhdessä alan yrityksiä ja energialaitosten sekä skotlantilaisten vierailu yhdessä OPET-verkoston kanssa tutkijaseminaarin yhteydessä huhtikuussa 2002. Ohjelman aineistoa on käytetty myös Tekesin bioenergiateknologia-esitteen: Growing Power laadinnassa (http://www.tekes.fi/julkaisut/GrowingPower_Brochure.pdf). IEA:n toimistoon Graziin on lähetetty kuva- ja piirrosaineistoa puuenergiasta ja laadittu artikkeli ohjelmasta IEA:n Forest Newsletteriin.

Ohjelmaa esiteltiin artikkelein ja posterein Euroopan komission Liikenne- ja energiaosaston (DG TREN) organisoimassa ensimmäisessä Liikenne ja Energia-konferenssissa (1st European Transport and Energy Conference) Barcelonassa Espanjassa 18.–19.10.2001 sekä EU:n kahdennessatoista Bioenergiakonferenssissa (12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection) Amsterdamissa Hollannissa 17.–21.6.2002.

Tuotannon suunnittelu ja organisointi

Metsähakkeen tuotannon kehittäminen nuorista metsistä – PUUT28

Kari Hillebrand (toim.)
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 611, faksi (014) 672 597
e-mail: kari.hillebrand@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Development of forest chip production from young forests

There is a huge production potential for forest chips in seedling stands and first-thinning sites. Due to high production costs, the production of these so-called small-wood chips is insignificant for the time being. The aim of this research work is to reduce production costs of small-wood chips by studying and developing, i.a., the production of small-wood chips in co-operation with forest owners and forestry associations, and the quality improvement of small-wood chips by drying. The work is divided into four sub-projects, which will be carried out in co-operation with the Technical Research Centre of Finland (VTT), different departments of the Finnish Forest Research Institute, the University of Oulu, and producers of small-wood chips.

1. Tausta

Vuonna 2001 metsähakkeen käyttö energiantuotannossa oli Suomessa 1,3 miljoonaa kiintokuutiometriä, josta hakkuutähteen eli hakkuualalta korjattujen oksien ja latvusten osuus metsähakkeen raaka-aineesta oli lähes 60 %. Nuorista metsistä energiaksi kerättävän pienpuun ja hakkuutähteen määrä on vielä ollut vähäistä. Tämä johtuu nuorista metsistä korjattavan metsähakkeen korkeista tuotantokustannuksista, jotka aiheutuvat poistettavan puuston pienestä runko-

koosta, alhaisesta hehtaarikertymästä ja korjuumenetelmien ja -kaluston huonosta soveltuvuudesta tiheiden pieniläpimittaisten puiden korjuuseen.

Energiapuun korjuuseen liittyvää kehittämistyötä on tehty pääasiassa Bioenergia-, Puuenergia- ja Harju-tutkimusohjelmissa. Ensiharvennuksissa ainespuun tuotantoon on kehitetty keveitä hakkuukoneita, yhdistelmäkoneita, joukkokäsittelyharvestereita sekä koko- ja osapuun tiivistämistä. Näistä kehitetyistä laitteista myös energiapuun korjuuseen voidaan soveltaa joukkokäsittelyharvesteria ja osa- ja kokopuun tiivistämistä metsäkuljetuksessa. Joukkokäsittelyharvesterissa voidaan kerätä useampi puu samaan kouraan kaadossa ja puut voidaan karsia, katkoa sekä kuormata samalla kertaa.

Nuorista metsistä tuotettavan metsähakkeen tuotantoa on mahdollista kehittää mm. seuraavin keinoin:

- leimikoiden koon kasvattaminen metsänomistajien ja metsänhoitoyhdistysten yhteistyönä,
- energiapuun korjuun kehittäminen pääomaltaan pieniä korjuukoneita käyttäen,
- metsähakkeen laadun parantaminen palstalla tai tienvarsivarastossa tapahtuvalla kuivatuksella,
- neulasiin varastoituneen ravinteiden jättö metsään palstakuivatuksen tai osittaisen karsimisen avulla,
- perustiedon hankinnalla metsähakkeen tuotantokustannuksista ja työllisyysvaikutuksista.

2. Tavoite

Hankekokonaisuuden tavoitteena on nuorista metsistä kerättävän energiapuun korjuukustannusten alentaminen 1 €/MWh:

- kehittämällä metsänhoitoyhdistysten ja metsänomistajien yhteistyötä energiapuun korjuussa,

- kehittämällä tekniikkaa (mm. kuivatus ja osittainen karsinta) neulasten erottamiseksi osa- ja kokopuusta tavoitteena lisätä ravinteiden jäämistä metsään,
- parantamalla hakkeen laatua käyttäen palsta ja -tienvarsivarastokuivatusta,
- kehittämällä järjestelmä, jolla tasataan ja varmistetaan metsähakkeen tuotanto avohakkuualueilta hyödyntämällä nuorista metsistä tapahtuvaa metsähakkeen tuotantoa,
- määrittämällä metsähakkeen tuotantokustannuksiin vaikuttavat tekijät ja
- selvittää metsähakkeen tuotannon työllisyysvaikutukset sekä henkilö- ja laiteresurssitarpeet.

3. Toteutus

Hankekokonaisuus toteutetaan vuosina 2001–2003 yhteistyössä VTT Prosessien, Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun, Vantaan ja Kannuksen tutkimusyksiköiden sekä Oulun yliopiston Thule-instituutin kanssa. Yritysosapuolina hankkeessa ovat mukana Biowatti Oy, Jyväskylän Teknologiateollisuus Oy, StoraEnso Oyj, Turveruukki Oy ja UPM-Kymmene Oy.

Hankekokonaisuus sisältää seuraavat osaprojektit:

1. Energiapuun korjuun tehostaminen nuorista metsistä metsänhoitoyhdistysten ja metsänomistajien yhteistyönä (Metla, Vantaan tutkimuskeskus)
2. Nuorista metsistä kerättävän energiapuun kuivatus ja varastointi (VTT Prosessit & Metla, Kannuksen tutkimusasema)
3. Metsähakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka (Metla, Joensuun tutkimuskeskus)

4. Pienpuuhakkeen ja hakkuutähdehakkeen energiakäytön sosioekonomiset vaikutukset; case-tarkastelu (Oulun yliopisto, Thule-instituutti).

Kukin osaprojekti on esitetty omana kokonaisuutena seuraavassa.

Energiapuun korjuun tehostaminen nuorista metsistä -osaprojekti

Matti Sirén, Vesa Tantu & Anssi Ahtikoski
Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
Puh. (09) 8570 51, faksi (09) 8570 5361
e-mail: etunimi.sukunimi@metla.fi

1. Tausta

Energiapuun korjuukustannuksiin vaikuttavat monet tekijät kuten korjuumenetelmä, leimikkotekijät, kuljetusetäisyydet, hankinnan organisointi ja logistiikan toimivuus. Nuorten harvennusestien energiapuupotentiaalin hyödyntämisen esteenä ovat ennen kaikkea poistettavien puiden pienestä runkokoosta ja alhaisesta hehtaarikertymästä johtuvat korkeat hakkeen tuotantokustannukset. Tilakohtainen leimikko antaa tehokkaalle toiminnalle huonot edellytykset. Korjuukustannuksiin ja samalla toiminnan kattavuuteen voidaan vaikuttaa kasvattamalla leimikoiden kokoa.

2. Tavoite

Hankkeella on kaksi päätavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena on selvittää käytännön yhteistyön toimivuus puuenergian talteenoton parantamisessa ja verrata käytännön tulosta teoreettisiin ja laskennallisiin mahdollisuuksiin. Toisena päätavoitteena on energiapuun talteenottoon liittyvien tukien merkitys nuorten metsien energiapuupotentiaalin hyödyntämisessä.

3. Toteutus

Hankkeessa tarkastellaan Hollolan ja Kärkölen kunnissa sijaitsevien metsätalousalueiden nuorten metsien energiapuukohteiden korjuuoloja ja -kustannuksia erilaisilla korjuu- ja yhteistyövaihtoehdoilla. Tarkastelualueen energiapuun

korjuun laskennallinen tarkastelu tehdään paikkatietoihin sidottujen metsäsuunnitelmatietojen perusteella. Metsähakkeen tuotantokustannukset lasketaan kustannusfunktiolla välivarastohaketukseen perustuvilla manuaaliselle ja koneelliselle korjuuketjulle erilaisilla leimikkoyhteistyövaihtoehdoilla (vrt. Tanttum ym. 2002a). Tarkasteluun sisällytetään myös alueen päätehakkuiden energiapuupotentiaali.

Yhteistyömahdollisuuksien todellista mittakaavaa ja energiapuun tarjontahalukkuutta selvitetään metsänomistajille tehtävän kyselytutkimuksen avulla. Näin selvitetään leimikkoyhteistyön toteutusmahdollisuudet alueilla. Talteen saatavan energiapuun määrä ja korjuukustannukset lasketaan myös tälle toteuttamiskelpoiselle vaihtoehdolle. Kyselyllä selvitetään myös metsänomistajien asenteita energiapuun talteenottoon ja energiapuun käyttöä omiin tarkoituksiin. Tarkastelualueella selvitetään myös kestävä metsätalouden rahoituslain (Kemera) mukaisten tukien merkitys energiapuun talteenotossa.

Metsänhoitoyhdistyksillä on tärkeä rooli pienpuun saamisessa energiakäyttöön. Tutkimuksessa selvitetään alueella toimivan metsänhoitoyhdistyksen ja energiapuuyrittäjän toimintaa energiapuun hankinnassa. Kyseisten toimijoiden energiapuun hankinnan kustannusrakennetta selvitetään seuraamalla korjuun ja työnjohdon ajanmenekkiä ja työn tuottavuutta. Tutkimuskohteilta selvitetään myös talteen otetun energiapuun määrää verrattuna potentiaaliin ja suunnitelmatietojen arvioon.

4. Tulokset

KEMERA-tukien merkitys nuorten metsien hoidossa ja energiapuun talteenotossa on suuri. Metsäntutkimuslaitos selvitti Puuenergian teknologiaohjelman hankkeessa 66 ensiharvennusmännikön korjuutekniset olosuhteet (Tanttum ym. 2002b). Nuoren metsän hoidon rahoitustuen ehdot (KEMERA-rahoitustuki 2001) täytti 41 % mitatuista kohteista. Kokonaan energiapuuksi korjattaessa ehdot täytti 71 % kohteista.

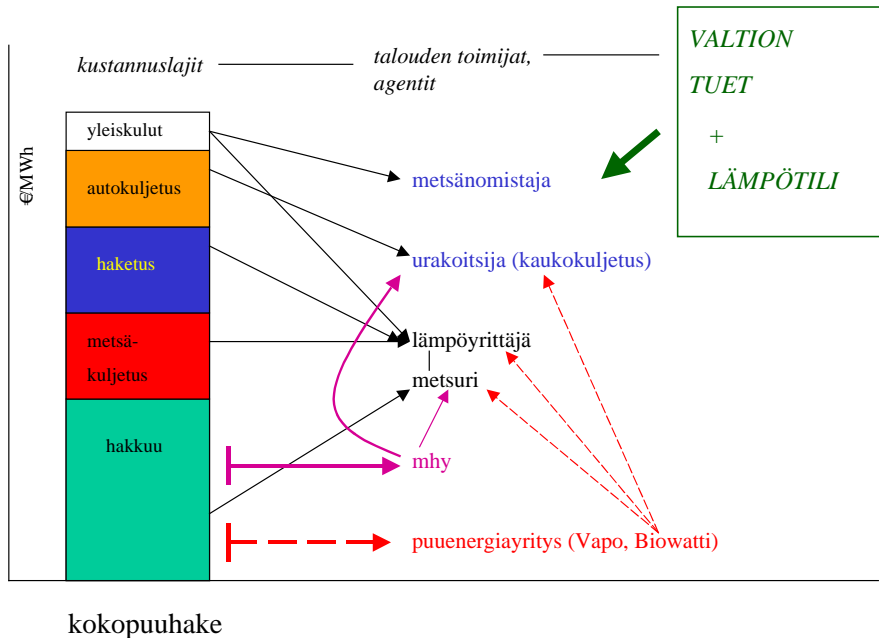
Taulukossa 1 esitetään esimerkkilaskelma pienpuuhakkeen tuotantokustannuksista ja KEMERA-tukien määrästä ja rakenteesta hehtaarin kokoisessa nuoren männikön harvennuskohhteessa. Hakkuu teetetään ulkopuolisella työvoimalla koko-

puuna. Rungon keskikoko on 25 dm³, kertymä 30 m³/ha, metsäkuljetusmatka 200 metriä ja kaukokuljetusmatka 50 km. Tilalla on voimassa oleva metsäsuunnitelma.

Taulukko 1. Esimerkkilaskelma metsähakkeen tuotantokustannuksista ja KEMERA-tuista nuoren metsän hoitokohteessa.

Tuotantokustannukset, €/m ³		Kemera-tuet, €/m ³		
Hakkuu	17,1	Pinta-alatuki		7,0
Metsäkuljetus	7,0	Korjuutuki	Kasaus	3,5
Haketus	6,1		Metsäkuljetus	3,5
Autokuljetus	5,5	Haketustuki		4,1
Yleiskustannukset	2,0	Tuki toteutusselvitysten laatimisesta	Pinta-ala	0,2
			Korjuu	1,4
			Haketus	0,1
Yhteensä	37,7	Yhteensä		19,8

Metsänomistaja voi hakea valtiolta energiapuun talteenottoon samanaikaisesti sekä pinta-alaperusteista (nuoren metsän hoidon tuki) että suoraa tuotantotukea (energiapuun korjuun tuki). Lisäksi energiapuun haketukseen myönnetään valtion tukea. Haketustuen saa aina hakettaja. Suora tuotannon tuki eli energiapuun korjuutuki jaetaan edelleen kasaustukeen ja kuljetustukeen. Nykyisessä järjestelmässä tukea myönnetään sekä suorasti (suora tuotannon tuki) että epäsuorasti (pinta-alaperusteinen tuki) suhteessa tuotettavaan lämpö määrään. Tämä aiheuttaa ongelmia määrittäessä tuen vaikutusta todellisiin puuenergian talteenoton kustannuksiin. Myös tuen kohdentamisen ongelma on ilmeinen. Kohdentamisella tarkoitetaan sitä, kenelle talouden toimijalle (esim. metsänomistaja, lämpöyrittäjä, puuenergiakauppias, metsänhoitoyhdistys) tuki lopulta kohdentuu. Tukien kohdentumisen ongelmakenttää esittää kuva 1.



Kuva 1. Kustannusten ja valtion tukien kohdentuminen nuorten metsien energiapuun talteenotossa.

Toistaiseksi maassamme ei ole tehty, muutamia yksittäistapauksia lukuun ottamatta, liiketaloudellisia analyysejä siitä, miten kustannukset kohdentuvat energiapuun talteenottoon osallistuville toimijoille (esim. metsänomistaja, metsuri, lämpöyrittäjä, metsänhoitoyhdistys). Käsillä olevan tutkimuksen laskelmissa määritetään kertymältään ja rungon keskitilavuudeltaan erilaisille energiapuukohteille korjuukustannukset ja niille mahdollisesti myönnettävät tuet. Korjuukustannukset määritetään eri korjuuvaihtoehdoille. Energiapuutukien (suora ja epäsuora) absoluuttinen ja suhteellinen osuus kokonaiskustannuksista lasketaan.

Laskelmilla selvitetään nykyisen tukijärjestelmän vaikutuksia energiapuun talteenottoon. Tulosten pohjalta voidaan mahdollisesti täsmentää nykyisiä tukiehtoja siten, että ne entistä tehokkaammin kohdentuvat oikeassa suhteessa energiapuun talteenottoon osallistuville toimijoille. Vaihtoehtoisesti tutkimuksen tulokset saattavat antaa aiheita nykyisen tukijärjestelmän kokonaisvaltaiseen muuttamiseen, jotta kullekin energiapuun talteenottoon osallistuvalla voitaisiin taata liiketaloudellisesti perustellun toiminnan harjoittaminen. Myös tukiehtojen mahdollisten muutosten vaikutuksia korjattavissa olevaan energiapuun määrään pyritään selvittämään ensiharvennusten korjuuoloista kerätyn tietämyksen avulla.

Lähteet

KEMERA-rahoitustuki. 2001, muutettu 18.9.2001 Koistinen, A. (WWW-dokumentti) <http://www.metsavastaa.net/index.ctm?docID=2979>

Tanttu, V., Sirén, M., Aaltio, H. & Kärhä, K. 2002a. Energiapuun korjuuolojen parantamismahdollisuudet. Julkaisussa: Sirén, M. (toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837. S. 37–56.

Tanttu, V., Sirén, M. & Aaltio, H. 2002b. Harvennuskertymän rakenne ja energiapuun määrä ensiharvennusmänniköissä. Julkaisussa: Sirén, M. (toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837. S. 27–36.

Energiapuun kuivatus ja varastointi -osaprojekti

Kari Hillebrand
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 611, faksi (014) 672 597
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

1. Tausta

Kaatotuoreen puun kosteus on 50–60 %. Isoissa laitoksissa kostea polttoaine ei ole ongelma, mutta pienemmissä laitoksissa kosteus ei saisi ylittää 40 %. Toisaalta jos puun kosteutta pystytään alentamaan noin 55 %:sta 25–30 %:n loppukosteuteen, niin lämpöarvo tilavuusyksikköä kohti kasvaa 10 %. Perinteinen keino alentaa puun kosteutta on ns. rasimenetelmä, jossa alkukesästä kaadetut puut jätetään kuivumaan palstalle 1–3 kuukaudeksi. Lehtipuut ja kuusi kuivuvat rasissa noin 40 %:n kosteuteen, männyllä tulokset ovat huonompia. Rasi- ja kourakasoissa tapahtuvalla kuivauksella on myös mahdollista lisätä metsään jäävien neulasten määrää ja näin vähentää ravinteiden poisventiä metsästä. Kuivauksessa ja keruun aikana kuivatuista puista neulaset putoavat helposti maahan.

2. Tavoite

Tutkimuksessa selvitetään tekniset keinot, joiden avulla nuorista metsistä kerättävä energiapuuta voidaan hankinnan ja varastoinnin aikana kuivata alle 40 %:n kosteuteen ja säilyttää saavutettu laatutaso välivarastossa sekä selvitetään eri korjuumenetelmien vaikutusta metsään jäävän vihhermassan määrään.

3. Toteutus

Tutkimuksen kaksi päätehtävää ovat kuivatuksen ja varastoinnin vaikutus polttoaineen laatuun ja kuivatuksen vaikutus neulasten määrään energiapuun korjuussa. Energiapuun kuivatus ja varastointi tehdään palstalla ja tienvarsivarastoissa. Erilaisissa varastointitekniikoissa otetaan huomioon mm. kasojen sijainti, koko, alusta ja peittäminen. Kuivatus- ja varastointikokeet palstalla tehdään kokopuukasoissa ja puun joukkokäsittelyssä syntyvissä kourakasoissa. Kuivatus ja varastointi suuremmissa varastokasoissa tehdään tienvarressa. Varastokasoja tehdään sekä karsimattomista että puun joukkokäsittelyssä syntyvästä osittain karsituista puista. Osa varastokasoista peitetään. Lisäksi selvitetään kuinka neulasten jääntiä palstalle voidaan edistää pieniläpimittaisen energiapuun korjuun yhteydessä. Tämä voi tapahtua esim. karsimalla oksat runkopuun korjuun yhteydessä.

Energiapuun varastokasoja on tehty sekä UPM-Kymmene Oyj:n että Biowatti Oy:n työmailla yhteensä 20 kappaletta. UPM-Kymmenen työmailla kokopuuvarastokasoja on tehty Jämsässä (joulukuussa 2001) ja Korpilahdella (helmikuussa 2002). Kummassakin kohteessa tehtiin kaksi tutkimuskasaa, jotka puretaan alkusyksyllä 2002. Joukkokäsittelyn yhteydessä toukokuussa 2002 on Jämsässä tehty neljä varastokasaa.

Biowatin työmaalla Toholammin Jämsän kylässä tehtiin hakkuu vuoden 2001 viikolla 51 Timberjack kaatokasauslaitteella. Kokeeseen käytettiin hieskoivu-leimikko. Kokopuut ajettiin tievarsikasoihin vuoden 2002 viikolla 1. Puista muodostettiin kaksi kasaa, joista toinen peitettiin. Puutavaran pituudesta johtuen kasojen peittämisessä käytettiin kahta rinnakkaista arkkia parhaan peittävyuden saamiseksi. Satunnaisesti valitut näyterungot hakettiin autohakkurilla. Näytteistä on määritetty lähtötilanteen kosteudet ja lämpöarvot.

Talvikauden toinen erä tehtiin viikolla 12. Kohteena oli Biowatin työmaa Kannuksen Märskylässä. Puiden kaatokasaus tehtiin samalla laitteella kuin tammi-kuun kokeessa. Materiaalista tehtiin kaksi mäntykasaa ja kaksi koivukasaa. Näistä puolet peitettiin. Keväällä on tehty lisäksi kaksi mäntykasaa Teerijärvellä ja neljä hieskoivukasaa Alavetelissä.

Stora Enson työmaalla Ruokolahden Utulan kylässä hakattiin viikolla 21 ensiharvennumännikkö. Työmaalta saatiin materiaalia neljään välivarastokasaan. Näistä puolet on joukkokäsiteltyä materiaalia ja toinen puoli kokopuuta. Puolet materiaalista ajettiin kahteen, katettuun välivarastokasaan. Toinen puoli materiaalista kuivuu palstalla ennen välivarastoon ajoa. Palstalla kuivumista seurataan kourakasakohtaisilla punnituksilla.

Varastoinnin lisäksi on selvitetty kokopuutaakkojen karsiutumista joukkokäsittelyn yhteydessä ja sen yhteydessä puiden kuivumista palstalla. Viikolla 16 korjattiin Töysässä ensiharvennumännikkö joukkokäsittelyperiaatteella toimivalla sykesyöttöisellä hakkuukoneella. Joukkokäsitellyistä taakoista mitattiin karsiutumisen onnistuminen sekä runkopuun mukana palstalta poistuvan neulasmassan määrä. Palstalle perustettiin karsittuja (joukkokäsiteltyjä) ja karsimattomia kokopuukourataakkoja kuivumisen ja neulasten karisemisen seurantaan varten.

Viikolla 21 jatkettiin joukkokäsiteltävän männyn karsiutumiskokeita rullasyöttöisellä hakkuukoneella (Timberjack/Outokummun Metall) Stora Enson työmaalla Ruokolahdella. Samalla perustettiin joukkokäsittelyn ja kokopuun kuivumista seuraavat kourataakat palstalle.

4. Tulokset

Pitkäaikainen välivarastointi muutti kokopuusta saatavaan polttihakkeen laatua seuraavasti. Tammikuussa tehtyjen katettujen puitten kosteus (45,7 %) aleni 40,9 %:iin toukokuun loppuun mennessä. Kattamattomilla puilla vastaavat luvut olivat keskimäärin 47,0 ja 47,8 %. Maaliskuulla tehdyissä katetuissa välivarastokasoissa kosteus oli laskenut 55,2:sta 41,4:ään. Kattamattomissa kasoissa vastaavat luvut olivat 58,7 ja 52,2 %.

Karsinnan onnistumista joukkokäsittelyssä mitattiin Timberjack/Outokummun Metallin ja Töysäläisen Timo Hietaniemen valmistamilla joukkokäsittelylaitteilla. Timberjack/Outokummun Metallin laitetta testattiin Ruokolahdella Stora Enson työmaalla männikön ensiharvennuksessa. Latvuksesta karsiutui 97 %, kun taakassa oli keskimäärin kolme puuta. Vastaavasti Hietaniemen sykesyöttöisellä

joukkokäsittelylaitteella Metsäliiton työmaalla Töysässä karsiutumisen tulos oli 90 %.

Kokopuitten ja joukkokäsiteltyjen puitten kuivumista seurataan palstalla kourakasoissa. Puunkorjuun hetkellä kokopuitten kosteus oli 58,1 % ja joukkokäsitellyn puun 60,9 %. Kahden viikon kuluttua vastaavat kosteudet olivat 54,4 ja 55,8 %. Joukkokäsitellyt puut olivat menettäneet kosteudesta 18,1 % ja kokopuut 13,8 %. Seuraavan kahden viikon aikana puu kuivui edelleen, mutta kourakasojen kolmatta punnitusta edeltänyt sade on nähtävissä kosteuden kohoamisena. Näin varsinkin kokopuilla joiden latvus on tehokkaasti sitonut sadevettä.

5. Tulosten hyödyntäminen

Tutkimuksessa syntyy tietoa siitä, miten nuorista metsistä saatavan metsähakkeen loppukosteus saadaan käyttäjälle alle 40 %:n kosteudessa. Paremmasta laadusta hyötyvät hakkeen käyttäjät. Tuloksista hyötyvät suuremman lämpöarvon avulla myös hakkeen tuottajat korjuu- ja kuljetuskustannusten pienenemisen myötä tuotettua energiayksikköä kohti. Lisäksi saadaan tietoa puiden karsiutumisas- teesta joukkokäsittelyn yhteydessä.

6. Jatkosuunnitelmat

Tehtyjen varastokasojen kuivumista seurataan kesän ja syksyn ajan, jonka jäl- keen varastot puretaan ja analysoidaan. Uusia palsta- ja tienvarsikasoja tehdään kesän aikana, joiden kuivumista seurataan talven yli.

Metsähakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka -osaprojekti

Antti Asikainen & Juha Laitila
Metsäntutkimuslaitos
PL 68, 80101 Joensuu
Puh. (013) 251 4042, faksi (013) 251 4567
e-mail: etunimi.sukunimi@metla.fi

1. Johdanto

Pienpuun energia- ja ainespuun korjuuketjujen tuottavuuksista ja kustannuksista ei ole yhtenäistä esitystä. Uusia teknologioita on otettu käyttöön ja vakiintuneiden teknologioiden osalta kehitys on mennyt eteenpäin. Lisäksi hakkuutähdehakkeen korjuumäärien kasvu mahdollistaa pienpuun energiakäytön tehostamisen toimitusketjujen integroinnin ja korjuukohteiden yhteissuunnittelun avulla. Eri biomassaositteiden korjaaminen tai jättäminen metsään vaikuttaa pienpuuhakkeen saatavuuteen ja hintaan.

Hankkeen tavoitteena on selvittää:

1. nuorista metsistä korjattavan polttohakkeen kustannusrakenne
2. mahdollisuudet tasata pienpuuhakkeella hakkuutähdehakkeen laatu- vaihtelua
3. nuorista metsistä korjattavan metsähakkeen tuotantomäärät eri leimikonvalintakriteereillä maan eri osissa
4. hakkuutähde- ja pienpuuhakkeen toimitusketjujen integroinnin kustannusvaikutukset.

Pienpuuhakkeen kustannusrakenteen selvittämiseen tuotetaan tuottavuusfunktioita, joiden selittävinä tekijöinä ovat mm: puulaji, puuston järeys ja tiheys,

ainespuun minimiläpimitta, työmaan koko, metsä- ja kaukokuljetusmatka sekä kokopuuna, rankana tai osapuuna korjuu. Korjuuketjujen osalta aineistona käytetään aiempia aikatutkimusaineistoja sekä täydentävin aikatutkimuksin kerättävää aineistoa.

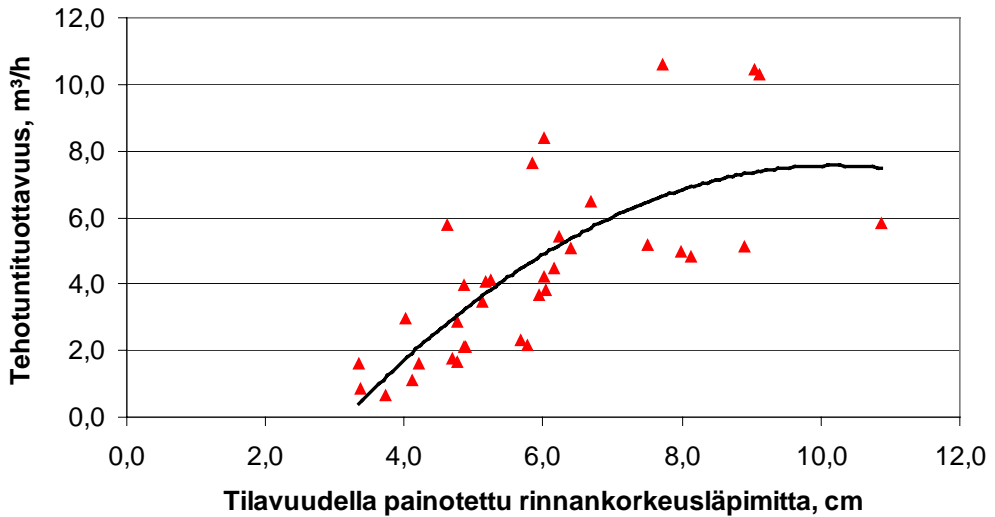
2. Projektin toteutus

Joulukuussa 2001 tutkittiin aikatutkimuksin energiapuuharvesterin tuottavuutta Pedersöressä ja Kannuksessa. Tutkitussa koneessa oli Timberjack 720 -keräilevä kaatopää ja se oli asennettu käytettyyn Timberjack 870 -hakkuukoneeseen.

Energiapuuharvesterin tuottavuustutkimuksessa ajanmenekki mitattiin koaloilta, joiden pituus oli 25 m ja leveys 20 m. Hakkuupoistuman selvittämiseksi aikatutkimuskoealalle sijoitettiin systemaattisesti kaksi puustokoealaa, yksi ajouran kummallekin puolelle. Ympyräkoalat kattoivat 20 % aikatutkimuskoealan pinta-alasta ja niillä ajouran ja harvennusalan pinta-alasuhte oli sama kuin aikatutkimuskoealoilla.

Ympyräkoaloilta mitattiin poistuman ja kasvatettavan puuston runkoluku puulajeittain, aliskasvoksen määrä sekä jäävän puuston pituus ja pohjapinta-ala. Kaadetuista puista mitattiin puulajeittain kantoläpimitta ja koepuista pituus ja rinnankorkeusläpimitta puustotunnusten ja koealakohtaisen hakkuupoistuman laskemiseksi.

Aikatutkimuksessa koneen työskentely jaettiin varsinaiseen työhön ja keskeytyksiin. Tuottavuus (m^3/h) saatiin, kun aikatutkimuskoealan hakkuupoistuma jaettiin koealakohtaisella ajanmenekillä. Tuottavuus ilmaistiin kiintokuutiometreinä tehotuntia (kuva 1) kohden.



Kuva 1. Timberjack 720/870 -kaatokasauskoneen tehotuntuottavuus, m³/h, poistuman keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Koneen tuottavuus koelaloilla vaihteli välillä 2–10 m³/tehotunnissa. Koneen tuottavuus nousi lähes lineaarisesti keskirinnankorkeusläpimitaan 9 cm, jonka jälkeen tuottavuuskäyrä tasaantui. Rinnankorkeusläpimitoilla 10–15 kantoläpimitan kasvu alkoi hidastaa koneen tuottavuutta enemmän kuin poistuman järeytyminen lisäsi sitä.

Tuottavuuden pienenemistä järeillä energiapuuruoilla voidaan selittää osaksi olosuhteilla. Aikatutkimusten aikaan pakkasta oli yli 20° ja puu oli jäistä. Osa selitys on myös kaatopään veitsiterään perustuva katkaisutekniikka. Veitsiterä ei uppoa, ainakaan tämän tutkimuksen perusteella, riittävän tehokkaasti kantoläpimitaltaan yli 16-senttiseen puuhun.

Maaliskuussa 2002 tehtiin vertailevaa aikatutkimusta pienharvesterihakkuusta ensiharvennusleimikolla. Aikatutkimukset kestivät viisi päivää ja ne tehtiin Kärämäellä. Aikatutkimuksessa pyrittiin selvittämään ero tuottavuudessa, kun ainespuun latvakappale kasataan ainespuun hakkuun yhteydessä energiapuun korjuuta varten (kuva 3) tai kasaus jätetään tekemättä (normaali ainespuun hak-

kuutapa). Alustavien tulosten mukaan latvusten kasoille hakkuu ei vaikuta hakkuukoneen tuottavuuteen.



Kuva 2. Kasoille hakattuja ensiharvennuspuiden latvuksia.

3. Jatkotoimenpiteet

Aikatutkimuksia Timberjack 720 -keräilevästä kaatopäästä jatketaan. Kesäkaudella tehtävissä aikatutkimuksissa pääpaino on kohteilla, joissa poistuman rinnan korkeusläpimitta on 10–15 cm tai enemmän. Vertailevaa aikatutkimusta latvusten kasoille hakkuusta jatketaan tutkimalla keskiraskaan harvesterin tuottavuutta vaihtoehtoisilla hakkuutavoilla. Alustavissa suunnitelmissa on myös tutkia pienpuun paalaamista risutukeiksi välivarastolla. Tuntikustannusten määrittämiseksi on tehty Excel-pohjainen konekustannuslaskentaohjelma. Laskentaohjelma on koekäytössä ja ohjelman kustannus- yms. syöttötietoja kootaan ja päivitetään tutkittavien koneiden ja menetelmien osalta.

Pienpuuhakkeen ja hakkuutähdehakkeen energiakäytön sosioekonomiset vaikutukset; case-tarkastelu -osaprojekti

Alpo Ahonen
Thule-instituutti
PL 7300, 90014 Oulun yliopisto
Puh. (08) 5533 552, faksi (08) 5533 564
e-mail: alpo.ahonen@oulu.fi

1. Tausta

Päätihakkuut soveltuvat hyvin koneelliseen korjuuseen, ja kustannukset on saatu kilpailukykyisiksi. Pienpuuhake valmistetaan yleensä taimikonhoidossa tai nuoren metsän harvennuksessa syntyneestä pieniläpimittaisesta kokopuusta. Korjuutekniikkaa on kehitetty, mutta pienpuuhakkeen tuotantoa on vaikea saada kannattavaksi ilman valtion tukea. Toisaalta pienpuuhakkeen tuotannon työllisyys- ja tulovaikutukset ovat suuremmat kuin hakkuutähdehakkeen.

Metsähakkeen valtakunnallisten käyttötavoitteiden toteutumisen yksi suuri haaste on pienpuuhakkeen käytön lisääminen. Pienpuuhakkeen käyttöä edistävien toimenpiteiden suunnittelun pohjaksi ja käytön vaikutusten arvioimiseksi tarvitaan tietoa metsähakkeen energiakäytön sosioekonomisista vaikutuksista.

2. Tavoite

Tutkimuksessa arvioidaan neljän case-kohteen metsähakkeen tuotanto- ja käyttöketjujen välittömät ja välilliset tulo- ja työllisyysvaikutukset sekä metsähakkeen tuotannon ja käytön vaikutukset kotitalouksien, kuntien ja valtion nettotuloihin. Kotimaan vaikutukset jaotellaan paikallistasoon, aluetasoon ja valtakunnalliseen tasoon.

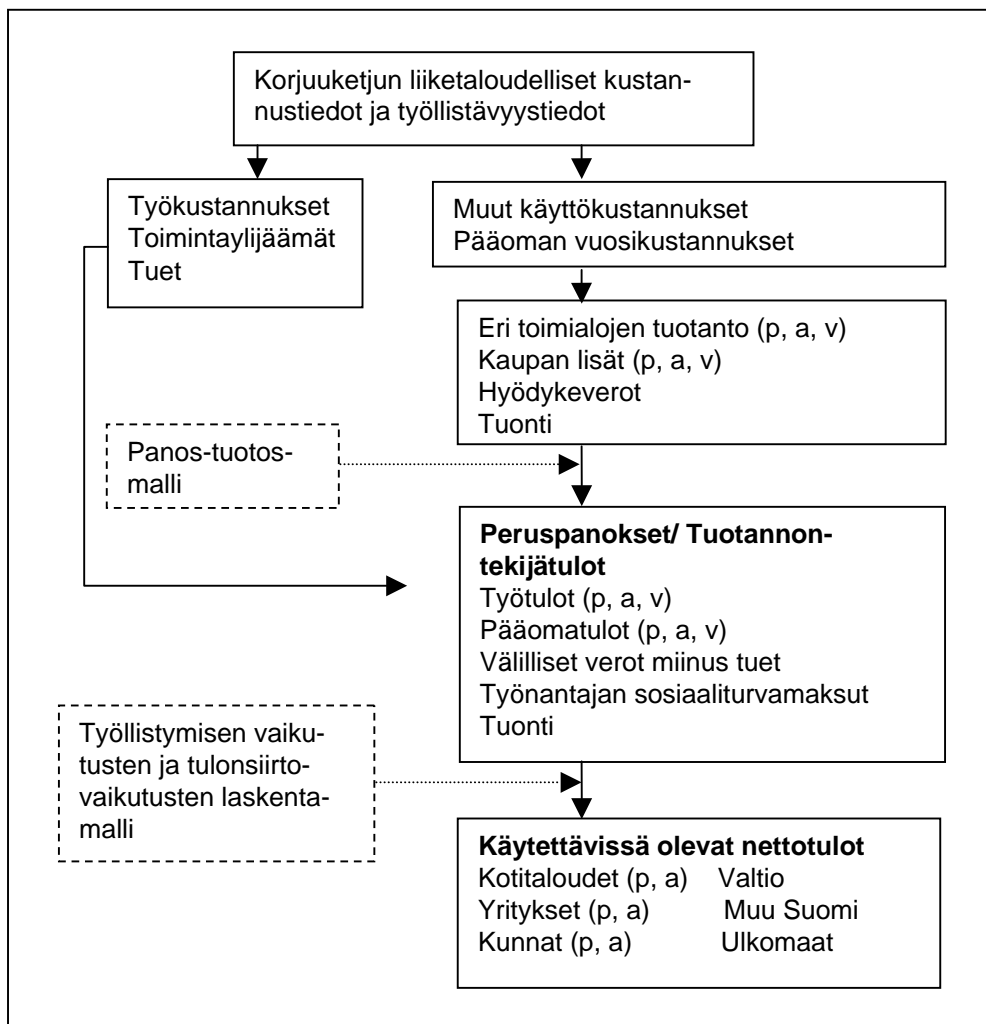
Sivututkimuksena arvioidaan työvoiman saatavuutta sekä kausityöluonteisuutta ja sen vaikutusta mm. todellisten uusien työpaikkojen syntymiseen.

3. Toteutus

Tutkimusaineistona on neljä case-kohdetta. Perhon energiaosuuskunta ja Ruukin kunnan aluelämpölaitos ovat tyypillisiä pieniä maaseutupaikkakuntien lämpölaitoksia. Perho sijaitsee Keski-Pohjanmaalla ja Ruukki Pohjois-Pohjanmaalla. Toppilan voimalat Oulussa ja Alholmens Kraft Pietarsaareissa ovat suuria voimalaitoksia, joissa on suuret metsähakkeen käyttömahdollisuudet ja -tavoitteet.

Perhossa osuuskunnan jäsenet hankkivat metsähakkeen ja hoitavat lämmön tuotannon. Energiapuu hakataan pääasiassa koneellisesti. Ruukissa metsähakkeen toimittaa metsänhoitoyhdistys. Hakkuu on manuaalista. Toppilan voimaloissa metsähaketta käytettiin vuonna 2001 noin 18 000 kiinto-m³. Käyttömahdollisuus on yli 300 000 kiinto-m³. Metsähake on pienpuuhaketta ja hakkuutädehaketta. Polttoaineen toimittavat Vapo, Turveruukki ja Biowatti, joten metsähake tuotetaan suurimmaksi osaksi polttoturpeen hankintaorganisaatioiden kautta. Alholmens Kraftin tavoitteena on käyttää metsähaketta noin 250 000 kiinto-m³ vuosittain. Hakkuutähteet hankkii UPM Kymmene joko irtotavarana tai paaleina, jolloin kuljetukset voidaan tehdä puutavara-autoilla.

Kuvassa 1 on tulovaikutusten laskentamalli. Ensin arvioidaan korjuuketjujen kustannusrakenteet ja suorat työpanokset. Työkustannukset, toimintaylijäämät, välilliset verot ja tuet ovat välittömiä peruspanoksia.



Kuva 1. Tulovaikutusten laskentamalli.

Muut käyttökustannukset ja pääoman vuosikustannukset eritellään eri toimialojen tuotteiksi, kaupan ja kuljetusten marginaaleiksi ja hyödykeveroiksi. Tässä vaiheessa arvioidaan myös, mikä osuus panosten tuottamisesta ja kaupan marginaaleista voisi olla paikallista, mikä osa tehdään muualla Suomessa ja mikä osa tuodaan suoraan ulkomailta. Yleistä panos-tuotostmallia käytetään vasta tämän erittelyn tuloksiin. Panos-tuotostmallilla saadaan käyttökustannusten ja pääomakustannusten likimääräinen peruspanossisältö.

Kotimaan vaikutukset jaotellaan paikallistasoon, aluetasoon ja muuhun Suomeen. Tässä tutkimuksessa paikallistaso on määritelty niiksi kunniksi, joissa hakkeen tuotanto- ja käyttöketju toimii ja joihin tuotannon ja kuljetuksen välittömät työllisyysvaikutukset ulottuvat.

Kotimaiset tuotannontekijätulot johdetaan edelleen tulonsiirtojen kautta kotitalouksien, kuntien sekä valtion tulojen nettomuutoksiksi. Tulonsiirtovaikutusten laskentamallissa keskeisinä tekijöinä ovat työllistymisen vaikutukset julkisen sektorin verotulojen kasvuun sekä työllisyysturva- ja sosiaalimenojen supistumiseen.

Työllisyysvaikutusten laskentamallissa välilliset työllisyysvaikutukset lasketaan eri toimialojen ja kaupan tuotosten ja panos-tuotostmallin työpanoskerroimien avulla.

4. Tulokset

Projektissa on kerätty tietoa case-kohteista, aloitettu metsähakkeen hankintaketjujen kustannusrakenteiden ja panosten menekkien arviointi. Panos-tuotostaulukoita on muokattu laskelmia varten ja on kehitetty laskentamallia.

5. Jatkosuunnitelmat

Projektissa jatketaan tiedonkeruuta case-kohteista, metsähakkeen hankintaketjujen kustannusrakenteiden ja tuotantopanosten selvitystä ja laskentamallin kehittämistä. Ruukin case koskee vuotta 2001. Tavoitteena on saada laskentamalli ja Ruukkia koskevat laskelmat valmiiksi syksyllä 2002. Projekti päättyy syksyllä 2003.

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.

Forest industry gives a higher residual value for wood than energy industry when wood is compared to peat. If the present energy wood subsidies are included to the calculation, the residual value in energy industry can compete with residual value of BSKP manufacturing.

When energy wood is compared to heavy fuel oil, the residual value of energy industry competes with newsprint and BSKP. If the present energy wood subsidies are included in calculation, the residual value of energy industry is higher than that of LWC manufacturing.

In energy industry the residual value of spruce is slightly lower than that of pine. This is caused by the lower density and higher harvesting costs of spruce com-

pared to pine. However, spruce has a higher residual value than pine in the analysed forest industry products.

The study results do not support stumpage payment for energy wood.

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 kasvassa puuaineksen optimiallokaatio energia- ja ainespuuositteen 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 puuaines 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 sahateollisuuden sekä energiantuotannon jäännösarvo harvennushakkuista (ensi- ja myöhemmät harvennukset) ja nuoren metsän kunnostuksista saatavalle puulle.

- arvioida kuinka ainespuun minimilatvaläpimitan 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 nykyainsäädännön 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. Minimilatvaläpimitan lisäksi on selvitetty leimikkotekijöiden ja kuljetusetäisyyden vaikutusta puustamaksukykyyn. Latvaläpimitan vaikutus ainespuun saantoon; korjuu-, kuljetus-, kuorinta- ja haketuskustannuksiin; 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/maksukyvyyn määrittelyyn. Se antaa kuvan eri teollisuuden alojen ja lopputuotteiden kilpailukyvystä raaka-aineen suhteen.

Tuotteiden myyntihinta	
- alennus	
- myyntipalkkio	
- kuljetus	
<hr/>	
= Tuotteen nettohinta tehtaalla	
- muuttuvat kustannukset (paitsi puukustannukset)	
- kiinteät kustannukset	
- pääomakustannukset	
<hr/>	
= Jäännösarvo tehtaalla	
- kaukokuljetuskustannus	
- energiaosittien valmistus- ja keräilykustannus	
- hakkuukustannus	
<hr/>	
= Jäännösarvo kannolla	

Kuva 1. Jäännösarvon laskentamalli.

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. ekvivalenttihinta kilpailevan polttoaineen käyttöratkaisuun nähden.

Kaikkien energiatuotantolaitosten on oletettu olevan suunniteltuja kiinteän polttoaineen polttoon (ml. puu).

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

4. Tulokset

4.1 Johdanto

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.

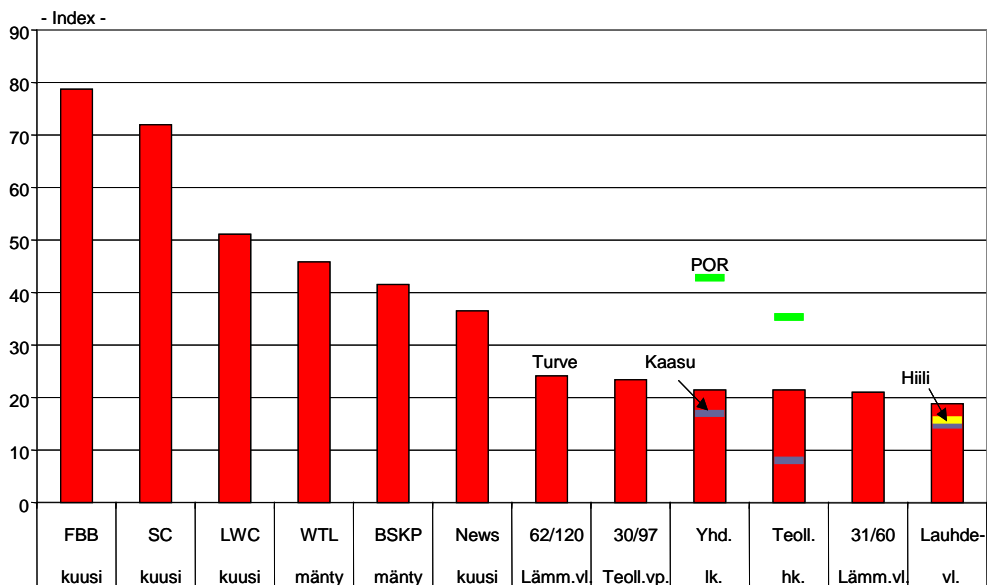
4.2 Yhteenveto

Metsäteollisuus antaa korkeamman jäännösarvon puulle kuin energiatuotanto kun vertailupolttoaineena on turve. Jos NMK ja ensiharvennusleimikoille saatavat energiapuun tuet huomioidaan vertailussa, parhaimman maksukyvyyn omaavien energiakäyttäjien jäännösarvo nousee samalle tasolle valkaistun havusellun kanssa.

Jos energiatuotannon vertailupolttoaineena on raskas polttoöljy, energiakäytön jäännösarvo kilpailee tasaveroisesti sanomalehtipaperin ja valkaistun havusellun kanssa. Tuet mukaanlukien jäännösarvo nousee korkeammaksi kuin LWC-paperilla.

Energiatuotannossa kuusen jäännösarvo on hieman alhaisempi kuin männyn jäännösarvo. Tämä johtuu kuusen pienemmästä tiheydestä ja korkeammista korjuukustannuksista. Analysoiduissa metsäteollisuustuotteissa kuusella on parempi jäännösarvo kuin männyllä.

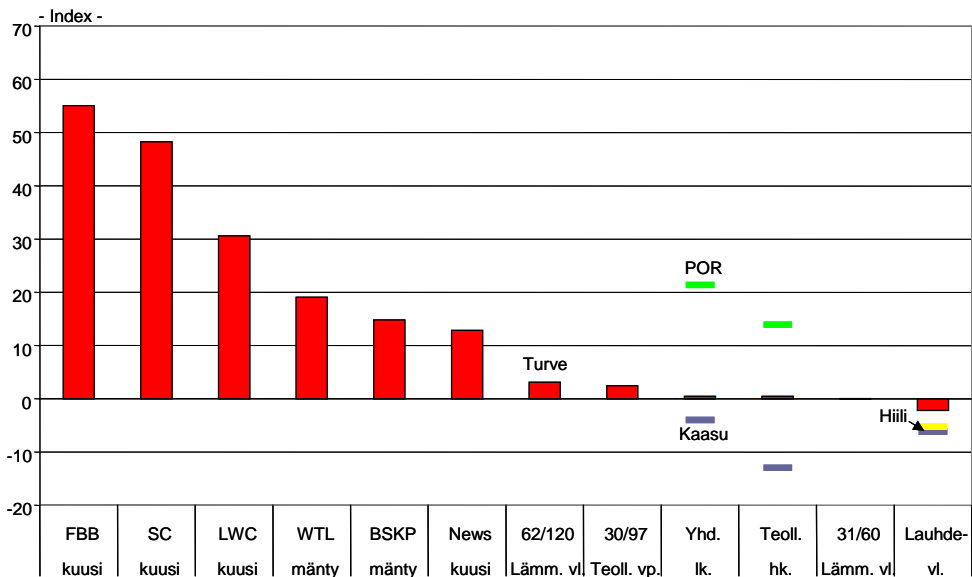
Merkittävän kantohintatason maksamiselle energiapuulle ei löydy perusteita jäännösarvoanalyysin perusteella.



Kuorellinen puu, mixed kuorinta. Ainespuun jäännösarvo laskettu kuitupuuosuudelle 7 cm:n minimilatväläpimitalla.

Energiatuotannon jäännösarvo laskettu mäntyensiharvennuksen korjuukustannuksilla. Etelä-Suomi.

Kuva 2. Aines- ja energiapuun jäännösarvo laitoksen pihassa.



Metsäteollisuuden kantohinta on laskettu ainespuuosuudelle ja energiatuotannon kantohinta energiapuuosuudelle.

Kuorellinen puu, mixed kuorinta. Laskettu ensiharvennukselta saatavalle kuitupuuosuudelle 7 cm:n minimi-latvaläpimitalla. Krsk harvesteri ja integroitu korjuu, Etelä-Suomi. Energiapuun tuet ei mukana.

Kuva 3. Aines- ja energiapuun jäännösarvo kannolla.

4.3 Rajanveto teollisuus- ja energiakäytön välillä

Minimilatvaläpimitan kasvattaminen lisää ainespuun korjuukustannuksia (korjattavan puuston kokonaismäärä pienenee) ja laskee energiapuun korjuukustannuksia (korjattava energiapuun määrä kasvaa), kun korjattavien runkojen määrä pysyy samana. Mäntyensiharvennusleimikoissa nettojäännösarvo (ilman energiapuun tukia) on korkeimmillaan 6 cm:n minimilatvaläpimitalla energiapuun korjuusta riippumatta, kun korjattavien runkojen määrä pysyy samana. Kuusien-siharvennuksissa pelkän ainespuukorjuun nettojäännösarvo (ilman energiapuun tukia) kasvaa minimilatvaläpimitan kasvaessa. Yhdistetyn aines- ja energiapuukorjuun korkein nettojäännösarvo saavutetaan 6 cm:n minimilatvaläpimitalla. Muissa harvennuksissa minimilatvaläpimitan pienentäminen nykyisestä kasvattaisi nettojäännösarvoa. Minimilatvaläpimitan nostaminen nykyisestä lisää met-

sänomistajan nettojäännösarvoa ensiharvennusleimikoissa, jos tuet otetaan huomioon. Tällöin kuitenkin koko kansantalouden saama nettojäännösarvo pienenesi.

Ainespuun minimilatväläpimitan muutos vaikuttaa valtakunnallisesti aines- ja energiapuun hakkuukertymiin seuraavasti: Nosto 7 cm:stä 10 cm:iin vähentäisi ainespuun kertymää nykyisillä ensiharvennusmäärillä $1,6 \text{ Mm}^3/\text{v}$. Samalla energiapuun kertymä kasvaisi $3,5 \text{ Mm}^3/\text{v}$ ja koko puuston yhteenlaskettu jäännösarvo ilman tukia pienenesi 21,5 MEUR.

Pientäminen nykyisestä 7 cm:stä 4 cm:iin lisäisi ainespuun kertymää nykyisillä ensiharvennusmäärillä $0,4 \text{ Mm}^3/\text{v}$. Energiapuun kertymä pienenesi samalla $0,9 \text{ Mm}^3/\text{v}$ ja koko puuston jäännösarvo ilman tukia kasvaisi 0,84 MEUR.

4.4 Puun laatuun perustuva hinnoittelu

Minimilatväläpimita vaikuttaa puun laatuun ja jäännösarvoon laitoksen pihassa vähän alle 10 cm:n läpimittaluokissa. Siten laatuun perustuvan hinnoittelun mahdollisuudet samasta leimikosta saatavalle kuitupuulle ovat rajalliset. Ensiharvennuspuun jäännösarvo laitoksella on kuiduttavassa teollisuudessa alhaisempi kuin muista harvennuksista saatavan puun jäännösarvo. Tämä johtuu pienemmästä tiheydestä ja muista kuituominaisuuksista. Korjuukustannusten huomioiminen kasvattaa ensi- ja muista harvennuksista saatavan ainespuun jäännösarvojen eroja. Jäännösarvo energiakäytössä ei riipu puuaineen ominaisuuksista, vaan energiapuun polttotekniikasta ja puupolttoaineen käsittelystä. Energiapuulla on laatuhinnoittelumahdollisuuksia, jotka perustuvat asiakkaiden segmentointiin ja paraslaatuisen hakkeen ohjaamiseen maksukykyisimpiin kohteisiin. Toisaalta metsähakkeen kustannusrakenne on herkkä kuljetusetäisyyden kasvulle.

4.5 Optimallokaation kehittäminen

Jäännösarvoanalyysin mukaan puun jalostus metsäteollisuustuotteiksi on aina kannattavampaa kuin energiakäyttö. Toisaalta nykyisillä energiapuun tuilla energiakäyttö kilpailee lähes tasavertaisesti ensiharvennuspuusta. Ensiharvennuksista saatavan ainespuun kysynnän kasvua rajoittaa pääasiassa teollisuuden

rakenne: ensiharvennuspuuta on tarjolla enemmän kuin nykyisellä tuotantorakenteella pystytään käyttämään. Toisaalta tarjonta ei saavuta kriittistä rajaa ensiharvennuspuun erilliskäsittelyyn perustuvan tuotannon aloittamiseksi. Nykytuilla ja nykyisellä puunhinarakenteella ensiharvennusrästien mobilisointi jää metsäteollisuuden kysynnän puuttuessa todennäköisesti suurelta osin toteutumatta. Ensiharvennus- ja energiakäyttötavoitteiden sekä optimiallokaation saavuttamiseksi tulisi puun hinnoittelurakennetta kehittää siten, että se ottaisi paremmin huomioon puun ominaisuudet ja jalostusarvon. Energiapuun kilpailukyky riippuu siitä, korvataanko sillä turvetta vai raskasta polttoöljyä. Raskasta polttoöljyä korvattaessa energiapuun jäännösarvo on lähes kaksinkertainen turpeen korvaamisen nähden. Toisaalta sellaisia kaupallisen mittakaavan kohteita, joissa raskasta polttoöljyä voitaisiin korvata puulla, on rajoitetusti. Jos energian hinta nousee (=> energiantuotannon jäännösarvo kasvaa ja metsäteollisuuden jäännösarvo pienenee), energiapuun korjuu myös muista harvennuksista saattaa tulla kansantaloudellisesti kannattavasti. Energiäteollisuuden jäännösarvon kasvu ei kuitenkaan siirry suoraan markkinahintoihin, vaan käypä hintataso riippuu kilpailevien polttoaineiden hinnoista.

4.6 Nykylainsäädännön ja tukipolitiikan vaikutus

Koko ensiharvennusleimikon korjuu energiapuuksi ei ole kannattavaa ilman tukia. Tukien kanssakin kokopuukorjuun nettojäännösarvo on alhaisempi kuin integroidun korjuun nettojäännösarvo. Energiapuun korjuu mäntyensiharvennuksilta on ilman tukia kannattavaa vain 6–8 cm:n minimilatvaläpimitoilla. Muilla läpimitoilla energiapuun korjuukustannukset ylittävät sen jäännösarvon. Energiapuun korjuu kuusiensiharvennuksilta ei ole kannattavaa ilman tukia. Energiapuun korjuutuet nostavat integroidun korjuun nettojäännösarvon pelkän ainespuun korjuun jäännösarvoa korkeammaksi kaikilla latvaläpimitoilla kuusen ja männyn ensiharvennuksilla. Nykytuilla ensiharvennuksilta saatavan energiapuun jäännösarvo kannolla lähestyy ainespuun jäännösarvoa havusellun tuotannossa, kun vertailupolttoaineena energiakäytössä on turve. Raskaaseen polttoöljyyn verrattaessa se ylittää ainespuun jäännösarvon havusellun tuotannossa.

4.7 Johtopäätökset

Harvennuspuu tulisi ensisijaisesti jalostaa metsäteollisuudessa. Nykytuilla ainespuukäyttö antaa aina paremman nettojäännösarvon kuin energiakäyttö, jos energialaitoksen ja sellutehtaan välinen kuljetusetäisyys on alle 120 km. Aines- ja energiapuun välinen rajanveto tulisikin ensisijaisesti tehdä kysyntäperusteisesti.

Energiapuun korjuu NMK:lta ja ensiharvennuksilta ei kannata ilman tukia. Energiapuun korjuutukien nostaminen parantaa energiapuun hankinnan kannattavuutta. Tukien nosto saattaa siirtää kuitupuuta energiakäyttöön, joten nykyinen käytäntö rajoittaa tuet ensiharvennuksiin sekä taimikonhoito- ja NMK-kohteisiin on perusteltu. Tukipolitiikalla ei pitäisi kuitenkaan tukea energiapuun kantohintaa.

Minimilatvaläpimittaa tulisi pienentää ensiharvennuksilla 6 cm:iin korjattavan puuston runkoluvun pysyessä samana. Minimilatvaläpimitan määrittelystä tulisi siirtyä valitsemaan ensiharvennuksilta korjattava puusto rinnankorkeusläpimitan mukaan => korjattavan puuston runkoluku ei muutu, vaikka minimilatvaläpimita muutettaisiin. Koko kansantalouden jäännösarvon optimoimiseksi männyn minimilatvaläpimita tulisi tällöin laskea 6 cm:iin. Myös kuusella minimilatvaläpimitan pienentäminen 6 cm:iin kasvattaisi koko leimikosta saatavaa nettojäännösarvoa/ha.

Puun hinnoittelua tulisi kehittää ottamaan paremmin huomioon puun jalostusarvo. Teollisuuden mäntyensiharvennuspuuhun kohdistama kysyntä saattaisi kasvaa, jos ensiharvennuskuidun hinta vastaisi paremmin sen laatua ja korjuukustannuksia. Kysynnän kasvu todennäköisesti lisäisi myös ensiharvennusleimikoista saatavan energiaositteiden tarjontaa.

5. Jatkosuunnitelmat

Projektin tuloksia käytetään JPMC:n asiakkaiden puu- ja energiahuollon optimoimiseen. Projektissa hankittua tietotaitoa ja kehitettyjä työkaluja kehitetään edelleen ja hyödynnetään muissa projekteissa.

Julkaisut ja raportit

Ohjausryhmätyöskentelyn yhteydessä projektin tuloksista on tehty useita väliraportteja. Projekti on yrityshanke, ja väliraportit ovat luottamuksellisia. Hankkeen tuloksia on esitetty suomalaisille metsäyrityksille seminaarimuodossa. Hankkeen yleisen kiinnostavuuden takia hankkeesta on tehty myös julkinen raportti. PDF-muotoista julkista raporttia voi tiedustella JPMC/Hannu Kivelä.

Kivelä, H. & Pihlajamäki, P. Rajanveto aines- ja energiapuun välillä. Loppuraportti. Vantaa 22.11.2001. 76 s. + liitt. 10 s. PDF.

Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjätverkostosta hakkeen tuottamisessa – PUUY15

Mikko Jäkälä
Koneyrittäjien liitto ry
Sitratie 7, 00420 Helsinki
Puh: (09) 5600 124, faksi (09) 5630 329
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 forestmachine- 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 (chipping and forestry) and for 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 hankkeesta.

Energiapuun markkinoita, kuten energiatoimitusten markkinoita yleisemminkin leimaa asiakkaiden toimitusvarmuudelle asettama korkea vaatimustaso. Toimitusvarmuuden takaaminen sekä asiakkaan vakuuttaminen toimitusvarmuudesta ovat usein pienyritykselle lähes ylivoimainen tehtävä. Yksinään toimivien Pk-yritysten on näin ollen vaikea kasvattaa markkinaosuuttaan tai edes säilyttää asemansa itsenäisenä toimijana.

Pieneten ja keskisuurten toimittajien mahdollisuudet kilpailla markkinaosuuksista hinnalla edes alueellisesti ja hetkellisesti ovat myös erittäin rajalliset.

Kilpailukykyä tuleekin hakea palvelukonseptin ja toiminnan sekä tuotteen korkean laadun kautta. Joustavan palvelukonseptin luomiseen yritysten ei kuitenkaan ole välttämätöntä laajentaa toimintaansa ja sitä kautta kasvattaa toiminnan riskitasoa vaan keinona voi toimia myös sopivien toisiaan täydentävien yritysten välinen yhteistyö tai liiketoiminnallinen yhteenliittymä.

Puuenergian voi perinteisen tukkuportaan lisäksi toimittaa käyttöpaikalle myös pk- yrittäjien varaan rakennettu organisaatio. Pk-yrittäjien muodostamalla organisaatiolla tarkoitetaan tässä metsäkoneyrittäjiä, hakkuriyrittäjiä ja kuljetusyrittäjiä. Näiden yrittäjien halua, kykyä ja uskottavuutta muodostaa energiapuuta toimittava organisaatio ei tiedetä, sillä he ovat perinteisesti toimineet ilman yritysten välistä tiedonvaihtoa tai yhteistoimintaa.

2. Tavoite

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

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

3. Projektin toteutus

Energiamarkkinoiden erikoisvaatimuksiin soveltuvia yritysyhteistyön muotoja selvitettiin 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 yritysyhteistoiminnalle asettamat rajoitteet.

Verkostoituneisiin yrityksiin perustuvan organisaatiomallin tavoitteena on hallita koko metsähakkeiden tuotantoketjua kannolta loppukäyttäjälle. Eri toimijaosapuolien toiminnalle asettamien vaatimusten, rajoitteiden ja toiveiden selvittämiseksi tehtiin seuraaville toimijatahoille markkinatutkimustyyppinen esiselvitys: Metsänhoitoyhdistykset, lämpölaitokset, hakeyrittäjät, energiapuun korjuuyrittäjät, metsäkoneyrittäjät.

Koko toimitusketjun yhtenäistämiseksi ja toiminnan koordinoimiseksi sekä informaation välityksen helpottamiseksi hakeyrittäjille laadittiin ISO-9002-pohjainen laatujärjestelmämalli. Vaikka laatujärjestelmät ovatkin yleistyneet 1990-luvun puolivälin jälkeen myös pk-yrityssektorilla, ei hakeyrittämiseen ja hakkeen toimituksiin soveltuvaa mallia ole toistaiseksi ollut olemassa. Metsäkoneyrittämiseen soveltuvia malleja on Suomessa ollut käytössä jo viime vuosikymmenen puolella. Mallit ovat kuitenkin toistaiseksi soveltuneet ainoastaan ainespuun korjuuseen. Hankkeessa päivitettiin myös metsäkoneyrittäjän laatujärjestelmämalli sisältämään energiapuun korjuun vaatimat erityisosiot. Mikäli yritysyhteistyötä harjoitetaan kiinteässä yhteistyössä (esimerkiksi markkinointiyhtiö) voidaan verkostolle luoda myös yhteinen ns. kokoava laatujärjestelmä.

Pk-yrittäjien muodostamiin verkostoihin perustuva liiketoiminta on alueellisesti rajoittunutta, joten haasteena on löytää rajatulta maantieteelliseltä alueelta riittävä määrä toiminnasta kiinnostuneita funktionaalisesti toisilleen soveltuvia yrityksiä, jotka ovat valmiita sitoutumaan toimintaan tehokkaan yhteistoiminnan vaatimusten mukaisesti.

4. Tulokset

4.1 Liiketaloudellinen mallinnus

Verkostoitumisen lähtökohta

Nykyaikaisen yhteiskunnan toiminnan ytimenä ei ole kaikkien kilpailu kaikkia vastaan, vaan kilpailu tapahtuu organisaatioiden välisenä. Yhteistoimintaverkot syntyvätkin usein tilanteessa, jossa markkinoiden asettamat vaatimukset ovat yksittäiselle yritykselle liian suuret. Ongelman tiedostavat yritykset yhdistävät resurssinsa pyrkien samalla keskinäisen työnjaon, erikoistumisen ja yhteistyön avulla luomaan sen kaltaista kilpailukykyä, mihin ko. yritykset eivät yksittäisinä pystyisi. Yritysyhteistyön syvyyteen vaikuttavat paitsi verkostoon kuuluvat yritykset itse niin myös verkoston yhteistyökumppanit ja asiakkaat. Yritysverkoston tiiviyyden aste riippuu voimakkaasti sen saamista tai tavoittelemista toimitussopimusten laajuudesta ja laadusta.

Tuotannon kokonaiskustannukset koostuvat sekä tuotanto- että vaihdantakustannuksista. Transaktiokustannusteorioiden perusväittäjä on, että tuotanto organisoituu siten, että kokonaiskustannukset tulevat mahdollisimman pieniksi ja, että erilaisilla organisaatoratkaisuilla on vaikutusta lähinnä vaihdantakustannuksiin. Markkinoilla vaihdantakustannukset johtuvat muun muassa tarjolla olevien mahdollisuuksien selvittämisestä, laadun ja toimitusten varmuuden valvonnasta sekä olosuhdemuutoksista sopimuksen solmimisen ja hyödykkeen toimittamisen välillä. Kustannuksia voidaan alentaa huomattavassa määrin, siirtämällä vaihdantaa organisaation sisälle. Samalla organisaation sisälle kerääntyy kuitenkin myös sisäisiä vaihdantakustannuksia. Organisaation kasvu lisää valvonta- ja byrokriakustannuksia, heikentää kannustimia omakohtaisen työn tuottavuuden kasvulle. Edullisimpana organisaatiomuotona onkin pidetty organisaatiota, jossa markkinoiden epävarmuuden aiheuttamien vaihdantakustannusten ja sisäisen

vaihdannan aiheuttamien kustannusten summa on pienin. Edullisin organisaatiomuoto riippuu oleellisesti vaihdantaympäristön ja vaihdannan kohteina olevien tuotteiden ominaisuuksista.

Verkostoituminen prosessina

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. Yleisesti verkoston katsotaan käyvän läpi seuraavat vaiheet. (Robbins 1994)

Ryhmänmuodostusvaihe, jossa ryhmä on juuri tutustunut toisiinsa ja ensimmäisiä yhteisiä kokouksia ollaan pitämässä. Olennaista on se, että kaikille ryhmän jäsenille selviää yhteinen hyväksyttävä tavoite, jolloin kukin ryhmän jäsen näkee myös omakohtaisen hyödyn todennäköiseksi.

Myrskyvaihe on käsillä silloin, kun ryhmän jäsenet hyväksyvät ryhmän olemassaolon ja näkevät itsensä sen jäsenenä, mutta eivät hyväksy sen taholta tulevaa kontrollia.

Normienmuodostusvaiheessa ryhmän jäsenten väliset suhteet kiinteytyvät ja ryhmäkoheesio lisääntyy. Muodostetaan käyttäytymisnormit ja -säännöt, yhteisen toiminnan perustaksi.

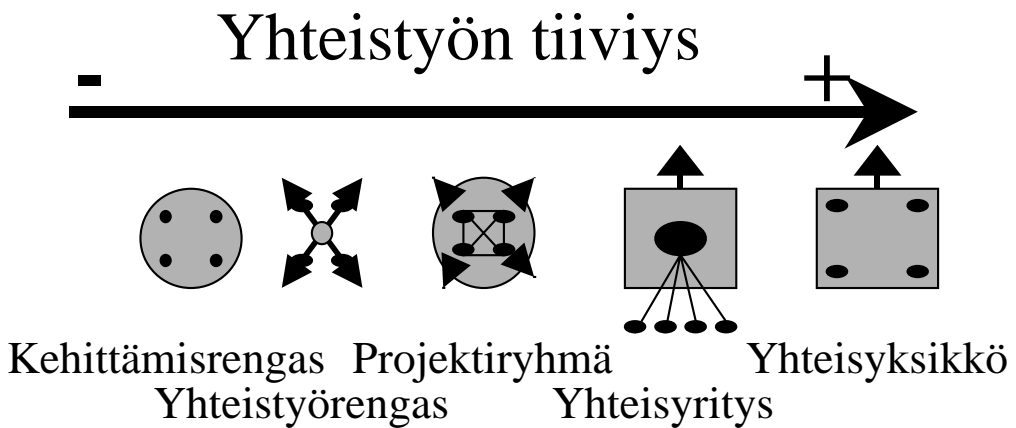
Toimintavaiheessa ryhmärakenne on muodostunut ja ryhmän jäsenet ovat löytäneet paikkansa ryhmässä. Ryhmän jäsenet suuntaavat energiaansa varsinaiseen toimintaan.

Mahdolliset verkostoitumismallit

Yhteistyön juridinen sitovuus ja muotomääräisyys voi vaihdella löyhästä liitosta erilaisin sopimuksin formalisoidun liiton kautta yritysjärjestelyihin. Yhteistyö on kuitenkin aina enemmän tai vähemmän henkilöiden välistä toimintaa, jolloin yhteistyötä ei voida rakentaa pelkästään sopimusten varaan vaan henkilökohtaiset ja liiketoiminnalliset sidokset ovat yhteistyön lähtökohta, jolloin sopimukset ja yritysjärjestelyt on nähtävä keinona selustan turvaamiseen.

Yhteistyömalleja:

1. Kehittämisenrenkas
2. Yhteistyörenkas
3. Projektiryhmä
4. Yhteisyritys
5. Yhteisyksikkö.



Kuva 1. Yhteistyön mallit voidaan jakaa liiketoiminnallisen ja verkostojohtamisen ulottuvuuksien mukaan viiteen pääryhmään seuraavasti.

Kehittämisenrenkas on pienyritysten yhteistyömalli, jossa joukko yrittäjiä koontuu ja voi nostaa esille erilaisia ongelmia ja kehittämiskohteita. *Liiketoimintaulottuvuuteen* liittyviä konkreettisia panostuksia ei kehittämissrenkaassa yleensä tehdä. *Verkostojohtamisen* ulottuvuudessa yhteistyö on epävirallista ja päätöksenteko on luonteeltaan demokraattista.

Yhteistyörenkaan toiminnassa 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 kukin parhaansa mukaan omassa liiketoiminnassaan.

Liiketoimintaulottuvuudella yhteistyörengas on sekä työnjaon että strategisen intensiteetin suhteen alhaisella tasolla. Työnjakoa ei tapahdu ja yhteistyö toteutuu pelkästään operatiivisella tasolla, jolloin myös yhteistyön tavoitetaso ei ole kovinkaan korkea, eivätkä mahdolliset hyödyt nouse strategisen tason hyödyiksi. Hyötyjen arviointi, niiden toteutuminen ja yhteistyön aikaansaaminen on kuitenkin helpompaa kuin vaativammassa malleissa. Tästä mallista yhteistyö voi kehittyä työnjaon lisäämisen ja strategisen intensiteetin nostamisen suuntaan. *Verkostojohtamisen* suhteen yhteistyörengas on useimmiten löyhä liitto, jolle luonteenomaista on demokraattistyyppinen päätöksenteko ja kohtalaisen löyhät sopimuskelliset siteet. Joissain tapauksissa formaalisuutta joudutaan kuitenkin lisäämään aina yhtiöjärjestelyihin asti. Päätöksentekoa ei toteuteta hierarkkisesti, sillä millään yrityksellä ei ole ”vahvan miehen” asemaa. Konsensus-tyyppinen päätöksentekokaan ei ole ryhmälle elintärkeää, sillä ryhmä ei kaadu, vaikka kaikille sopivia ratkaisuja ei saataisikaan aikaiseksi. Yhteistyörengas voi elää ja muuntua myös kokoonpanoltaan jatkuvasti ilman, että sen toiminta olisi välttämättä uhattuna.

Yhteistyörengas on usein kyse tiettyjen kriittisten kynnysten ylittämisestä, joita yritykset eivät yksin toimiessaan pystyisi ylittämään. Yhteistyörengas toiminnan eräs toiminnan keskeisimmistä periaatteista on, että kunkin yrityksen tulee pärjätä omillaan ja se, että toinen menestyy paremmin kuin toinen ei saa vaikuttaa ryhmän toimintaan. Merkittävimpänä ko. mallin onnistumisedellytyksenä on se, että yritykset pääsevät ennen yhteistyön aloittamista sopimukseen yhteisen resurssin käyttö ja jakoperiaatteista.

Projektiryhmällä on selvä työnjako ja yhteiseksi koettu liiketoiminta. Kukin yritys markkinoi ja edustaa ulospäin yhteiseksi kokemaansa liiketoimintakokonaisuuksia, joten projektiryhmä on edellä esitettyjä vaihtoehtoja strategisemmalla tasolla. *Liiketoimintaulottuvuudella* projektiryhmä sijoittuu työnjaon osalta erittäin korkealle, mutta myös strateginen ulottuvuus on voimakasta. Projektiryhmän perusmalli on luonteeltaan enemmän konsensus kuin demokratia: erikoistuminen ja työnjako aiheuttaa sen, että enemmistö ei voi päättää strategiasta ja tavoitteista, koska kaikkia yrityksiä tarvitaan.

Usein alkuoletuksena on, että kohteeksi määritelty asiakasryhmä on kiinnostunut ostamaan kokonaisuuksia ja että projektiryhmä on yhdessä kilpailukykyisempi kuin yritykset erillisinä toimittajina ja että projektiryhmä on kilpailukykyisempi kuin hierarkia eli isompi yritys, jolla on tarjottavanaan yksin sama palvelukokonaisuus.

Yhteisy yrityksessä erot aikaisemmin esitettyihin malleihin ovat siinä, että yhteisy yrityksen panostukset ovat strategisia, riskipitoisia, uutta luovia ja vasta pitkällä tähtäimellä hyödyksi realisoituvia. Yhteisy ritys sijoittuu *liiketoimintaluottuvuudeltaan* strategisen intensiteetin ääripäähän. *Verkostojohtamisen* suhteen malli on hyvin formaalinen. Yhteisy yrityksessä potentiaaliset hyödyt ovat moninaiset, toisilta oppimisen, kustannusten jaon, synergiaetujen saavuttamisen kautta aina uuden liiketoiminnan muodostamiskykyyn, riskin jakamiseen ja suurempaan uskottavuuteen asti.

Yhteisy yksikkö on pk-yritysten yhteistyömalleista kaikkein formaalisin ja sidoksiltaan tiukin. Toimintamuodossa yhteistyöyritykset perustavat itselleen kuoriyrityksen niin, että kaikki vaihdanta ja informaatiovirta yrityksissä ulospäin tapahtuu tämän kuori-yrityksen nimissä. Kyse ei kuitenkaan ole osakeyhtiö lain mukaisesta fuusiosta, sillä kuori-yhtiö ei omista yksikköön kuuluvia yrityksiä vaan päinvastoin. Ko. mallissa yritykset eivät kuitenkaan sulaudu toiminnallisesti yhdeksi kokonaisuudeksi vaan ovat kuori-yrityksen sisällä erikoistuneita ja yrittäjävetoisia yksiköitä.

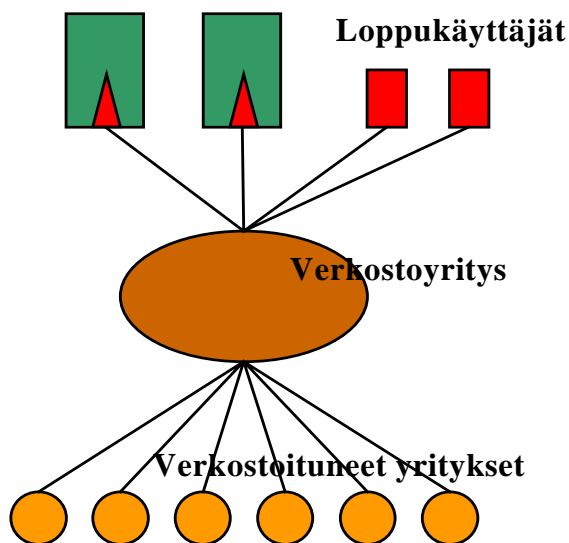
Liiketoiminnalliset järjestelyt

Jos yritys yhteistyössä päädytään kiinteään järjestelyyn, on tavallista, että yhteistyötahot perustavat yhteisy yrityksen. Yhteisy ritystä perustettaessa on ensimmäisenä päätettävä tulevan yrityksen yhtiömuoto,

1. osakeyhtiö
2. osuuskunta tai
3. työyhteenliittymä.

Osuuskuntaa perustettaessa on syytä huomioida, että osuuskunnalla on demokraattinen hallinto. Siinä noudatetaan yksi ääni per jäsen -periaatetta. Toisen asteen osuuskunnissa, joissa jäsenet ovat osuuskuntia tai muita yhteisöjä, tästä periaatteesta voidaan kuitenkin poiketa.

Työyhteenliittymät ovat tyypillisiä maarakennusalalla. Työyhteenliittymässä yhteistyöyritykset sopivat asiakkaan kanssa tietyn urakan tms. toteuttamisesta ja se sopineekin paremmin juuri tämän tyyppisiin hankkeisiin.



Kuva 2. Verkostoituneet yrittäjät perustavat yhteisomistukseen markkinointi- ja/tai hankintayrityksen, joka on yhtiömuodoltaan osuuskunta tai osakeyhtiö. Yhtiön tarkoituksena on koordinoida verkoston toimintaa ja se hoitaa kaikki verkostoa koskevat neuvottelut ja sopimukset. Verkostoon kuuluvien yritysten määrä ei ole rajattu, vaan se voi ottaa myös uusia yhteistyöhaluisia yrityksiä mukaan toimintansa laajentuessa ja kehittyessä.

4.2 Eri toimijaosapuolten asettamat reunaehdot

Yhteistyön lähtökohdaksi tulee olla paitsi verkostoituneiden yritysten omaa toimintaa koskeva eduntavoittelu myös toiminnan mahdollistava asiakashyöty. Verkosto, jonka tavoitteena on toimia hakkeen tuottajana ja palveluntarjoajana jokaisessa tuotantoketjun vaiheessa kannolta loppukäyttäjälle joutuu toimimaan useiden osapuolten kanssa, joiden tarpeiden huomioiminen on onnistuneen toiminnan perusedellytyksiä

Näiden tarpeiden kartoittamiseksi toteutettiin kyselyihin perustuva markkinatutkimus. Kyselylomake lähetettiin kaikkiin metsänhoitoyhdistyksiin, 231 lämpölaitokselle, 219 metsäkoneyritykselle ja 48 koneyrittäjälle, jotka työskentelivät haketuksen ja energiapuun korjuun parissa. Verkoston muodostavaan yritysryhmään voi kuulua edellä mainittujen koneyritysten lisäksi myös kuljetusalan yrittäjiä.

Metsänhoitoyhdistykset

Kyselylomakkeessa 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. hinta, 25 mainintaa. Hakkutähdehakkeelle vaadittiin kantohintaa sekä kokonaisuudessaan parempaa käyttöpaikkahintaa metsähakkeelle.
3. hakkeen toimitusorganisaatio, 23 mainintaa. Metsähakkeelle toivottiin luotettavaa, paikallista ja itsenäistä toimitusorganisaatiota.

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:

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.

Myös toimitusorganisaation ominaisuuksien arvostuksen kohdalla oli nähtävissä selvää vaihtelua laitosten kokoluokan mukaan. Pienet ja keskisuuret (alle 10 MW:n) käyttäjät arvostivat erityisesti toimitusvarmuutta, joka nähtiin jopa käyttöpaikkahintaa tärkeämpänä ominaisuutena. Suurten laitosten kohdalla nousivat toimitusvarmuuden ohii hallitseviksi tekijöiksi toimitusorganisaation

toimiva laatujärjestelmä ja käyttöpaikkahinta. Suurimmassa kokoluokassa arvostettiin myös organisaation kykyä tarjota hakkeen lisäksi muuta polttoainehuoltoa, kuten turvetoimituksia.

Yrittäjät

Kyselyyn vastanneiden yrittäjien liikevaihto vaihteli huomattavasti. Osalla vastaajista toiminta energiapuun tuottamisen koneurakoinnissa muodosti yrityksen pääasiallisen toimialan, osalla taas toiminnan pääpainona olivat muut koneyrittämisen alat. Aikaisempaa kokemusta yrittäjien välisestä yhteistyöstä oli maatalouskoneiden yhteisomistuksesta, koneyhteistyöstä, lämpöyrittämisestä renkaassa ja hakettajien välisestä yhteistyöstä sekä erilaisista aliurakoinnin muodoista.

Erilaisista yhteistyömuodoista yrittäjiä kiinnostivat selvästi eniten markkinointiin ja hankintaan liittyvä yhteistyö. Myös toimitusvarmistuksia ja yhteistä toiminnan ohjausta ja suunnittelua kohtaan tunnettiin mielenkiintoa erityisesti hakeyrittäjien piirissä. Hakeyrittäjät olivat yleensäkin hieman metsäkoneyrityksiä kiinnostuneempia yritysyhteistyön kehittämisestä puuenergian toimittamiseen liittyen, mikä on sinänsä luonnollista, sillä toistaiseksi vain harvat metsäkoneyritykset laskevat puuenergian korjuun yrityksensä ydinliiketoiminta-alueeseen.

5. Tulosten hyödyntäminen ja projektin jatkosuunnitelmat

Projekti on vaiheessa, jossa liiketoiminnalliset- ja laatujärjestelmämallit ovat selvillä.

Tehtyjen selvitysten perusteella laaditaan koneyritysten käyttöön myös ns. verkostoitusopas, joka sisältää perustietoa verkostoitumisen lähtökohdista, keinoista ja rajoitteista. Yhteistyön järjestämisen työkaluina toimivia puuenergia-alan sopimusmalleja on työstetty koko tuotantoketjun tarpeisiin yhteistyössä hankkeessa mukana olevien Metsäalan Kuljetusyrittäjät ry:n, Suomen Kaukolämpöyhdistyksen ja MTK:n kanssa. Valmistuvia sopimusmalleja tullaan levittämään paperiversioina sekä sähköisessä muodossa.

Laatujärjestelmät ovat jatkuvasti yleistyneet metsäalalla. Metsäteollisuuden jalostusprosessit ovat kokonaisuudessaan laatujärjestelmien piirissä ja puunkorjuussakin koneyrittäjien laatujärjestelmiä on sovellettu 90-luvun puolivälistä alkaen. Tulevaisuudessa suurin osa asiakkaista edellyttää metsäalan konepalvelua tarjoavilta yrityksiltä toimivan laatujärjestelmän olemassaoloa. Myös suora-toimituksista vastaavilla yritysillä laatujärjestelmän merkitys tulee korostumaan jatkossa, sillä myös lämpölaitokset ovat kiinnostuneita raaka-ainetoimittajan toiminnan ja tuotteen laadusta. Yrityksen laatujärjestelmä on keino vakuuttaa asiakas riittävän korkealaatuisesta ja luottavasta toiminnan tasosta sekä osoittaa yrityksen sitoutuminen laadukkaaseen toimintaan.

Energia-alan pk-sektorin toimijoilla ei ole toistaiseksi ollut olemassa laatujärjestelmämallia ja toisaalta myöskään metsäkonealan laatujärjestelmät eivät ole sisältäneet energiapuun korjuuseen liittyviä ohjeistuksia. Hankkeessa valmisteltuja laatujärjestelmämalleja tullaan markkinoimaan yleiseen käyttöön. Metsäkonealan yrityksistä arviolta noin 500:ssa on tällä hetkellä tehtynä laatujärjestelmä. Lisäksi voidaan olettaa toisen 500 yrityksen ottavan käyttöön laatujärjestelmän seuraavan 2–3 vuoden kuluessa.

Mikäli käytännön kokemukset osoittautuvat toimiviksi on yrittäjävetoisia toimintamalleja tarkoitus monistaa yleisesti käytössä olevaksi toimintavaihtoehtoksi. Yrittäjätverkostoja on mahdollista hyödyntää myös muilla koneyrittämisen toimialoilla. Monistamisen apuvälineeksi on kehitetty ja kehitetään vuoden 2002 aikana mm. seuraavia yritysverkoston rakentamisen apuvälineitä:

- Hakeyrittäjän laatujärjestelmäkäsikirja (kirja / CD-ROM)
- Metsäkoneyrittäjän laatujärjestelmäkäsikirja (kirja / CD-ROM)
- Energiapuun hakkuu ja metsäkuljetus – konetyön korjuuohjeisto (kirja)
- Koneyrittäjien verkostoitumisopas (kirja)
- Yrittäjäsopimukset metsäalalla – opas (kirja)
- Puuenergia-alan sopimusmallit (paperiversio / CD-ROM).

Julkaisut ja raportit

Jäkälä, M. 2002. Työkaluja yrittäjävetoisten toimintamallien tarpeisiin. Koneyrittäjä 2/2002.

Jäkälä, M. 2001. Koneyrittäjät ja metsänhoitoyhdistykset: Halua ja valmiuksia yhteistyöhön löytyy. Koneyrittäjä 4/2001, s. 64–66.

Jäkälä, M. 2001. Hakeyrittäjien kiinnostusta yritys yhteistyöhön selvitettiin. KL-Uutiset 5/2001, s. 15–17.

Jäkälä, M. 2001. Lämpölaitokset toivovat lisää suoria yrittäjätöitä ja oheispalveluja. Koneyrittäjä 3/2001.

Jäkälä, M. 2000. Verkostoitumalla kilpailukykyä hakeyrittämiseen. KL-Uutiset 6/2000, s. 16–18.

Jäkälä, M. Tutkimus- ja demonstraatiohanke yrittäjäverkostosta hakkeen tuottamisessa – PUUY15. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. Symposium 216. S. 215–230.

Mäntynen, E. 2001. Yritys yhteistyöllä lisää kilpailukykyä PK- sektorille. Koneyrittäjä 1/2001.

Kuusisto, K., Jäkälä, M. & Hirvikoski, T. 2002. Hakeyrittäjän laatujärjestelmäopas. Koneyrittäjäjulkaisut 21.

Kuusisto, K., Hirvikoski, H. & Jäkälä, M. 2002. Metsäkoneyrittäjän laatujärjestelmäopas. Koneyrittäjä Julkaisut 22.

Ylimartimo, M. & Jäkälä, M. 2002. Energiapuun hakkuu ja metsäkuljetus – Kone työn korjuuohjeisto. Koneyrittäjä, Julkaisut 20.

Kirjallisuus

Kalliomaa-Puha, L. 1995. Kielletyt kartellit ja hyödyllinen yhteistyö. Lakimiesliiton kustannus.

Lahti, A. 1983. Yrityksen kilpailustrategia. Ekonomia-sarja. Weiling+Göös.

Ollus, M., Ranta, J. & Ylä-Anttila, P. 1998. Verkostojen vallankumous. Sitra nro. 202.

Ollus, M., Ranta, J. & Ylä-Anttila, P. 1998. Yritysverkostot – kilpailua tiedolla, nopeudella ja joustavuudella. Sitra 201.

Ollus, M., Lovio, R., Mieskonen, J., Vuorinen, P., Karko, J., Vuori, S. & Ylä-Anttila, P. 1990. Joustava tuotanto ja verkostotalous. Sitra nro. 190.

Robbins, S. P. 1994. Management. 5th ed. Prentice Hall International. Inc. Englewood Cliffs.

Sakki, J. 2001. Tilaus-toimitusketjun hallinta: logistinen b to b -prosessi. Jouni Sakki Oy.

Sangrove, K. 1996. The Complete Guide to Business Risk Management. Gower Publishing Limited.

Vesalainen, J. P. 1996. Yritysyhteistyön malleja – käsikirja yhteistyön edistäjille. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 18/1996.

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 was 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 were described and evaluated. The most promising method was tested. The project ends at September 2002.

1. Tausta

Irtohakkuutähteen metsäkuljetus tehdään perinteisellä tai laajennetulla kuormatilalla varustetulla kuormatraktorilla ja tavallisella tai tähän tarkoitukseen suunnitellulla hakkuutähdekouralla. Menetelmässä ongelmana on ollut kuljetusmäärän määrittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksen maksatuksen perusteeksi. Käytännössä on arvioitu yrittäjittäin kuorman keskikoko ja yrittäjä on ilmoittanut leimikoittain ajetut kuormat. Näin on saatu arvio leimikoittain kuljetetusta hakkuutähteen määrästä. Tämän määrän perusteella yrittäjälle on maksettu ennakkomaksu. Haketuksen jälkeen määritetyn määrän perusteella on sitten tehty tasauslasku.

Tässä 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.

2. Tavoite

Projektin alkuperäiseksi tavoitteeksi asetettiin käytäntöön soveltuvan hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittausmenetelmän kehittäminen. Menetelmän tuli perustua kertamaksatukseen, ja se ei saisi sisältää pitkää viivettä työn suorituksen ja maksun määrittämisen välillä. Lisäksi menetelmän oli sovelluttava urakka-työhön ja oltava oikeudenmukainen.

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

3. Toteutus

Projektin aluksi kuvattiin vaihtoehtoisia hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän määrittystapoja ja tarkasteltiin niiden soveltuvuutta hakkuutähteen kuljetusurakointiin. Edellisen perusteella kehitettiin menetelmä, jonka projektin johtoryhmä hyväksyi testattavaksi. Menetelmää testattiin kehitetyllä simulointimallilla.

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuotosperusteiden määrittämiseksi kerättiin aikatutkimusaineisto neljältä koneelta yhteensä parilta kymmeneltä työmaalta touko–syyskuussa 2001.

4. Tulokset

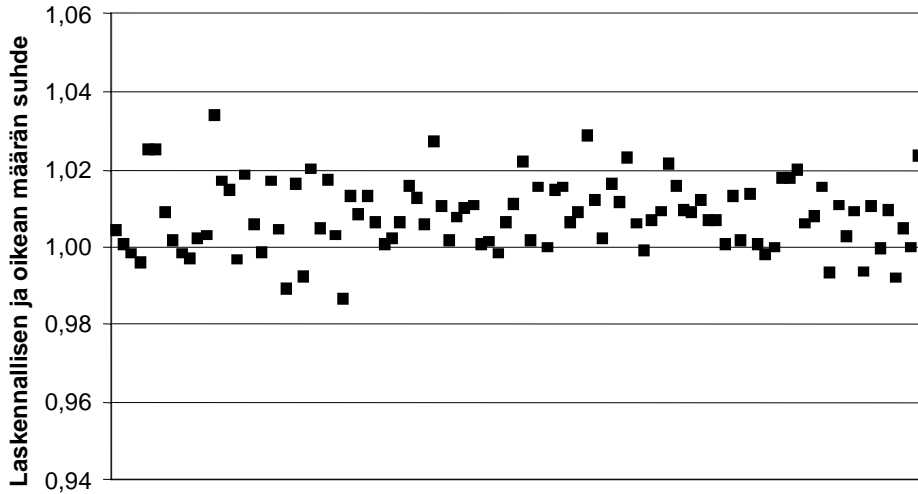
4.1 Hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaus

Hankkeessa kehitettiin hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaukseen liukuvaan keskiarvoon perustuva menetelmä, jossa hakkuutähteen metsäkuljetuksen päätyttyä tehdään vain kertamaksatus. Menetelmä perustuu yrittäjän tai kuljettajan ilmoittamaan työmaakohtaiseen kuormalukuun ja liukuvaan kuormakoon keskiarvoon. Ilmoitetun kuormaluvun ja liukuvan kuormakoon tulona saadaan työmaan hakkuutähteen määrä, jota käytetään maksatuksen perusteena.

Menetelmässä liukuva kuormakoon keskiarvo lasketaan esimerkiksi viimeisten viiden ns. kontrollihaketuksessa todetun kuormakoon keskiarvona. Kontrollihaketus tehdään satunnaisesti esimerkiksi 1–10 työmaan välein. Näillä työmailla hakkuutähteen haketus tehdään niin pian hakkuutähteen metsäkuljetuksen jälkeen kuin mahdollista, jotta raaka-aineessa ei ehdi tapahtua määrään vaikuttavia muutoksia.

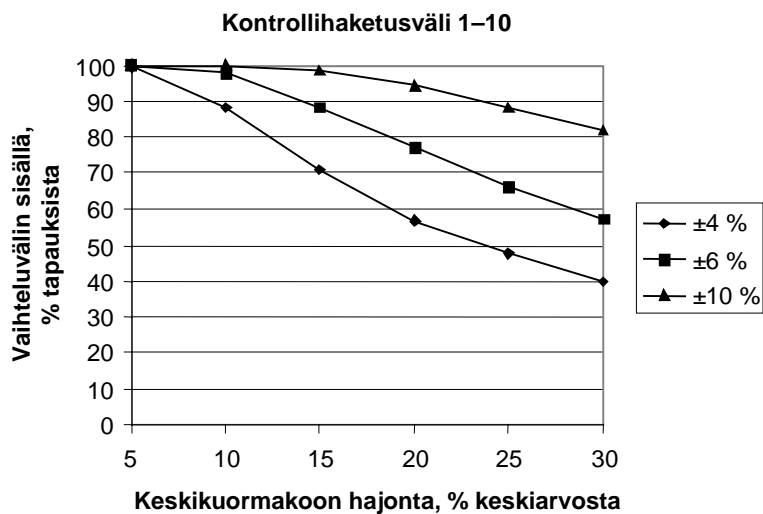
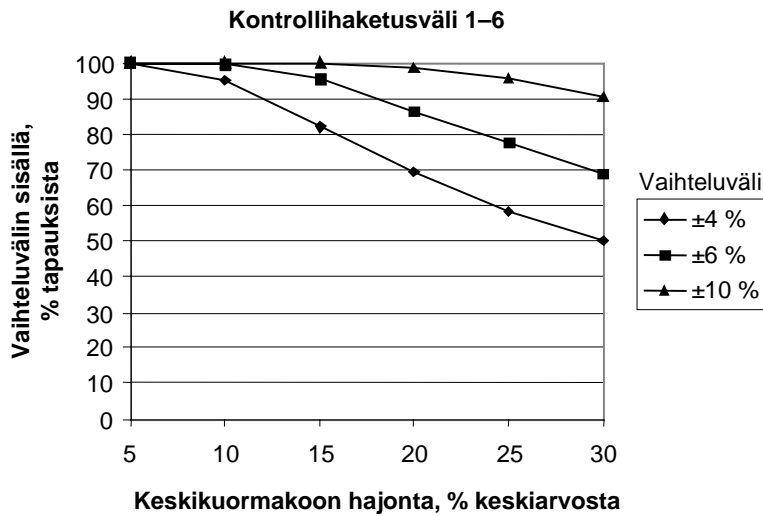
Menetelmä ei ole herkkä työmaakohtaisesti ilmoitetun kuormaluvun oikeellisuudelle (kuva 1), kun vain kontrollihaketuskohteiden valinnassa toteutuu satunnaisuus.

Kuormaluku satunnaisesti 0–10 % todellista suurempi
Havaintojen ka. 1,008

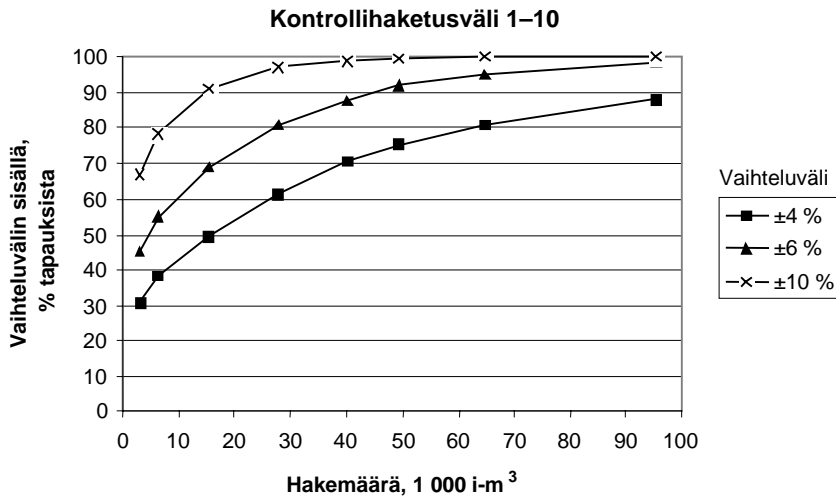


Kuva 1. Laskennallisen hakemäärän ja oikean hakemäärän (=1,00) suhde työmaakohtaisen kuormaluvun ollessa todellista suurempi. Jokainen piste tarkoittaa sellaista aineistoa, johon sisältyy 10 kontrollihaketusta ja kontrollihaketus on tehty satunnaisesti 1–10 työmaan jälkeen. Kullakin työmaalla kuormien lukumäärä vaihtelee satunnaisesti välillä 6–50.

Menetelmän tarkkuus riippuu ensisijaisesti kontrollihaketuksin määritettyjen keskiakuormakokojen hajonnasta työmaitten välillä (kuva 2). Samalla kontrollihaketustiheydellä päästään pienemmällä keskiakuormakokojen hajonnalla parempaan tarkkuuteen kuin suuremmalla hajonnalla. Mitä suurempaa konekohtaista hakemäärää menetelmällä mitataan, sitä luotettavampi on menetelmän antama tulos (kuva 3).



Kuva 2. Menetelmän tarkkuus kahdella kontrollihaketuskäyriä. Kun kontrolliväli on 1–n, tehdään kontrollihaketus satunnaisesti tällä välillä eli keskimäärin kontrollihaketuskäyri on $(1 + n)/2$. Vaihteluväli tarkoittaa sitä, että hakkuutähteen määrän kokonaisvirhe on vaihteluvälin ilmoittamissa rajoissa. Hakemääränä laskennoissa on käytetty noin 40 000 i-m³:ä. Koska hakemäärä on kutakuinkin vakio, on eri kontrollihaketuskäyriä eri määrä kontrollihaketuksia seuraavasti (kontrollihaketuskäyri ja kontrollihaketusten lukumäärä): 1–6 ja 21, 1–10 ja 13. Liukuvan keskikuormakoon laskennassa on käytetty viittä viimeistä kontrollihaketuksessa todettua keskikuormakokoa.



Kuva 3. Esimerkki hakemäärän vaikutuksesta kehitetyn hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittausmenetelmän tarkkuuteen. Laskennoissa keskikuormakoon hajontana on käytetty 15 %:a, työmaan kuormaluku on satunnaisesti 6–50 ja liukuva keskiarvo on laskettu viiden viimeisen kontrollihaketuksessa todetun keskikuormakoon perusteella

Menetelmää sovellettaessa kuormakoko on määritettävä aina konekohtaisesti. Keskikuormakoon hajontaa on seurattava ja kontrollihaketusväliä muuttamalla pyrittävä riittävään tarkkuuteen.

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.

Kehitetyn työsuorituksen määritysmenetelmän 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.

4.2 Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuotosperusteet

Tulosten analysointi on loppuvaiheessa ja tulokset tullaan julkaisemaan Metsätehon raporttina syksyllä 2002.

5. Tuloksien hyödyntäminen

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

Projektissa tuotettuja hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuotosperusteita voidaan hyödyntää urakointiperusteita määritettäessä.

6. Jatkotoimet

Hanke on loppuraportointivaiheessa ja päättyy alkusyksystä 2002.

Julkaisut

Rieppo, K. Hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaus. Metsätehon raportti 129. 28.2.2002. 14 s.

Esiselvitys verkkoliiketoiminnan mahdollisuuksista Suomen energiapuumarkkinoilla – PUUY23

Jaakko Jokinen, Anna Mälkönen & 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.

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)yritysten 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 oli 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:

- määrittää energiapuumarkkinoiden nykyinen rakenne ja toimijat sekä arvioida tulevaisuuden markkinarakennetta eri skenaarioissa
- arvioida verkkoliiketoiminnan vaikutusta puupolttoainemarkkinoihin 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 ylläpitokustannukset) absoluuttisesti ja suhteessa arviolta saavutettavan toiminnan volyymiin
- kartoittaa potentiaalisia verkkoliiketoimintamallin rakentamiseen ja ylläpitoon osallistuvia partnereita ja sponsoreita.

3. Toteutus

Projekti toteutettiin JP Management Consultingin toimesta läheisessä yhteistyössä Suomen Kaukolämpöyhdistyksen, Suomen Kuntaliiton ja Koneyrittäjien liiton kanssa. Projektin ohjausryhmään kuului lisäksi edustajia Tekesistä, Puuenergian teknologiaohjelmasta, Puuenergia ry:stä ja Tapiosta.

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

Puupolttoainemarkkinoiden kehitystä tarkasteltiin eri skenaarioissa ja niiden avulla arvioitiin verkkomallin vaikutuksia lähinnä hankinnan arvoketjun ja kuljetusmatkojen kustannuksiin. Mallin vaikutusten arvioinnissa keskityttiin urakoitsijoiden toimintaympäristöön kehittämiseen (toimituskohteiden sijainti suhteessa lähteisiin, lisääntyvät toimintamahdollisuudet, toiminnan tehostuminen) ja sitä kautta saataviin taloudellisiin hyötyihin.

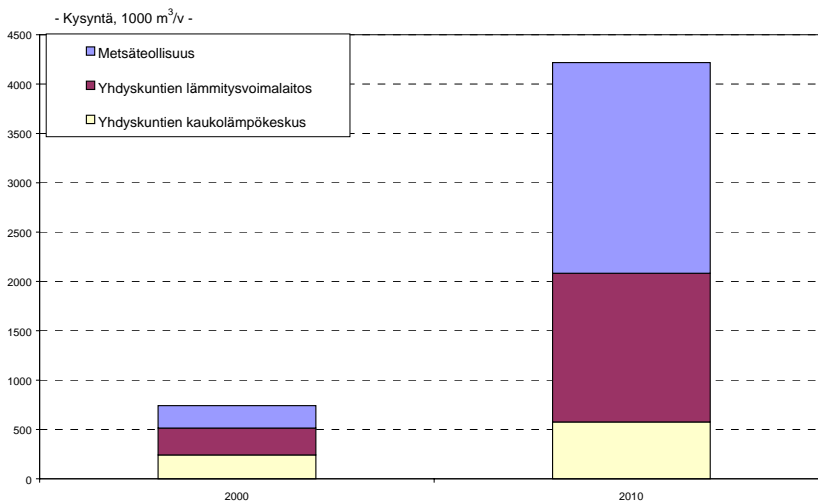
4. Tulokset

4.1 Energiapuumarkkinoiden rakenne

Tämä esiselvitys kohdistuu metsähakemarkkinoihin ja erityisesti nuoren metsän kunnostuskohteilta ja ensiharvennuksilta saatavan metsähakkeen tuotannon ja käytön lisäämiseen. Näiden kohteiden metsähakkeen tuotantopotentiaali on 9–13 TWh/v.

Suomessa on yli 250 puuta polttoaineenaan käyttävää voimalaitosta, joiden yhteenlaskettu tekninen puupolttoaineen käyttöpotentiaali on noin 40 TWh/v. Varsinaisten voimalaitosten lisäksi puuta poltetaan myös lukuisissa maatila ym. kiinteistöissä sekä yli sadassa lämpöyrittäjäkohteessa.

Nuoren metsän kunnostuskohteilta ja ensiharvennuksilta saatavan hakkeen käytön kannalta kiinnostavimpia käyttäjiä ovat yhdyskuntien lämmitysvoimalaitokset ja kaukolämpökeskukset. Niiden yhteenlaskettu kysyntä oli vuonna 2000 noin 1 TWh (0,5 Mm³) ja sen odotetaan vuoteen 2010 mennessä kasvavan noin 4,2 TWh:iin (2,1 Mm³). Metsähakkeen kokonaistarjonnan oletetaan vuonna 2010 olevan 8,4 TWh (4,2 Mm³).



Kuva 1. Metsähakkeen kysynnän rakenne vuosina 2000 ja 2010. Lähteet: Puupolttoaineiden kysynnän ja tarjonnan rakenne vuoteen 2010, Metsätilastotiedote 574. Kasvuennuste noudattaa likimääräisesti KMO:n ja muiden hallitusohjelmien tavoitteita.

Suomen kiinteän puupolttoaineen kokonaismarkkinat (ilman pienkiinteistöjen polttopuuta) olivat vuonna 2000 noin 23 TWh, josta noin 19 TWh tuotettiin teollisuuden sivutuotteilla ja 1,8 TWh metsähakkeilla. Ensiharvennuksilta ja nuoren metsän kunnostuskohteilta saatava ranka- ja kokopuuhake oli laskutavasta riippuen 40–55 % koko metsähakkeen käytöstä.

Tärkeimmät toimijat metsähakemarkkinoilla ovat UPM-Kymmene, Biowatti, Vapo, MHY:t sekä suurimmat (3–5 kpl) yksityiset yrittäjät.

4.2 Mallin potentiaaliset vaikutukset

Pääasiassa NMK ja ensiharvennusleimikoista saatavan ranka- ja kokopuuhakkeen tuotantomäärän on arvioitu kasvavan vuoteen 2010 mennessä nykyisestä noin 0,5 Mm³:sta noin 1,1–1,6 Mm³:iin. Koska metsäyhtiöt keskittyvät pääasiassa päatehakuuleimikoihin, suurin osa tästä hakkeesta tuotettaisiin yksityisten yrittäjien eli ehdotetun verkkomallin pääkohderyhmän toimesta.

Toimiva energiapuumarkkinoille suuntautunut verkkoliiketoimintamalli auttaisi metsähakkeen tuotanto- ja käyttötavoitteiden saavuttamista, edesauttaisi ylläkytävää NMK- ja ensiharvennushakkeen tuotantoskenaarioiden toteutumista sekä parantaisi yrittäjien toimintaympäristöä, lisäisi energiapuun tarjontaa ja alentaisi eh- ja NMK-hakkeen tuotantokustannuksia parhaimmillaan noin 9 %.

4.3 Parhaiten soveltuva verkkomalli

Parhaiten energiapuumarkkinoille soveltuva malli olisi yhdistelmä informaatiojärjestelmästä, tilausjärjestelmästä ja hajoitettuun markkinapaikasta. Esiselvityksen malliehdotus on jaettu kolmeen tasoon sen mukaan, kuinka paljon ominaisuuksia mallilta halutaan.

Kantava ajatus mallin identifioinnissa on ollut, että malli on halpa ja yksinkertainen sekä pystyy suoriutumaan sille asetetuista tehtävistä. Ohessa esimerkki ehdotetun mallin eri toteutustasoista puupolttoaineen toimittajan näkökulmasta kuvattuna.

Taulukko 1. Esimerkki ehdotetun mallin tasoista: puupolttoaineen toimittajan näkökulma.

Tuotantoketjun vaihe/ Malli	Metsänomistaja/ MHY	Korjuu	Metsäkuljetus	Haketus	Kaukokuljetus	Hakkeen käyttäjä
Malli 1: Staattinen järjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> MHY-yhteystiedot 	<ul style="list-style-type: none"> yrittäjien yhteystiedot 	<ul style="list-style-type: none"> yrittäjien yhteystiedot 	<ul style="list-style-type: none"> yrittäjien yhteystiedot 	<ul style="list-style-type: none"> yrittäjien yhteystiedot 	<ul style="list-style-type: none"> yrittäjien yhteystiedot
Malli 2: Dynaaminen järjestelmä – prosessin logistinen ohjaaminen	<ul style="list-style-type: none"> tiedot myytävistä eristä ostotarjousten jättäminen tieto oman alueen eristä 	<ul style="list-style-type: none"> vapaat työ- ja kone-resurssit tarjouspyyntöjen jättäminen valituille yrittäjille 	<ul style="list-style-type: none"> vapaat työ- ja kone-resurssit tarjouspyyntöjen jättäminen valituille yrittäjille 	<ul style="list-style-type: none"> vapaat työ- ja kone-resurssit tarjouspyyntöjen jättäminen valituille yrittäjille 	<ul style="list-style-type: none"> vapaat työ- ja kone-resurssit tarjouspyyntöjen jättäminen valituille yrittäjille 	<ul style="list-style-type: none"> spot-erien ostotarjoukset myyntitarjouksien jättäminen
Malli 3: Päätöksentekoa ohjaava dynaaminen järjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> sopimus-pohjat hinnat 	<ul style="list-style-type: none"> sopimus-pohjat hinnat 	<ul style="list-style-type: none"> sopimus-pohjat hinnat 	<ul style="list-style-type: none"> sopimus-pohjat hinnat 	<ul style="list-style-type: none"> sopimus-pohjat hinnat 	

4.4 Mallin hinta ja rahoitusmahdollisuudet

Mallin eri tasojen viitteelliset hinta-arviot vaihtelevat noin 0,03 miljoonasta 0,34 miljoonaan euroon mallin kattavuuden mukaan. Hinta-arviossa järjestelmän kehitys tarkoittaa arviota kustannuksista, joka menevät kehitysvaiheen työhön. Kustannusten vaihteluväli johtuu siitä, ettei toteutustapaa ole vielä valittu.

Taulukko 2. Eri mallien hinta-arviot.

Malli	Järjestelmän kehitys	Laitteistoinvestoinnit	Ylläpito
1	16 800–50 500 €	8 400 €	6 700–13 500 €/v
2	84 000–134 500 €	13 500–25 200 €	6 700–13 500 €/v
3	201 800–302 700 €	13 500–25 200 €	6 700–13 500 €/v

Karkeasti mallin rahoitusvaihtoehdot jakautuvat 1) projektirahoitukseen 2) valmiin palvelun tarjoajalle maksettavaan käyttömaksuun. Molemmissa vaihtoehdoissa rahat on mahdollista joko kerätä suoraan käyttäjiltä (käyttömaksu), käyttäjiä edustava viitetaho voi maksaa kustannukset tai valtio voisi esimerkiksi

ministeriöiden kautta rahoittaa toiminnan. Myös eri vaihtoehtojen yhdistäminen olisi mahdollista (ja suotavaa).

4.5 Mahdolliset viiteryhvät

Verkkomallin kehittämiseen ja toteuttamiseen osallistuvia sidosryhmiä voisivat olla kaikki ne potentiaaliset tahot, joita malli hyödyttäisi ja joiden tavoitteita se edesauttaisi. Tällaisia tahoja ovat mm. Koneyrittäjien liitto, Suomen Kaukolämpöyhdistys, kauppa- ja teollisuusministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, metsänhoitoyhdistykset, metsänomistajat, Tapio, Finbio ja MTK.

Jos malli toteutetaan, siitä tiedottaminen sopisi erinomaisesti Motivan toimenkuvaan. Mallia toteutettaessa kannattaa tutkia mahdolliset integraatiohyödyt nykyisten verkkokauppapaikkojen (Mottinetti, Elpu jne.) sekä kehitteillä olevien projektien (esimerkiksi Savossa ja Pohjois-Karjalassa) kanssa.

5. Tulosten hyödyntäminen

Projektin tuloksia hyödynnetään projektiosallisten toiminnan kehittämisessä. Alustavasti on käyty keskusteluja esitetyn mallin implementoinnista laajennettuna koskemaan myös muiden kuin energiapuuyrittäjien toimintaa. Esiselvityksen laadinnassa hankittua osaamista hyödynnetään JP Management Consultingin palvelujen kehittämisessä sekä uusien työtehtävien hankinnassa. Energiapuualalle soveltuvaan verkkosovellusmalliin liittyvää osaamista hyödynnetään mm. Euroopan markkinoille suuntautuvassa markkinoinnissa.

6. Jatkosuunnitelmat

Esiselvityksen tuloksia on esitetty potentiaalisista toteuttajista koostuvalle viiteryhmälle sekä Puuenergiaohjelman tutkijaseminaarissa kevään 2002 aikana. Tapaamisten perusteella on havaittu mallilla olevan sovellusmahdollisuuksia myös energiapuun hankinnan ulkopuolella, ja parhaillaan tehdään valmistelutyötä laajennetun mallin reunaehto- ja määrittämiseksi ja toteuttajatahon organisoimiseksi.

Julkaisut ja raportit

Projektista on tehty julkinen raportti, jonka sähköistä versiota voi tiedustella JPMC/Hannu Kivelä tai Anna Mälkönen.

Kivelä, H., Mälkönen, A., Jokinen, J. & Siponen, M. Esiselvitys verkkoliiketoiminnan mahdollisuuksista energiapuumarkkinoilla. Raportti. Vantaa 30.11.2001. 25 s. + liitt. 1 s. PDF.

Tuotantotekniikka ja -järjestelmät

Metsähakkeen autokuljetuksen logistiikka – PUUT20

Tapio Ranta¹, Petri Halonen¹, Pertti Frilander¹
Antti Asikainen², Mikko Lehikoinen³, Kari Väättäin³

¹VTT Prosessit

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. (014) 67 2611, faksi (014) 67 2597

e-mail: etunimi.sukunimi@vtt.fi

²Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

PL 68, 80101 Joensuu

Puh. (013) 251 4000, faksi (013) 251 4111

e-mail: etunimi.sukunimi@metla.fi

³Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. (013) 251 111, faksi (013) 251 3590

e-mail: etunimi.sukunimi@forest.joensuu.fi

Abstract

Project title in English: Logistics of long-distance truck transportation of forest chips.

The objective of the project was to develop the long-distance transportation of forest chips by means of better transport economy and control of logistics activities. Different loading methods were tested to make the load sufficiently compact and to intensify the use of load space of the chip trucks. The usability of mobile positioning devices was tested in the operational environment of forest chips procurement. The arrivals and inbound logistics activities of power plant were modeled by aid of simulation model to estimate the queuing time of chip trucks with alternative course of action.

According to the follow-up study of chip trucks and simulation of receiving activities substantial developing potential was found to decrease the terminal

times of trucks both in loading stage at forest terminal and unloading stage at power plant receiving area. By trucks with interchangeable containers terminal times can be decreased by developing the logistics of production chain for example by means of the pilot production control system evaluated in the project or by dimensioning the capacity of whole chain to match better for prevailing operational environment. With shorter distances the number of containers or the trailer size can be designed for smaller volume whereas with longer distances the transport economy will be emphasized.

The capacity of weight limited the load size except for summer period alongside with dry forest chips. Instead of maximize the load volume, more essential will be to decrease the unloaded weight and effectiveness of loading and unloading stage. Loading method, where belt conveyor was equipped with mechanical ejector, compressed the load some 15% compared with blowing device. The energy consumption was also essentially lower. The pilot-period of production control system showed that the mobile positioning devices and digital maps will improve the planning and control activities of forest chip production. When the procurement amounts of forest chips will increase, the advantage of utilization of such systems will be greater.

1. Tausta

Metsähakkeen autokuljetusta on tutkittu varsin vähän 1990-luvulla ja laajemmat autokalustoon liittyvät selvitykset on tehty 1980-luvulla. Tämän jälkeen mm. autojen ja yhdistelmien mitoittamista ja maksimipainoja koskeva lainsäädäntö on muuttunut. Lisäksi erityisesti metsähakkeen toimitusmäärien ennakoidaan kasvavan merkittävästi ja sen myötä haketta joudutaan tulevaisuudessa kuljetamaan yhä pidempiä matkoja. Ajoneuvojen mitoituksesta löytyy lisätietoja Suomen Kuorma-autoliiton kotisivuilta (www.skal.fi).

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 kuormaus- ja purkuvarustus. Autokohtaisten ominaisuuksien lisäksi oleellinen kilpailukykyyn vaikuttava seikka on kuljetusten logistiikka, jolla tarkoitetaan autojen reititystä varastopaikoille sekä metsähaketoimitusten ohjausta voimalaitoksille. Ohjausjärjestelmän toimivuudella pystytään vaikuttamaan autokohtaiseen vuosisuoritteeseen, kun varsinaisen kuormattuna-ajoajan osuutta kokonaisajanmenekistä pyritään kasvattamaan.

2. Tavoite

Hankkeen tavoitteen määrittelyssä on otettu huomioon esiselvityksessä esille tulleet kehittämiskohteet. Yleisenä tavoitteena on tehostaa metsähakkeen autokuljetusta hakeautokalustoa ja toiminnan logistiikkaa kehittämällä. Hanke on jaettu kuormatalouden parantamista sekä terminaalivaiheiden tehostamista palveleviin osatehtäviin. Hanke sisältää myös nykytilanteen kartoituksen erityyppisten autoyhdistemien ajankäytöstä, kuljetustaloudesta sekä vaihtoehtoisia kuormatilojen mitoituslaskelmia. Metsähakkeen toimitusten ohjausta tarkastellaan voimalaitoksen vastaanoton näkökulmasta sekä pilotoidaan paikkatietoja hyväksikäyttävää tuotannonohjausjärjestelmää hakeketjun (haketus-kaukokuljetus) ohjauksessa.

3. Toteutus

Osatavoitteiden toteutus on seuraavanlainen:

1. Kootaan ajanmenekkiaineisto vaihtoehtoisista hakkeen kaukokuljetusyksiköistä. Seurattavat vaihtoehdot ovat kiinteällä kuormatilalla varustettu hakeauto sekä vaihtokonttien käsittelyyn soveltuva yhdistelmä. Metsävarastojen luoksepäästävyyyden osalta arvioidaan olemassa olevien paikkatietohankkeiden, tässä tapauksessa DIGIROAD, tarjoamat mahdollisuudet kuljetusten ohjaukseen sekä mahdolliset lisätarpeet metsähakekuljetusten kannalta.

2. Hake-autojen kuormatilan mitoitus käsittää vaihtoehtoisia kuormatilaratkaisuja, joissa on huomioitu mitoitusta koskeva lainsäädäntö. Eri vaihtoehtojen osalta arvioidaan niiden soveltuvuus metsähakkeen kuljetuksiin.
3. Kuormantäyttökokeita varten rakennetaan koelaitteisto, jonka yhteydessä voidaan tutkia hakkeen tiivistymistä kuormatilassa, kuormauksen energiankulutusta ja kuormatilan täyttönopeutta. Vertailtavia kuormausmenetelmiä ovat puhaltaminen, hihnakuormaus, hihnakuormaus yhdessä mekaanisen heittimen kanssa sekä kauhakuormaus.
4. Voimalaitoksen vastaanotto mallinnetaan simulointimallilla, jossa lähtöaineistona on voimalaitokselle vuonna 2000 toimitetut turve- ja purukuormat sekä voimalaitoksen prosessiarvot. Lähtöaineiston mukaisen perustilanteen lisäksi määritetään erilaisia toimintavaihtoehtoja ja niiden vaikutus autojen odotusaikoihin voimalaitoksella sekä purkupaikkojen käyttöasteisiin. Tutkittavia muuttujia ovat autojen sisäinen ohjaus purkupaikoille voimalaitoksella, autojen saapumisaikataulukutus, polttoaineen syöttönopeus ja purkuvastaston koko. Lisäksi tarkastellaan metsähakkeen käytön lisäyksen vaikutus vastaanoton toimintaan.
5. Hankkeessa pilotoidaan valitulle metsähakkeen toimitusketjulle kevyen päätelaiteratkaisun sekä Internet-sovellusteknologian hyödyntämistä kuljetusten ohjauksessa. Pilotin aikana kartoitetaan valitun järjestelmän puutteita, jatkokehitystarpeita ja toisaalta millä tavoin se on auttanut toiminnan ohjauksessa.

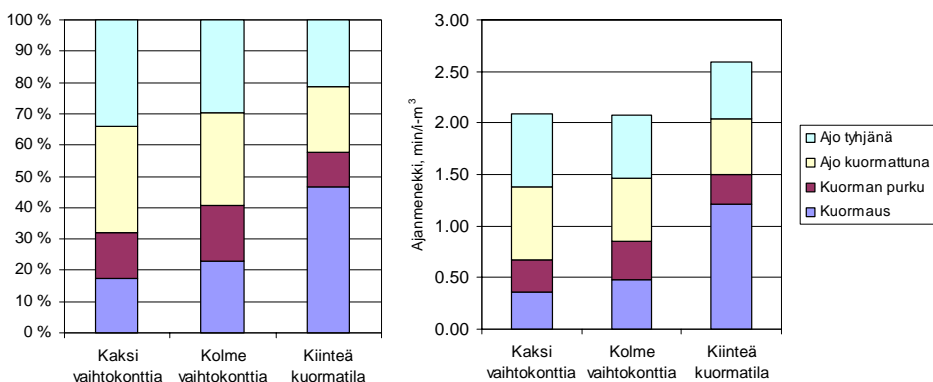
4. Tulokset

Projektin tulokset esitellään osatehtävittäin, joista tässä yhteydessä esitellään metsähakkeen hakeautoseurannan, kuormatäyttökokeiden ja voimalaitosten metsähakkeen vastaanoton simuloinnin ja tuotannonohjausjärjestelmän pilotoinnin tulokset soveltuvin osin.

4.1 Hakeautoseuranta

Tutkimuksessa määritettiin hakeautolle ajonopeusfunktiot. Kuormalla ei havaittu olevan suurtakaan merkitystä ajonopeuden kannalta. Hakeauton ajonopeuden kasvattaminen nykyisistä nopeuksista on hankalaa. Kuorman ajokerta-aikaa voitaneen pienentää lähinnä kehittämällä metsähakkeen ajoon käytettävää kalustoa ahtaalle työmaille ja mutkaisille metsäautoteille paremmin soveltuvaksi esimerkiksi kuormatilan mitoitusta muuttamalla.

Terminaaliajat veivät yllättävänkin suuren osan hakeauton kokonaisajanjmenekistä (kuva 1). Esimerkiksi 60 km:n kuljetusmatkalla vaihtokonttikalustolta kului konttien käsittelyyn 32–41 % ajokerta-ajasta. Kiinteällä kuormatilalla varustetun auton ajankäyttöä hallitsee kuormaus. Haketustyömaalla kuluvan ajan osuus koko ajokerta-ajasta on 60 km:n ajomatalla vielä lähes puolet, kuorman purku mukaan lukien terminaaleilla kuluu lähes 60 % kuorman toimittamiseen käytettävästä ajasta. Kaksikonttiselta autolta konttien käsittelyyn kului aikaa karkeasti ottaen kolmannes vähemmän kolmen kontin systeemiin verrattuna, mistä se hyötyi lyhyillä kuljetusmatkoilla. Kuljetusmatkan pidentyessä terminaali-ajojen suhteellinen osuus ajokerta-ajasta vähenee. Kolmekonttinen auto kykenee kuljettamaan suuremman kuorman kerrallaan, joten ajomatkan pidentyessä sen kilpailukyky kasvaa. Noin 55 km:n kuljetusmatkalla ajanmenekit molemmilla vaihtokonttiautoilla yhtä tilavuusyksikköä kohden ovat samat. Tätä pidemmillä kuljetusmatkoilla kolmekonttinen auto on ajanmenekiltään edullisempi.

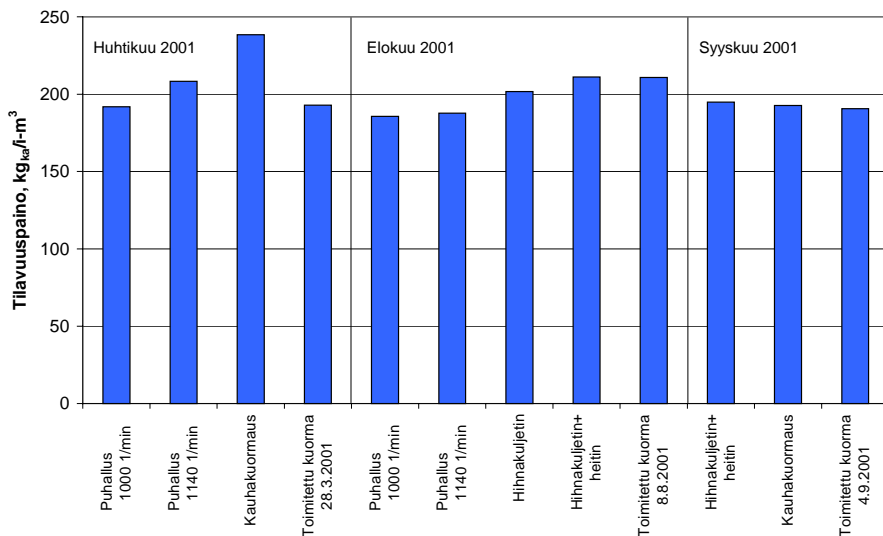


Kuva 1. Kuljetusten peruskierron ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin 60 km:n kaukokuljetusmatkalla.

Välivarastohaketukseen perustuvassa hakkeen toimitusketjussa auton viipyminen kuormattavana määräytyy varasto-olosuhteiden, hakkurin tyyppin ja kunnan sekä haketettavan raaka-aineen mukaan, eikä odotuksesta työmaalla päästä koskaan eroon, joko hakeauto tai hakkuri joutuu aina odottamaan. Tässä seurantatutkimuksessa kahden välivarastohakkurin perästä ajavan auton odotusajan osuus työajasta oli 7 %, odotukset ajoittuivat lähinnä haketustyömaalle. Käyttöpaikalla odottaminen oli satunnaista. Vaikka vaihtokonttiauton käytöllä hakekuljetuksiin pyritäänkin pois ns. kuumasta ketjusta, seurannassa olleet hakkurit ja autot olivat selkeästi vuorovaikutuksessa keskenään. Lyhyeltä, keskimäärin 36 km:n matkalta haketta toimittaneen auton työajasta peräti 24 % koostui odotuksista työmaalla.

4.2 Kuormantäyttökokeet

Kuormauskokeissa tehtyjen mittausten perusteella laskettiin hakkuutähdehakkeen tilavuuspaino eri kokeissa ja kokeisiin toimitetuissa kuormissa (kuva 2). Tilavuuspaino eli irtotiheys laskettiin sekä tuore- että kuivapainona kuormatilankohdesta kohden.

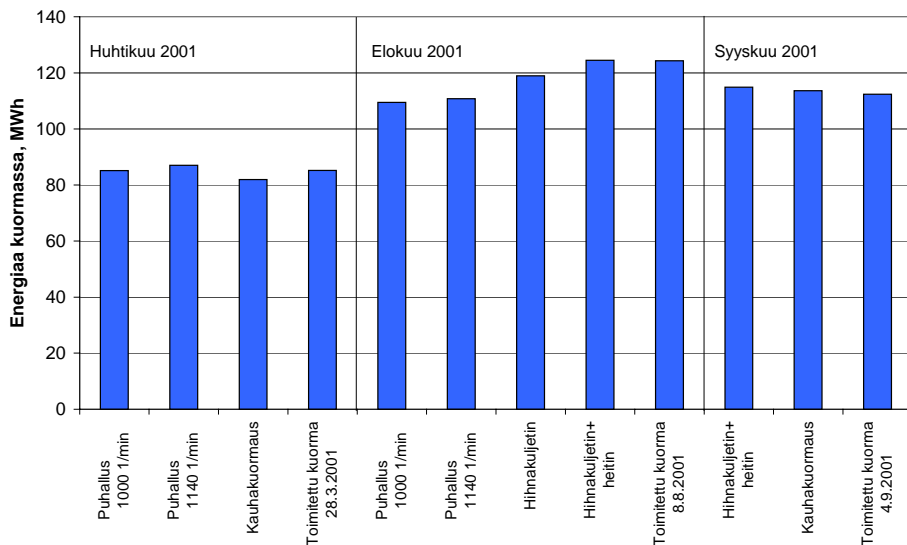


Kuva 2. Hakkuutähdehakkeen tilavuuspaino kuiva-aineena kuormatilassa eri aikoina ja eri kuormaustavoilla tehdyissä kokeissa sekä koeajoihin toimitetuissa kuormissa. Huhtikuussa hakkeen kosteus oli 55 %, elokuussa 25 % ja syyskuussa 40 %.

Kuivalla hakkeella (elokuu) suurin hakkeen irtotiheys saavutettiin hihnakuuljettimella, joka oli varustettu mekaanisella heittimellä. Tällöin kuormien keskimääräinen irtotiheys oli noin 15 % suurempi kuin puhalletuissa kuormissa. Pelkällä hihnakuuljettimella kuormattujen kuormien irtotiheys oli noin 10 % suurempi kuin puhalletuissa kuormissa.

Mittausten mukaan vähiten tehoa kuormauslaitteista käyttää hihnakuuljetin. Jos hihnakuuljettimen päähän lisätään mekaaninen heitin, nousee tämän kuormausyhdistelmän tehontarve noin kolminkertaiseksi pelkkään hihnakuuljettimeen verrattuna. Jos kuormauslaitteena käytetään puhallinta, on sen tehontarve yli kymmenkertainen hihnakuuljettimeen verrattuna.

Kuvassa 3 esitetään, kuinka paljon yhdessä täysperävaunuyhdistelmässä on energiaa, kun se on kuormattu eri tavoilla. Energia määrät on laskettu kuiva-tuoretiheyksien perusteella. Kuormatilan tilavuudeksi on oletettu 110 m³ ja kuorman maksimipainoksi 35 tn. Kostealla hakkeella energian määrää rajoittaa suurin sallittu paino ja kuivalla hakkeella suurin sallittu tilavuus. Hakkuutähdehакkeen kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona on käytetty 19,3 MJ:a/kg.



Kuva 3. Kuormauskokeissa mitattujen kuiva-tuoretiheyksien perusteella lasketut energiamäärät täysperävaunuyhdistelmän kuormassa, jonka tilavuus on 110 m³ ja suurin kantavuus 35 tn. Kuiva-aineen lämpöarvona on käytetty laskennassa 19,3 MJ:a/kg.

Vaikka ajoneuvoyhdistelmän kantavuutta ei voida täysin hyödyntää kuivalla hakkeella, on tiiviisti kuormatussa kuivan hakkeen kuormassa kuitenkin enemmän energiaa, kuin mitä on ajoneuvon kantavuuden täysin hyödyntävässä kostonhakkeen kuormassa. Jos kuivaa hakkuutähdehaketta kuormataan puhaltimen asemasta mekaanisella heittimellä varustetulla hihnakuuljettimella, on täysperävaunuyhdistelmän kuormassa noin 15 % enemmän energiaa kuin puhalletussa kuormassa. Myös hihnakuuljettimella kuormatuissa kuormissa on noin 10 % enemmän energiaa kuin puhaltamalla tehdyissä kuormissa.

4.3 Voimalaitosvastaanoton simulointi

Tutkimusmenetelmänä käytettiin diskreetti-aikasimulointia, jota varten laadittiin simulointimalli Witness-teollisuussimulaattorilla käyttäen apuna sekä vuoden 2000 polttoaineautojen saapumisaineistoa että vastaanottoaseman teknisiä tietoja. Simuloinneissa keskityttiin talvikuukausiin, jolloin voimalaitoksen polttoainevastaanoton kuormitus on suurimmillaan ja siten toiminnan ongelmakohdat ovat selkeimmin havaittavissa.

Simulointimallilla suoritettiin ensin perusajot, jotka vastasivat aineiston keruujankohdan keskimääräistä talvikauden tilannetta autojen vuorokautisen keskimääräisen saapumismäärän ollessa 48 autoa. Perusajoihin voitiin verrata muita simulointivaihtoehtoja, kun tarkastelun pääkohteena olivat jonotusajat ja purkupaikkojen (purkupaikat 1 ja 2) käyttöasteet. Simulointivaihtoehtoja esitetyt tulokset ovat kymmenen simulointiajon (-viikon) keskiarvoja.

Simulointivaihtoehtoja olivat:

1. A: perustilanne, PP1:n tyhjenemisnopeus 110 i-m³/h
2. B: perustilanne, PP1:n tyhjenemisnopeus 146 i-m³/h
3. C: autojen ohjaus purkupaikalle, jossa pienin jono, PP1:n tyhjenemisnopeus 110 i-m³/h
4. D: kuten edellinen, mutta PP1:n tyhjenemisnopeus 146 i-m³/h
5. E: autoilla saapumisohjaus, saapuminen tunnin sisällä satunnaisesti, tyhjenemisnopeus 110 i-m³/h

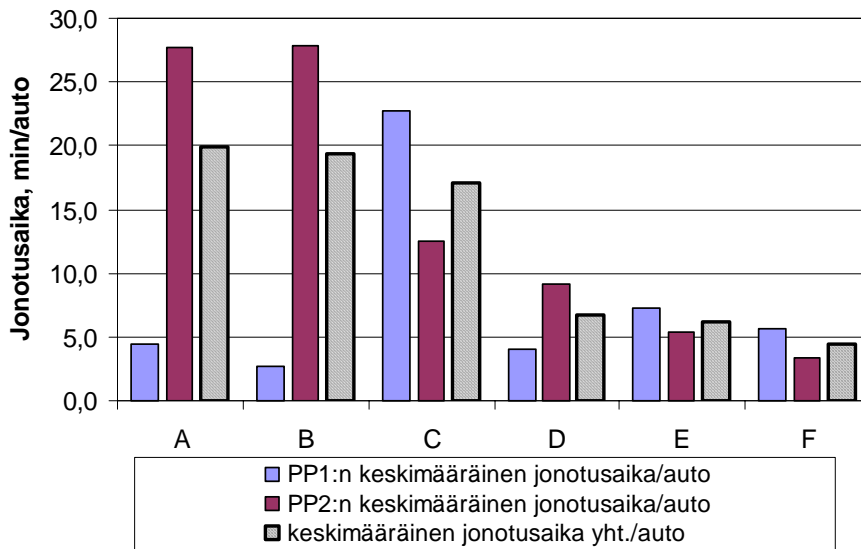
6. F: autoilla saapumisaikataulu, saapuminen tasavälein, tyhjenemisnopeus 110 i-m³/h.

Simulointiajon perustilanteessa oli ongelmana sekä purkupaikkojen epätasainen kuormittuminen että pitkät jonotusajat ennen purkua (keskimäärin 19,9 min/auto). Purkupaikka 1:n purkunopeuden lisäys ei vähentänyt jonotusaikaa juurikaan (A→B), sillä purkupaikka 1:n käyttörajoitteet estivät suuremman kuormittamisen (kuva 4). Mallissa, jossa autoja ohjattiin purkupaikoille jonojen minimointiperiaatteella (C ja D), saatiin huomattavasti vähennettyä odotusaikojaa. Simuloinneissa polttoaineen päätoimittajalle urakoivia peräpurkuautoja ohjattiin sille purkupaikalle, jossa oli vähiten autoja jonottamassa. Purkupaikka 1:n (PP1) kuormituksen kasvua rajoittivat sekä varastotaskun koko että sen tyhjenemisnopeus (110 m³/h). Tyhjenemisnopeuden lisäys 110 m³:stä 146 m³:iin tunnissa (C→D) pudotti autojen keskimääräistä jonotusaikaa 17,1 minuutista 6,7 minuuttiin (kuva 4).

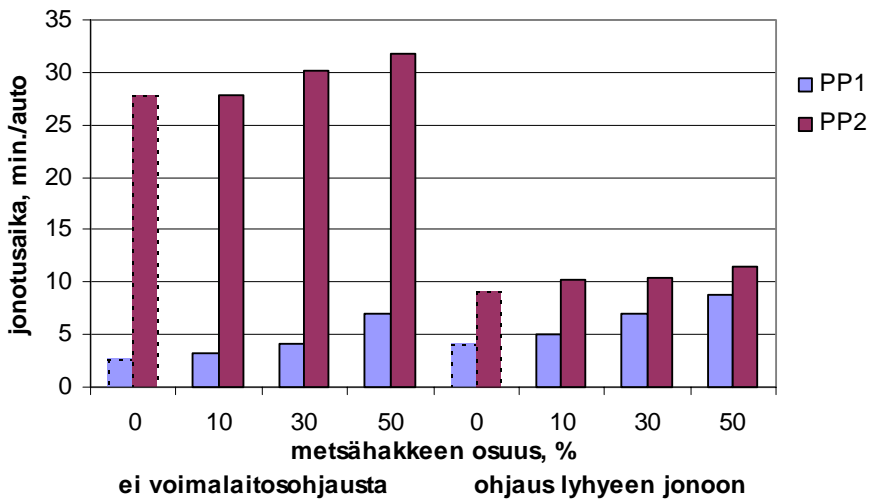
Autojen saapumisten aikatauluttaminen osoittautui tehokkaaksi keinoksi jonotusaikojen vähentämisessä, tosin käytännössä tarkka saapumisten ohjaus ei ole järkevää eikä mahdollistakaan. Autojen vuorokaudenajan saapumisrytmiä mukaileva aikataulu simuloinneissa tuotti 6,2 minuutin keskimääräisen jonotusajan (E), kun autot saapuivat satunnaisesti tunnin sisällä (kuva 4). Vastaavasti samalla aikataululla – mutta tasaväliajoin - ohjattu saapuminen tuotti 4,5 minuutin keskimääräisen jonotusajan (F). Kahdessa edellisessä simuloinnissa autoja saapui vuorokaudessa 48 kappaletta siten, että kello 22–05 autoja saapui yksi auto tunnissa, kello 06–12 kolme autoa tunnissa ja kello 13–22 kaksi autoa tunnissa. Molemmissa simulointiajoissa oli myös autojen ohjaus purkuasemaan, jossa oli lyhyin jono.

Kun voimalaitos toimii lähellä kapasiteettiaan, on myös polttoaineen vastaanoton kuormitus suurimmillaan. Siksi tarkastelimme myös ns. ”pakkasviikon” vaikutuksia vastaanottoon, kun autoja saapui vuorokaudessa keskimäärin 72 kappaletta. Purkupaikka 1:n tyhjenemisnopeus (146 m³/h) ei ollut riittävä, sillä nopeuden kasvu 200 m³:iin tunnissa pudotti keskimääräistä jonotusaikaa 65,5 minuutista 19,5 minuuttiin samalla kun autoja ohjattiin purkupaikalle, jossa oli pienin jono.

Tarkasteltaessa metsähakkeen käyttöönoton vaikutuksia vastaanoton toimintaan ei merkittäviä muutoksia jonotusajoissa havaittu. Simuloinneissa metsähake korvasi turpeen osuutta polttoaineena, jolloin öljy säilyi edelleen sivupolttoaineena. Otettaessa metsähake polttoaineeksi ja käytettäessä sitä 30 % koko polttoainetarpeesta, kasvoi keskimääräinen jonotusaika vain 2 minuuttia/auto (kuva 5). Samansuuruinen vaikutus oli myös simuloinneissa, joissa autot ohjattiin purkupaikalle, jossa oli lyhin jono.



Kuva 4. Purkupaikkojen ja koko vastaanottoaseman keskimääräiset jonotusajat eri simulointivaihtoehdoilla.



Kuva 5. Keskimääräiset jonotusajat purkupaikoilla, kun metsähakkeen osuus kokonaispolttoainetarpeesta on 0 %, 10 %, 30 % ja 50 %.

4.4 Kuljetusten ohjauksen pilotointi

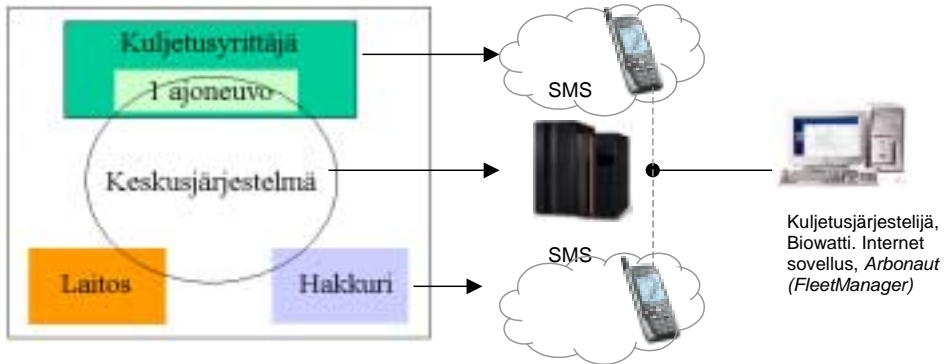
Järjestelmäpilotointi toteutettiin Jyväskylän ympäristössä Biowatti Oy:lle metsähaketta tuottavalla hakkurista ja hakeautosta koostuvalla ketjulla. Hake toimitettiin lähinnä Fortumin Jyväskylän yksikölle. Varsinainen ohjausjärjestelmä rakennettiin Arbonaut Oy:n FleetManager -järjestelmän pohjalle. Pilotoitava järjestelmä koostui seuraavista järjestelmäkomponenteista ja toimijoista (kuva 5):

Järjestelmä:

- Internet-pohjainen toiminnan ohjaussovellus, Arbonaut (1)
- kartta-aineistopalvelin, Arbonaut (1)
- ajoneuvopäätelaitteet, Benefon Esc (2)
- ajoneuvopäätelaitteet, Falcom (1).

Toimijat:

- hakkuri (1)
- hakeauto (1)
- kuljetusjärjestelijä (1).



Kuva 6. Metsähakkeen tuotannon ohjausjärjestelmän periaatekuvaus.

Pilotin aikana testattujen päätelaitteiden paikannustarkkuus oli erittäin hyvä (plus–miinus 10 metriä), vaikka kyseessä olivat kevyen sarjan päätelaitteet. Paikannustarkkuudesta oli hyötyä etenkin hakkuutähdevarastojen tallennuksessa matkapuhelimella ja kohteelle navigoitaessa. Varsinaisesta ajoneuvojen paikantamisesta ei tässä kokeessa nähty juurikaan lisäarvoa, koska alue oli tuttu ja ohjattavien ajoneuvojen määrä oli pieni.

Käytetyt karttamateriaalit eivät vastanneet täysin käyttäjien tarpeisiin. Puutteita havaittiin kummallakin puolella: Internet-sovelluksessa tarvitaan useita eri karttatasoja, mutta kasojen sijaintitiedon määrittämisessä tarvitaan jopa 1:10 000:n aineistoa. Tarkin käytettävissä ollut materiaali pilotin aikana oli 1:10 000:n aineisto, mutta se oli pelkästään katselukäytössä (ts. ko. materiaalilta ei voitu tallettaa pistetietoa). Metsäliiton karttamateriaalit koettiin kuitenkin sisällöstään hyviksi, koska niissä on paljon kohdeinformaatiota valmiina (kääntöpaikat, ajosuunnat, painorajoitettut sillat tms.).

Internet-sovelluksen käyttö koettiin miellyttäväksi, helpoksi ja nopeaksi. Koe-käytössä ongelmaksi muodostui se että kuljetusyrittäjällä ei ollut käytössään internetliittymää. Tällöin hänelle jäi ainoaksi mahdollisuudeksi tutkia haketuskohteiden sijaintia matkapuhelimen näytöltä. Suurin hyöty keskitettyjen tietovarastojen kohdalla on etenkin se, että saman sovelluksen tila on nähtävissä usean terminaalin kautta.

Ongelmia aiheutti SMS-viestinnän epävarmuus: Pilotoinnin aikana jotkut viesteistä tulivat läpi vasta useiden päivien päästä. Lisäksi käyttäjät olisivat toivoneet kuittausviestejä, jotta olisi voitu seurata onko viesti mennyt perille.

Päätelaitteena käytetty Benefon ESC! GPS/GSM -puhelin ei sovellu hyvin ajoneuvopäätteeksi. Karttojen käytettävyys oli heikko pienen näytön ja karttojen mittakaavan takia. Hyvänä puolena pidettiin usean pisteen näkymistä päätelaitteen kartalla, mikä auttoi ajoreittien valinnan suunnittelussa. Lisäksi päätelaitteen käyttö esimerkiksi haketuskohteiden ja etenkin kasojen tallennuksessa koettiin mielekkääksi. Tällöin hakekasojen sijainti saatiin järjestelmään tarkasti.

Suurimmaksi hyödyksi koekäyttöön osallistuneet henkilöt mainitsivat paperitomaan ympäristöön siirtymisen. Paikkatieto siirrettiin elektronisesti suoraan ajoneuvoon ja vastaavasti ajoneuvosta saatiin jatkuvaa statustietoa siitä miten työ on edennyt. Kuljettajat hyödynsivät Benefon ESC!:iä myös muissa tarpeissa kuten matkanmittauksessa, ajonopeuden ja -ajan seurannassa.

5. Tulosten hyödyntäminen

Kuormauskokeiden perusteella kannattaisi kuljetinhihna-heitinkonseptia kehittää tuotantokäyttöön. Tällöin energian tarvetta kuormauksessa voidaan vähentää oleellisesti verrattuna yleisesti käytössä oleviin puhallinratkaisuihin. Hihnakuljettimilla kuormatessa jää kuormatilan täyttöaste helposti vajaaksi. Yksi ratkaisu kuorman täyttämiseen on käyttää kaksiosaista hihnaa, jossa on teleskooppirunko ja suuntaava heitin. Hihnakuljetin olisi hydraulisesti jatkettava, jolloin sen pituutta voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Hihnakuljettimen päässä olisi mekaaninen heitin, jolla hake voidaan ohjata haluttuun paikkaan. Näillä järjestelyillä on mahdollista täyttää täysperävaunuyhdistelmä takaapäin niin, että perävaunua ei tarvitse irrottaa.

Simulointimenetelmällä saatiin selville voimalaitoksen polttoainekuljetusten ja polttoainevastaanoton ”pullonkaulat”. Parempi vastaanoton organisointi ja tehokkaampi autojen ohjaus purkupaikoille jonoja minimoiden pienentää merkittävästi autojen jonotusaikoja. Valmiiksi kerätyillä autojen saapumisaineistoilla simulointimenetelmän keinoin on mahdollista tutkia kokonaan uusien kuljetusjärjestelyjen ja polttoaineen vastaanottoratkaisujen toimimista esimerkiksi tilan-

teissa, joissa lisätään vanhojen purkupaikkojen käsittelykapasiteettia, otetaan käyttöön uusi purkupaikka, tarkastellaan eri polttoainenkuljetuskaluston vaihtokutsia tai kasvatetaan kiinteän polttoaineen kulutusta.

Uudet, mobiililipäätelaiteteknologiaan perustuvat sovellukset ovat tuomassa yhä kevyempiä ratkaisuja yritysten ja yksityisten ihmisten ulottuville. Paikkatietosovellukset on räätälöitävissä entistä helpommin erityyppisten toimijoiden tarkoituksiin, koska päätelaitteet voidaan valita tapauskohtaisesti. Nykyiset mobiiliin paikannukseen perustuvat järjestelmät käyttävät lyhytsanomaviestintää (SMS), GSM- tai GPRS-datayhteyttä paikkatiedon siirtämiseen päätelaitteen ja keskusjärjestelmän välillä.

Digitaalisten karttojen yleistyminen ja niiden saatavuus suoraan internetiin sekä mobiilipäätelaitteisiin on tuonut uusia mahdollisuuksia työnohjaamiseen ja kohteiden seurantaan. Suomesta on olemassa kattavat digitaaliset kartta-aineistot, joita ovat tie-, perus- ja kaupunkikartat sekä ilmakuvat. Lisäksi eri lähteistä saatavia tietoa-aineistoja ollaan yhdistämässä ja päivittämässä paremmin loppukäyttäjien tarpeita vastaaviksi, kuten meneillään oleva DIGIROAD-hanke. Karttapalvelu on tilattavissa ko. palveluihin erikoistuneilta sisältöaloilta (esimerkiksi Genimap), jolloin asiakas muodostaa pelkästään rajapinnan ulkoiseen sisältöserveriin. Useat palvelut voidaan aktivoida käyttöön suoraan internetin kautta, jolloin asiakkaan ei tarvitse ostaa erillisiä sovelluksia vaan käyttö tapahtuu perinteisen Internet-selaimen avulla.

6. Jatkotoimenpiteet

Projekti on päättynyt, mutta osatehtävien tulosten perusteella on käynnistynyt yritys-kohtaisia jatkohankkeita.

Julkaisut

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

Halonen, P. & Vesisenaho, A. 2002. Hakeautoseuranta. Hankeraportti. Tutkimusselostus PRO/T6046/02. VTT Prosessit. Jyväskylä. 25 s.

Lehikoinen, M., Asikainen, A. & Sikanen, L. 2002. Hakkeen tuotannonohjausjärjestelmän pilotointi. Hankeraportti. Joensuu. 19 s.

Frilander, P. & Tiihonen, I. 2001. Hakkuutähdehakkeella tehdyt kuormantäyttökokeet. Hankeraportti. VTT Energian raportteja 36/2001. 22 s.

Luostarinen, K., Laihanen, M. & Tarjanne, R. 2001. Metsähakevarastojen säävutettavuus. Hankeraportti. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta. 20 s.

Pietilä, J. 2001. Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksen polttoaineiden autokuljetusten logistiikka ja tehdasvastaanotto. Hankeraportti. Joensuun Yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Joensuu. 23. s.

Ranta, T., Frilander, P., Vesisenaho, A., Asikainen, A., Väättäinen, K., Luostarinen, K. & Laihanen, M. 2001. Metsähakkeen autokuljetuksen logistiikan ja kuljetuskaluston kehittäminen. Teoksessa: Alakangas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. S. 193–208. (VTT Symposium 216.)

Väättäinen, K., Asikainen, A. & Eronen, J. 2002. Metsähakkeen ja turpeen vastaanotto toimintojen kehittäminen. Hankeraportti. Joensuun Yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Joensuu. 23 s.

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 main fuel.

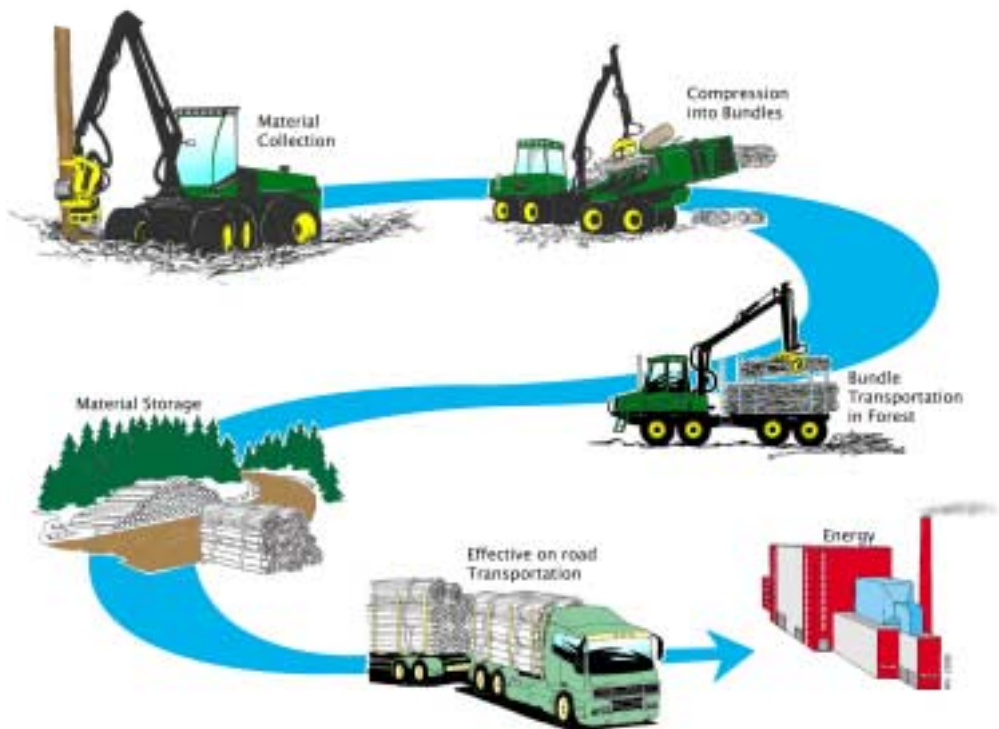
In this project the production chain is considered as a whole (Fig. 1) and the technology is developed for the collection of the forest biomass and also the power plant technology is analyzed. The main objective is to study a system that is as much as possible optimized for the wood fuel.

1. Projektin taustaa

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 ennen kaikkea ympäristöpolitiikasta.

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

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



Kuva 1. Metsäenergian tuotantoketju.

2. Projektin tavoite

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



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

Tavoitteena on erityisesti kehittää teknologiaa, joka mahdollistaa niputetun biomateriaalin liittämisen puutavaralogistiikkaan yhdeksi uudeksi tavaralajiksi. ”Risutukki” tavaralaji mahdollistaa normaalin puutavara logistiikan optimaalisen hyödyntämisen ja säästää näin ollen merkittävästi kustannuksia standardikaluston hyvän käyttöasteen kautta. Tämä pätee erityisesti suuren mittakaavan logistiikalle. Tässä projektissa keskitytään ensisijaisesti pienen ja keskisuuren mittakaavan laitoksiin ja järjestelmiin (alle 50 MW_{th}).

3. Projektin toteutus

Projektin toteutuksesta vastaa Timberjack Energy Technology Tampereella. Projektipartnerina ja voimalaitosasiantuntijana toimii Varkautelainen Osmo Kaulamo Engineering. Lisäksi käytetään alihankkijoita.

4. Projektin tulokset

Projektissa on käytetty pilotkoneena kuvan 3 mukaista risuniputtajaa. Samaa periaatetta pyritään soveltamaan myös pienpuulle. Niputuskoneita on tähän mennessä valmistettu yhdeksän kappaletta. Pienpuun kaatokoneita on käytössä Suomessa viisi kappaletta (kuva 4). Kaikki nämä koneet ovat enemmän tai vähemmän tutkimuskohteita eivätkä vielä sarjatuotantoasteella. Pienpuun niputus on vielä ratkaisematta. Tietoa projektin tuloksista esitetään nettisivuilla. Murskauskohteita pienvoimaloita varten on tehty eri tekniikoilla.



Kuva 3. Risutukkikone (Fiberpac 370).



Kuva 4. Kone pienpuun keräämistä varten.

5. Tulosten hyödyntäminen

Tämän projektin tulokset tullaan hyödyntämään laaja-alaisesti molempien partnereiden tuotekehityksessä. Tuloksi tuodaan esille myös Puuenergian kansallisen teknologiaohjelman seminaareissa sekä kansainvälisissä konferensseissa. Päivitetty osallistumistilanne näkyy Internet-sivuilla.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Projekti on päättynyt suunnitelmien mukaisesti ja käytännön demonstraatiot ovat käynnissä.

Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Kärnä T. Energiantuotanto kuivalla polttoaineella. Diplomityö.

Timberjack Forest Energy -nettisivut:

<http://www.timberjack.com/products/forest-energy/index.html>

Timberjack Forest Energy Technology -esitteet.

Aineistoa hyödynnetty myös Growing Power -esitteessä.

Useita konferenssiesityksiä.

Risutukkitekniiikan edellytykset suurimittaisessa puupolttoainehankinnassa – PUUT19

Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy
PL 40. 00101 Helsinki
Puh. (09) 6930 6278, faksi (09) 6930 6555
e-mail: juha.poikola@pvo.fi

Christer Backlund, UPM-Kymmene Oyj
PL 4, 68601 Pietarsaari
Puh. 0204 169 952, faksi 0204 169 969
e-mail: christer.backlund@upm-kymmene.com

Antti Korpilahti, Metsäteho Oy
PL 194, 00131 Helsinki
Puh. (09) 132 5242, faksi (09) 659 202
e-mail: antti.korpilahti@metsateho.fi

Kari Hillebrand, VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 675, faksi (014) 672 749
e-mail: kari.hillebrand@vtt.fi

Samuli Rinne, YTY-konsultointi Oy
Tunturitie 1 C 3, 86800 Pyhäsalmi
Puh. 0400 543 835
e-mail: samuli.rinne@suomi24.fi

Abstract

Project title in English: The prerequisites of the bundling method in large scale wood fuel procurement.

Project successfully proved that with bundling method it is economically and environmentally possible to use 200 000 solid-m³/a i.e. 400 000 MWh/a forest chips in Alholmens Krafts new power plant. It also showed the critical stages where to focus when trying to improve the baling methods productivity in the future.

1. Projektin tausta

UPM-Kymmene Oyj:n Pietarsaaren tehtaiden yhteyteen valmistui lokakuussa 2001 biopolttoaineita käyttävä suurvoimala, Oy Alholmens Kraft Ab. 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 on 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 0,6 TWh, mikä vastaa noin 315 000 kiinto-m³:ä tai noin 800 000 hakekuutiota.

2. Projektin tavoitteet

Projektin tavoitteena oli luoda tekniset ja taloudelliset edellytykset tuottaa risutukki-tekniikalla 300 000–400 000 MWh/a metsäpolttoainetta Pietarsaaren (Alholmens Kraft) voimalaitokselle ja käynnistää siihen yltävä tuotanto. Hanke toteutettiin yhteistyössä Pohjolan Voiman, Alholmens Kraftin, UPM-Kymmenen, VTT:n, Metsätehon ja YTY-konsultoinnin kanssa.

Tavoite merkitsee 158 000–210 000 m³ (kiinto-m³) tai hakkeena 400 000–540 000 i-m³ vuotuista hankintamäärää.

Tavoitteen saavuttamiseksi projektissa oli seuraavat osatehtävät:

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 ja tuloksia

3.1 Tuotantoketjun tuottavuus

Hakkuutähteiden paalaukseen perustuvan puupolttoaineen tuotantoketjua tutkittiin kelloaikatutkimuksin ja pääosin kuljettajien raportoitimien seurantatietojen avulla. Aikatutkimuksen kohteena oli ensimmäinen Suomessa käyttöön otettu keskikokoisen kuormatraktorin (Timberjack 1210 B) alustalle varustettu Fiberpack 370 -oksapaalain. Seurantatietoja oli käytettävissä neljästä koneesta.

Paljon rankaa käsittävän lehtipuuvaltaisen hakkuutähteen paalaus oli nopeinta ja mäntytähteen hitainta, kun paalauksen tuottavuutta kuvattiin tunnissa valmistettujen paalien lukumäärällä. Paalien tiiviys vaihteli ollen suurin kuusi- ja pienin lehtipuuvaltaisella materiaalilla. Käyttöaika tuottavuudeksi määritettiin kuusitähteille 17,8 kpl/h vastaten 9,0 m³/h, mäntytähteille vastaavasti 15,1 ja 6,5 sekä lehtipuuvaltaiselle materiaalille 20,6 kpl ja 8,3 m³/h.

Kun puupolttoaineen tavoitehinnaksi käyttöpaikalle toimitettuna asetetaan 8,40 €/MWh, pystytään tuohon hintaan tavanomaista nykykalustoa käyttämällä tuoreesta kuusihakkuutähteestä tehtyjä oksapaaleja toimittamaan 45 km keski-

kuljetusmatkalta asti. Hyvin kuivahtaneella tähteellä keskikuljetusmatka voi olla 80 km. Järeää kuljetuskalustoa käytettäessä voidaan hyvissä olosuhteissa (sulan aikana) päästä tuoreella hakkuutähteellä lähes 70 ja hyvin kuivahtaneella 110 km keskikuljetusmatkoihin. Männyllä ja lehtipuuvaltaisella tähteellä etäisyysrajat ovat paljon pienemmät.

Paalausketjun tuottavuutta ja kilpailukykyä voidaan merkittävimmin parantaa paalaustekniikka kehittämällä. Työnvaiheittainen tarkastelu osoittaa, että paalaimen syötössä pelkkään taakan noutoon kuluu huomattavan paljon aikaa. Periaatteessa sitä voisi esiintyä vain pääosin satunnaisesti. Yksistään tuo työnvaiheen minimoiminen voisi parantaa paalaustuottavuutta ehkä 20 %. Se mahdollistaisi 20 km suuremman kaukokuljetusetäisyyden ketjun kokonaiskustannusten muuttumatta.

Paalaukseen perustuvaa tuotantoketjua on tutkittu vasta vähän, ja paalaustekniikkaa kehitetään koko ajan. Paalausta koskevia tutkimuksia tulisi siksi jatkaa luotettavan tietopohjan kartuttamiseksi.

Taulukko 1. Paalaus- ja metsäkuljetustutkimuksen kohteet.

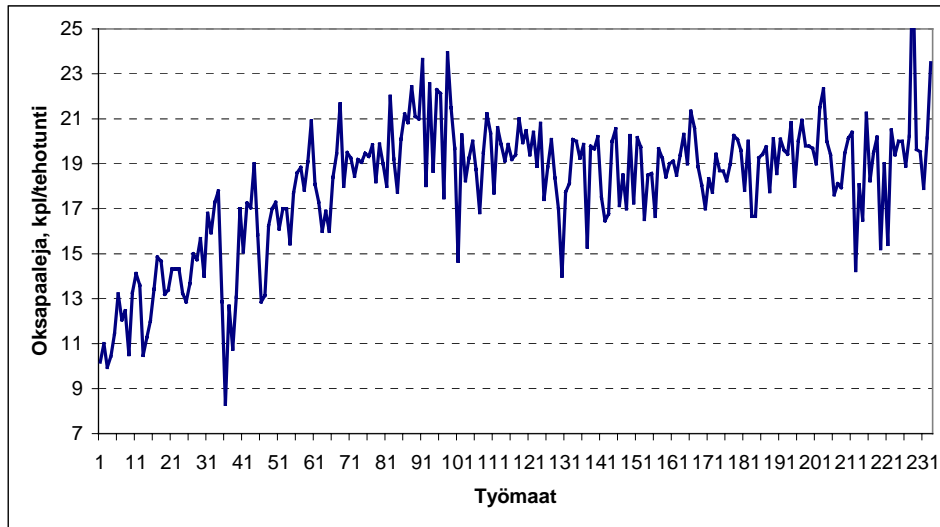
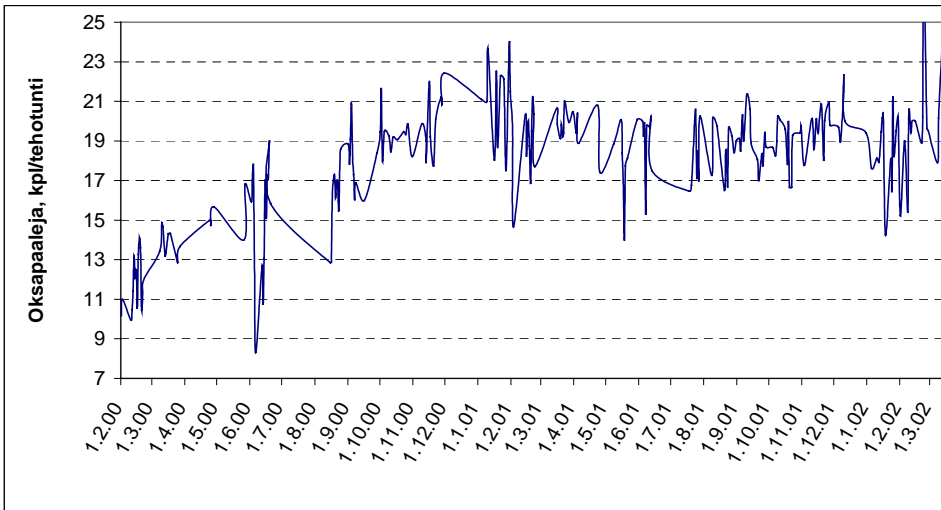
	Kuusi 1	Kuusi 2	Kuusi- mänty 1	Kuusi- mänty 2	Mänty 1	Mänty 2	Lehti- puu
Kohteen ala, ha	0,3	0,7	0,5	0,7	0,4	0,4	0,1
Puutavaraa, m ³ /ha	270	213	256	256	245	159	220
Kuusen osuus, %	100	90	46	46	20	0	30
Paaleja, kpl tutkimuksessa	47	74	36	36	35	18	24
Paaleja, kpl/ha	157	106	72	51	88	45	240

Taulukko 2. Oksapaalien ominaisuuksia paalaustutkimuksessa.

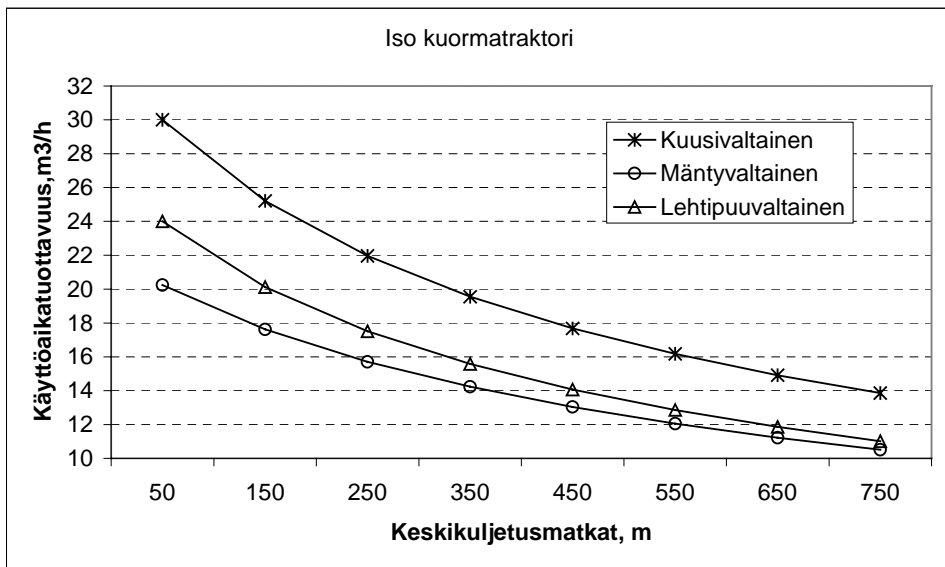
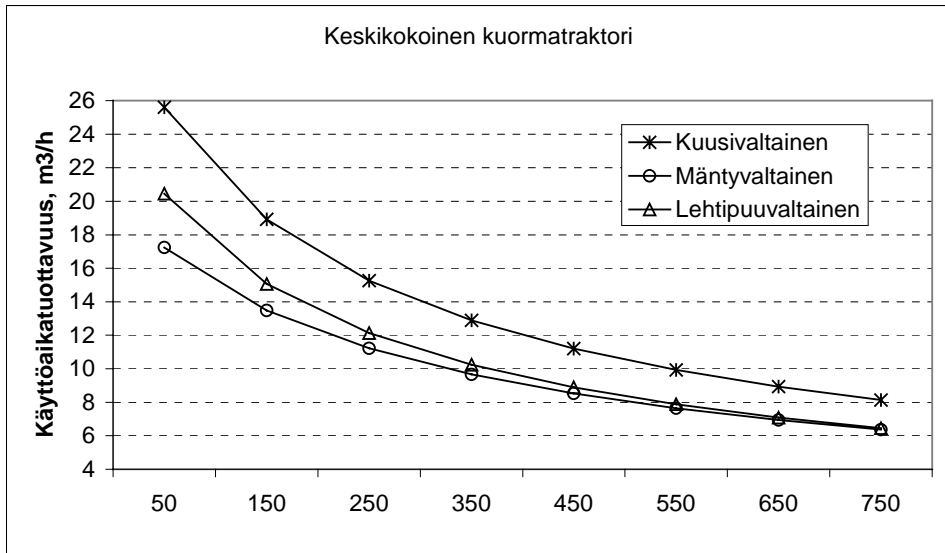
	Kuusi 1	Kuusi 2	Kuusi- mänty 1	Kuusi- mänty 2	Mänty 1	Mänty 2	Lehti- puu
Keskipituus, cm	314	324	320	322	321	..	320
Halkaisija, cm	75	73	72	73	72	..	73
Kehystilavuus, m ³	1,322	1,442	1,321	1,335	1,295	..	1,331
Massa, kg	406	404	402	409	343	416	329
Kosteus, %	42	42	38	37	43	45	39
Tuoretilavuus- paino, kg/m ³	861	752	782	757	870	875	851
Kiintotilavuus, m ³	0,472	0,537	0,514	0,540	0,394	0,475	0,387
Kiintotilavuus- %	36	37	39	40	30	..	29

Taulukko 3. Oksapaalien teon tuottavuus tehoaikana (ei sisällä työpisteiden välistä siirtymistä).

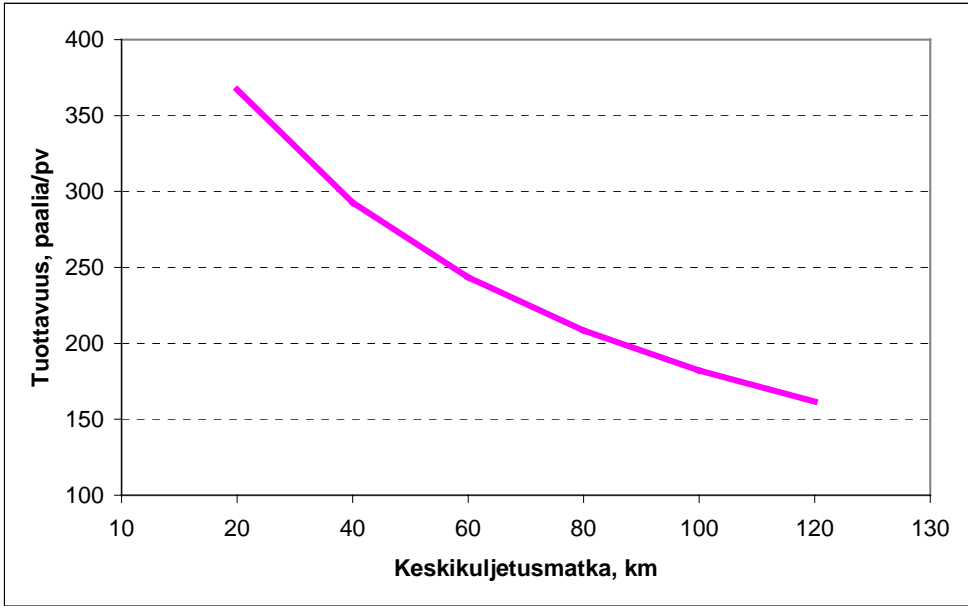
	Kuusi 1	Kuusi 2	Kuusi- mänty 1	Kuusi- mänty 2	Mänty 1	Mänty 2	Lehti- puu
kpl/h	31,6	29,4	26,3	28,9	30,0	27,7	34,4
m ³ /h	14,9	15,8	13,5	15,6	11,8	13,2	13,3



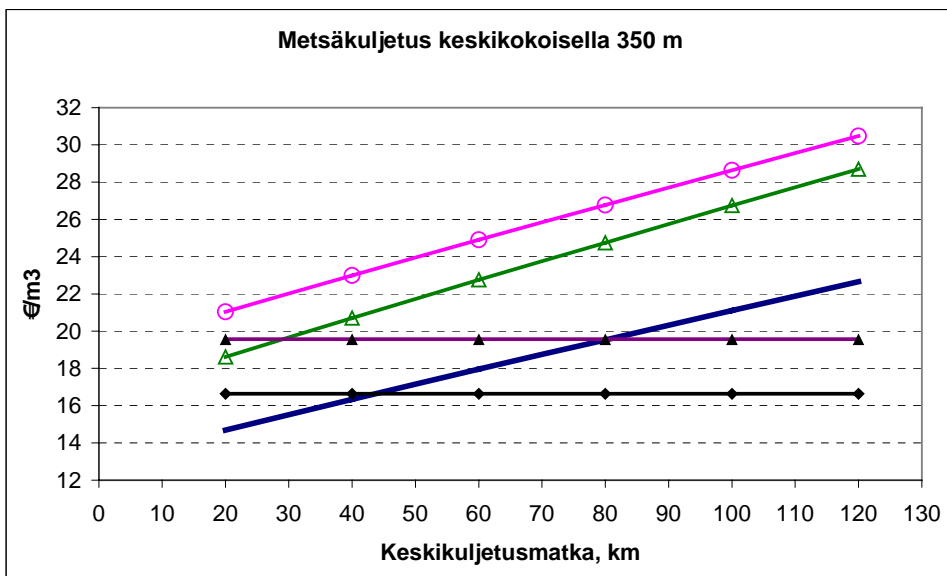
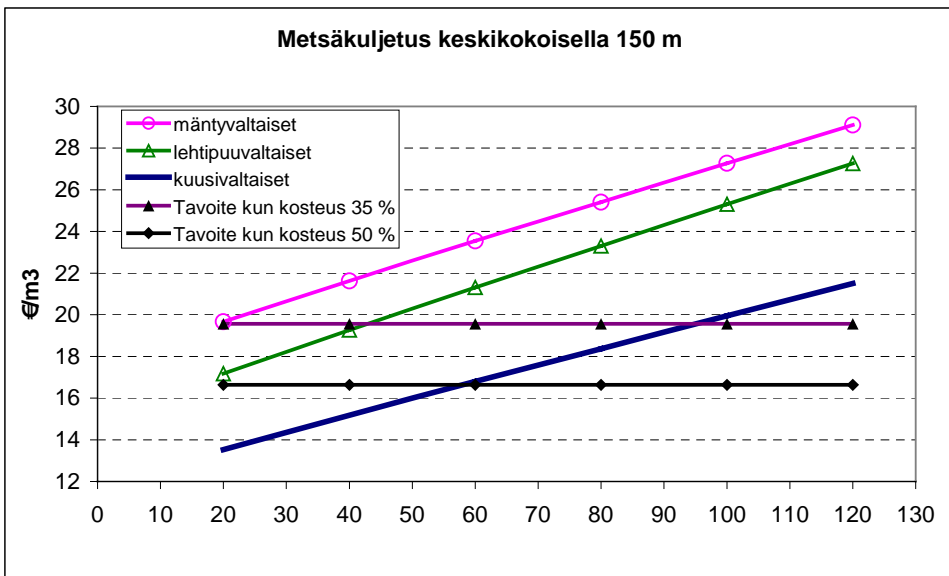
Kuva 1. Suomen 1. paalaus koneen tehoaikatuottavuus seurantatietojen mukaan.



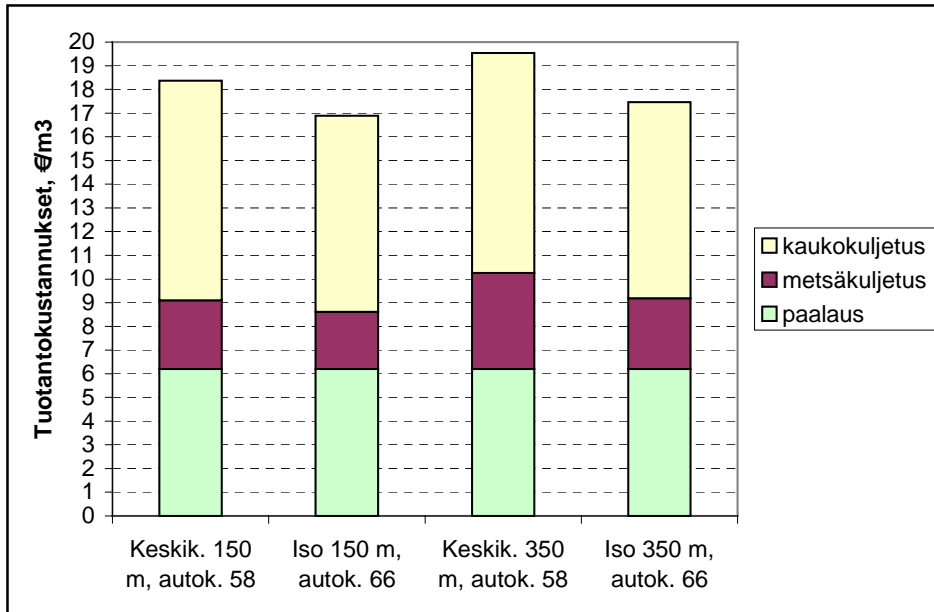
Kuva 2. Oksapaalien metsäkuljetuksen käyttöaikaottavuus, m³/h.



Kuva 3. Oksapaalien autokuljetuksen tuottavuus.



Kuva 4. Oksapaalien tuotantoketjun yksikkökustannukset, kun metsäkuljetus tehdään keskikokoisella kuormatraktorilla ja autokuormassa on 58 paalia.



Kuva 5. Oksapaaliketjun kustannusrakenne, kun metsäkuljetus tehdään keskikokoisella tai isolla kuormatraktorilla ja autokuormassa on 58 tai 66 paalia ja keskikuljetusmatka on 80 km.

Paalausketjun kilpailukyvyyn kannalta on tärkeää, että paalien pituus on vähintään 3,2 metriä. Tulisi vielä selvittää, kuinka paljon pitemmät paalit voisivat olla, että niitä voidaan kuljettaa ongelmitta yleisimmillä puutavara-autoilla ja että paalit kestävät kuljetuksenaikaisen käsittelyn. Kuormatilan pituuden tehokas hyödyntäminen voi lisäksi edellyttää sitä, että paalien pituusvaihtelu on pieni ja että voidaan valmistaa vetoautoa ja perävaunua varten eripituisia paaleja suhteessa 2:3.

Teknisen kehittämisen tarve ja myös mahdollisuus on suurin paalauksessa. Lisäksi keskikokoisten kuormatraktoreiden kuormatilan koon vaihtelun mahdollistavaa tekniikkaa tulisi kehittää. Sitä tarvittaisiin irtonaisten tähteidenkin kuljetuksessa.

3.2 Risutukkien laadun hallinta ja varastointi

Projektissa tutkittiin päätehakkuualojen hakkuutähteistä tehtyjen risutukkien kuivumista ja varastointia. Hankkeessa selvitettiin hakkuutähteiden paalausajan-

kohdan ja varastointitavan vaikutusta hakkuutähteistä saatavan polttoaineen laatuun. Tehtävänä oli selvittää kuinka risutukkitekniikkaan perustuvassa hakkuutähdepolttoaineen tuotannossa voidaan täyttää käytön asettamat polttoaineen laatuvaatimukset sekä liittykö eri tavoin varastoidun polttoaineen käsittelyyn terveysriskejä. Tutkimus kuului osatehtävänä laajempaan Pohjolan Voima Oy:n *Risutukkitekniikan edellytykset suurimittaisessa puupolttoainehankinnassa* -hankkeeseen. VTT Prosessit suunnitteli risutukkien varastointikokeet, teki polttoaineen kosteus-, tuhka- ja kloorianalyysit sekä aineiston käsittelyn ja raportoinnin. Kenttäkokeiden järjestelystä, risutukkien ja varastokasojen teosta ja peittämisestä, vastasi UPM-Kymmene Metsä Pohjanmaan hankinta-alue. Polttoaineesta ja hengitysilmasta otetut mikrobinäytteet analysoitiin Kuopion aluetyöterveyslaitoksessa.

Risutukkien varastointikokeet tehtiin viidessä eri kohteessa ja yhteensä varastokasoja oli 18 kpl. Osa varastokasoista oli ladottu tiiviisti ja osa harvakseen ristikolleen. Varastokasoista puolet oli peitetty peittopaperilla. Varastokasoja tehtiin eri vuodenaikoina ja varastointiaika oli 3–10 kuukautta.

Tuoreiden hakkuutähteiden kosteus on n. 55 %. Kuivaamalla hakkuutähteitä polttoaineen lämpöarvoa voidaan kasvattaa tilavuusyksikköä kohden noin 10 %. Toisaalta varastoinnin aikana tapahtuu kuiva-ainetappioita, jolloin hakkuutähteitä ei kannata varastoida liian pitkään. Vaikka kesän 2001 kuivumisjakson aikana haihduntasumma oli lähes 25 % pienempi verrattuna pitkän aikavälin keskiarvoon, kuivuivat risutukit parhaimmillaan alle 40 %:n kosteuteen. Hyvissä kuivumisolosuhteissa risutukit kuivuvat 40 %:n kosteuteen noin kolmessa kuukaudessa. Kuivumista on mahdollista nopeuttaa edelleen hakkuutähteiden palsatakuivatuksella ennen risutukkien paalausta. Kuivattaessa hakkuutähteitä palsatalla ennen varastokasan tekoa, optimikuivatusaika on yhdestä kolmeen viikkoa sääoloista riippuen. Tänä aikana myös hakkuutähteiden klooripitoisuus pienenee puoleen.

Varastokasan peittäminen suojaa tehokkaimmin ylimpien risutukkien kastumista, mutta koska kasan ylimmät risutukit suojaavat myös alimpia risutukkeja sateelta, on peittämisen merkitys kasan keskellä ja alaosassa vähäisempi. Peitetyt kasat olivat n. 4,5 prosenttiyksikköä kuivempia (vesimäärä noin 15 % pienempi kuiva-ainetta kohti) kuin peittämättömät kasat. Peitetyissä risutukkikasoissa keskimääräinen loppukosteus oli 40,1 % ja peittämättömissä kasoissa 44,4 %.

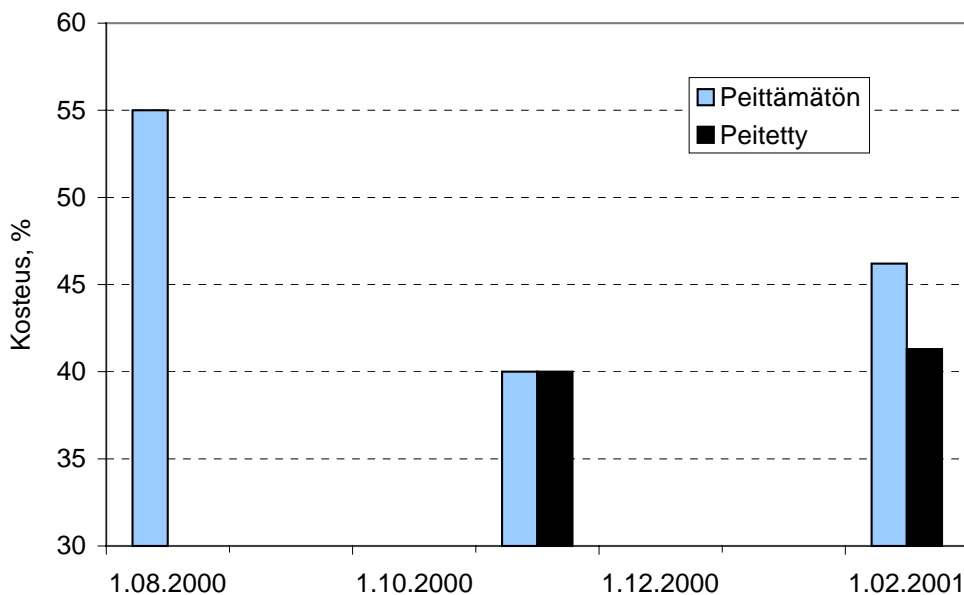
Kasan ladontatavalla ei ollut merkitystä risutukkien loppukosteuteen, jos kasat oli peitetty. Peittämättömässä tapauksessa ristikkäin ladotuissa kasoissa risutukkien loppukosteus oli 1 %-yksikön alhaisempi kuin tiiviisti ladotuissa kasoissa. Koska varastokasan peittokustannukseksi arvioitiin n. 0,27 €/MWh (1,6 mk/MWh) ilman työvaihekustannuksia, tehokkain ja taloudellisesti järkevin tapa varastoida risutukit on latoa ne normaaliin tapaan päällekkäin korkeaksi pinoksi ja peittää kasa peittopaperilla. Varastokasan peittäminen ei ole välttämätöntä, jos risutukkien paalaus suoritetaan keväällä ja risutukit on tarkoitus murskata ja polttaa ennen talvea.

Varastointijakson aikana tapahtuu kuiva-ainetappiota, joka osaltaan alentaa varaston energiasisältöä. Tämän johdosta varastointiaika tulisi pitää mahdollisimman lyhyenä. Kuiva-ainetappioiksi on muissa yhteyksissä arvioitu n. 1 % kuukaudessa. Tällöin kun risutukkeja varastoidaan talven yli, on risutukit kuivattava riittävän kuiviksi (alle 40 %:n kosteuteen), jotta varastointijakson aikainen energiasisällön pieneneminen ei ylittäisi kuivauksesta saatua hyötyä. Yli talven risutukkeja varastoitessa on tärkeää myös peittää varastokasa huolella kostumisen estämiseksi.

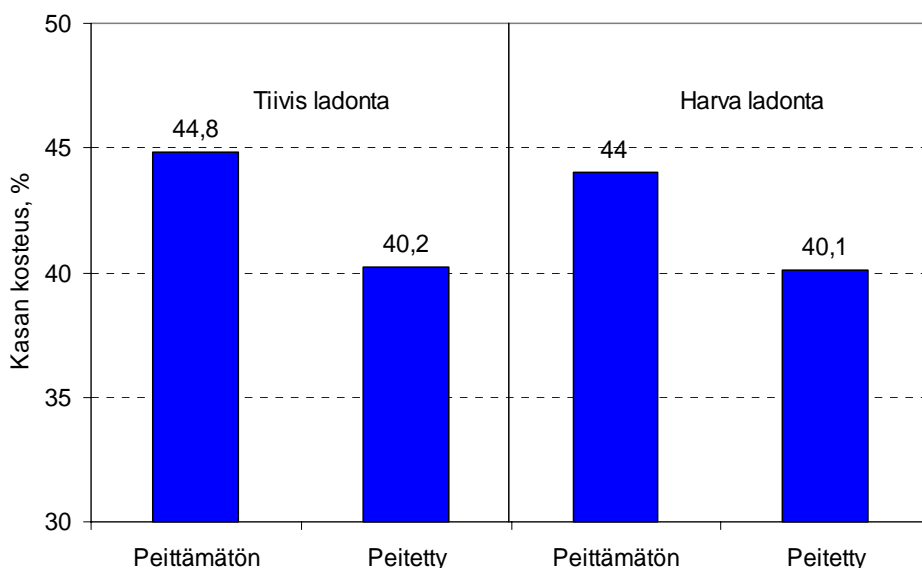
Purettaessa varastokasa talvella, osa ylimpiin risutukkeihin tarttuneesta lumesta tulee aina risutukkien mukaan. Tämä lisää hakkeen kosteutta ja pienentää siten sen lämpöarvoa. Vastaavaa kastumista voi tapahtua merkittävässä määrin myös leudon talven aikana, jolloin aiemmin satanut lumi voi sulaa ja kastella varastokasan. Tällöin peittämättömässä varastokasassa suurin osa lumen sulamisvedestä imeytyy alla oleviin tähteisiin ja voi nostaa kasan kosteutta jopa 10 prosenttiyksikköä. Talven yli varastoiduissa risutukeissa oli havaittavissa myös käytetyn sidontanarun haurastuminen, joka hankaloitti varastokasojen purkua

Risutukkien murskauksen yhteydessä otetuista näytteistä määritettiin kosteuden lisäksi myös tuhka- ja klooripitoisuudet. Risutukkien keskimääräinen tuhkapitoisuus oli 2,4 %, joka on samaa luokkaa kuin aikaisemmin tuoreista hakkuutähteistä määritetyt tuhkapitoisuudet (2,1 %). Klooria tuoreessa hakkuutähteessä on puolestaan 200–350 mg/kg. Se on lähes kokonaan neulasissa, josta sitä vapautuu varastoinnin aikana lähinnä neulasten varisemisen myötä. Mitatut risutukkien klooripitoisuudet olivat keskimäärin 190 mg/kg.

Mikrobipitoisuuksia mitattiin sekä polttoaineesta että hengitysilma. Polttoaineesta pitoisuudet mitattiin murskatusta materiaalista ja hengitysilman mikrobipitoisuus varastokasojen purun yhteydessä kuormaimen hytistä ja murskauksen yhteydessä näytteenottajan hengitysilma. Polttoaineesta mitatut mikrobipitoisuudet olivat suuruudeltaan $1 \times 10^6 - 30 \times 10^6$ cfu/g. Mikrobipitoisuudet eivät juurikaan nousseet varastoinnin aikana. Merkitsevää eroa peitettyjen ja peittämättömien kasojen välillä ei ollut. Mesofiilisten sienten pitoisuus tiiviisti ladotuissa kasoissa oli noin kaksinkertainen verrattuna harvaan ladottuihin kasoihin. Termotoleranttien sienten pitoisuuteen ei kasojen ladontatavalla havaittu olevan vaikutusta, kuten ei myöskään mesofiilisten bakteerien ja termofiilisten aktinobakteerien pitoisuuksiin. Varastokasojen purkamisen yhteydessä ilmasta mitatut mikrobipitoisuudet kuormaimen hytissä olivat alhaiset, 36×10^3 cfu/ilma- m^3 . Sen sijaan risutukkien murskauksen yhteydessä mitattu pitoisuus näytteenottolanteessa oli 2×10^6 cfu/ilma- m^3 , joka tulee ottaa huomioon arvioitaessa työntekijälle aiheutuvaa terveydellistä riskiä. Haketuksen yhteydessä on suositeltavaa käyttää P3-luokan suodatinta, joka suojaa myös mikrobeilta, jos työntekijällä on riski altistua ko. haittavaikutuksille.



Kuva 6. Korkeahuhdalla ja Kourujärvellä elokuussa 2000 tehdyissä varastokasoissa olleiden risutukkien kosteuden muutos.



Kuva 7. Erilaisten risutukkivarastokasojen loppukosteudet laskettuna koko tutkimusaineistosta.

3.3 Murskainkokeet

Alholmaan sopivan hakkuutähdemurskaimen löytämiseksi tehtiin murskauskokeita hakkuutähdepaaleilla CBI:n, Diamond Z:n, Lundvikin, Saalastin ja Svedalan murskaimilla sekä LHM-Hakkureiden hakkurilla.

Palakooltaan kaikki kokeillut laitteet tekivät riittävän pientä lopputuotetta. Tuottavuus oli suurin CBI:llä, jonka mobiilmurskaimella saavutettiin kuivilla paaleilla 156 kiinto-m³:n tehotuntituottavuus. Saalastin murskaimesta ei suoraa kapasiteettia päästy mittaamaan koemurskaimen kuilusyöttöisyyden vuoksi, mutta mitatun energiankulutuksen, murskaustuloksen ja murskaimen rakenteen perusteella voidaan päätellä Saalastin tuottavuuden olevan samaa luokkaa kuin samankokoisen CBI:n.

Irtotähteen murskauskokeet jätettiin vähälle, koska tehokkaalla kuormaimella varustettu auto ei ehtinyt valmistua riittävän aikaisin ja tavallisella kuormaimella syötettäessä tuottavuus on kiinni enemmänkin kuormaimesta ja miehestä kuin

murskaimesta. Diamond Z -kaukalomurskainta syötettiin kuitenkin sen omalla, suurella kuormaimellaan myös irtotähteellä, jolloin tehoaikatuottavuus oli noin 68 kiinto-m³ tunnissa. Saman murskaimen tehoaikatuottavuus paaleilla oli 93 kiinto-m³ tunnissa. Vaakasyöttölaitteisilla murskaimilla ero olisi todennäköisesti pienempi tai olematon, jos syöttönopeuden säätö on kunnossa.

Millään laitteella ei pitkistä narunpätkistä päästy kokonaan eroon. FG-hakkurin tekemässä hakkeessa oli yli metrin mittaisia narunpätkiä vähemmän kuin murskeissa. Toisaalta hakkeessa oli enemmän alle 40 cm:n narunpätkiä. Jos narut aiotaan kaikki saada muun palakokovaatimuksen edellyttämään alle 80 mm:n pituuteen, vaaditaan erillinen jälkimurskain, joka oheislaitteineen nostaa hintaa useilla miljoonilla markoilla. Näin ollen katsottiin parhaaksi ottaa riski narujen suhteen.

Hakkurista ei kokeiden mukaan ole muuta mainittavaa hyötyä murskaimeen nähden kuin pienempi pitkien narunpätkien osuus. Hakkuri vaatii kuitenkin niin paljon enemmän terähuoltoa murskaimeen nähden, että murskain on tässä tapauksessa suositeltavampi vaihtoehto.

Kokeiden perusteella tehtyjen laitemääritysten ja saatujen tarjousten perusteella oli mahdollista hankkia laitteisto, jonka tuottavuus hakkuutähdepaaleilla on kaikissa olosuhteissa, myös kuluneilla murskaushampailla, yli 160 kiinto-m³ tunnissa. Tällä tuottavuudella paalit ja irtotähde voidaan purkaa suoraan autosta murskaimeen siten että murskain pysyy syötön tahdissa.

Jatkotarkasteluihin valittiin kaksi laitetoimittajaa. BMH Wood Technologyn toimittamassa laitteistossa käytettäisiin Saalastin murskainta ja Roxonin laitteistossa CBI:n murskainta.

Saalastin ja CBI:n murskaimet ovat hyvin samankaltaisia toimintaperiaatteeltaan, joten murskeen laadussa, epäpuhtauksien kestossa yms. ei liene suurta eroa. Molempiin murskaimiin sopii kaksi ehjää paalia rinnakkain, mutta Saalastin syöttöaukko on leveämpi kuin CBI:llä, joten irtotähteellä tai rikkiäisillä paaleilla saattaa Saalastin murskain olla tuottavuudeltaan suurempi helpomman syötettävyytensä vuoksi.

BMH ja Roxon ovat kumpikin kokeneita kuljettimien ja vastaavien materiaalin-käsittelylaitteistojen valmistajia eikä niiden referensseissä ole merkittävää eroa. CBI:llä on kokemusta ennen kaikkea mobiilimurskaimista, mutta Suomessa CBI:n murskaimia ei ole kuin yksi. Saalastilla ei ole kokemusta vaakasyöttölaitteen rakentamisesta, sen sijaan Saalastin kuorimurskaimia on Suomessa ja maailmalla kymmeniä. Kaikkiaan CBI ja Saalasti ovat nekin samalla tasolla referensseissä.

Laitteiston hinta perustuksineen ja sähköistyksineen on alustavasti noin 1,5 M€ Käyttö- ja huoltokustannukset on arvioitu olevan 0,35 €/MWh. Kaikkiaan murskauksen omakustannushinta mainituilla investoinneilla, 300 GWh:n vuosimäärällä, 10 vuoden poistoajalla, 6 % korolla ja 0,4 % vuotuisella vakuutusmaksulla on 1 €/MWh.

Hakkuutähteen hankinnan ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä – PUUY21

Timo Hartikainen¹, Heikki Karppinen², Juha Laitila³,
Antti Asikainen³ & Stefan Hotari⁴

¹Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd
Sirkkalantie 17, 80100 Joensuu
Puh. (013) 2637 417

²Metsäkeskus Pohjois-Karjala
PL 17, 80101 Joensuu
Puh. 0500 186 603

³Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimuskeskus
PL 68, 80101 Joensuu
Puh. (013) 251 4000

⁴Technological University of Toronto

Abstract

Project title in English: Combi-method for forest residue transportation and cutting area preparation

The aim of this project is develop method for forest residue transportation and cutting area preparation. During the summer 2001 method has been studied with a large serie of tests in North Karelia.

According to time and follow-up studies combi-method has proved rather competitive. In average conditions, integration decreases the cost of scarification and residue recovery by about 10% compared with separate operations with two machines.

1. Tausta

Projektissa kehitettävän menetelmän perusajatus on yhdistää hakkuutähteen korjuu osaksi metsänuudistamiseen liittyvää maanmuokkaustoimintaa. Hakkuutähteen korjuu nivelletään osaksi metsänuudistamista siten, että samalla peruskoneella voidaan yhtenä työvaiheena korjata hakkuutähteet ja muokata uudistamisalue viljelyä varten. Menetelmälle on myönnetty patentti toukokuussa 2002.

Yhdistelmäkone on varustettu hakkuutähteen korjuun edellyttämin apulaittein ja maanmuokkausvarustein. Menetelmälle on lisäksi tunnusomaista, että yhdistelmäkone ei ole tarkoitettu vain hakkuutähteen korjuuseen ja maanmuokkaukseen, vaan se pystyy suoriutumaan myös normaalista ainespuun ajosta.

2. 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 hakkuutähdehaketta. Lisäksi tavoitteena on, että menetelmä otetaan käyttöön muualla Suomessa ja soveltuvin osin mm. pohjoismaissa.

Tavoitteena on myös aloittaa yhdistelmäkoneiden kaupallinen valmistus jonkun suomalaisen metsäkonevalmistajan toimesta.

3. Toteutus

Projektin vastuuorganisaatio on Joensuun Tiedepuisto Oy – Puu- ja metsäosakeskus. Muut hankeosapuolet ovat Joensuun Seudun Metsänhoitoyhdistys, Länsi-Karjalan Metsänhoitoyhdistys, Kiteen 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. Tulokset

4.1 Aika- ja seurantatutkimukset

Yhdistelmäkoneen kilpailukyky perustuu kolmeen päätekijään. Yhdistelmäkooneella maanmuokkauksen ja hakkuutähteen korjuu niveltyvät toisiinsa ja työvaiheiden yhdistäminen lisää koneen tuottavuutta. Pääomakustannukset pienenevät, koska yhdistelmämenetelmässä ei tarvita erillistä maanmuokkauskonetta ja metsäkuljetuskonetta vaan pärjätään yhdellä peruskoneella. Koneen käyttöaste kasvaa ja siirtokustannukset pienenevät, kun koneella voidaan tehdä kaksi työtä yhdellä kertaa.

Yhdistelmäkone on rakennettu Kockums 84-35 -metsätraktorin alustalle. Peruskoneeseen tehdyt muutostyöt ja tavanomaisesta poikkeavat rakenneratkaisut kohdistuvat koneen keskiosaan ja kuormatilaan. Yhdistelmäkoneessa äkeet on sijoitettu koneen etu- ja takapyörien väliin kuormatilan etusermin kohdalle. Kuormatila on muutettu siten, että kiinteiden pystypankkojen tilalle on rakennettu hydraulisesti sivulle kallistuvat pankot ja kuormatilan perässä on taaksepäin kallistuva takasermi.



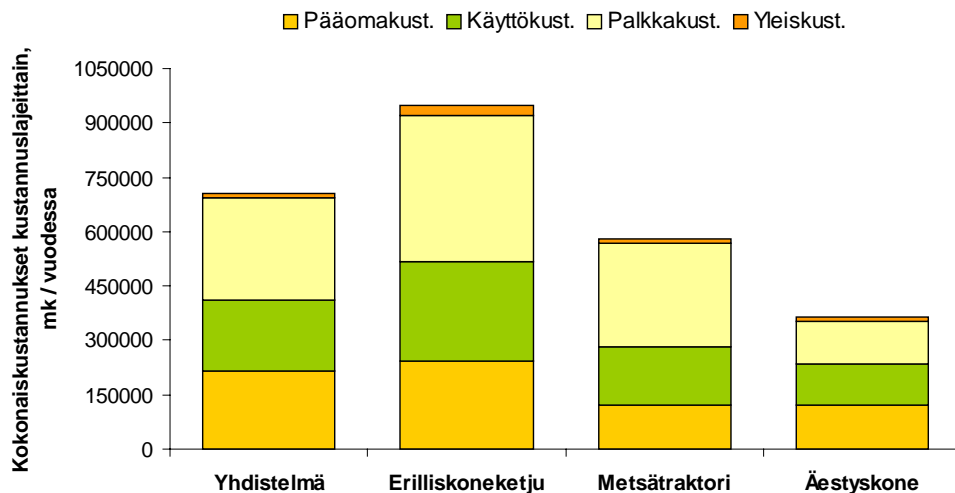
Kuva 1. Maanmuokkaus- ja hakkuutähteiden metsäkuljetuskone töissä Liperin Haapovaarassa (valokuva Y. Nuutinen, 2001).

Koneen toimintaperiaate on, että maata muokataan hakkuutähteen korjuun ohessa aina kun se on mahdollista. Kuormausajossa, koneen siirtyessä kuormauspisteeltä toiselle, äkeet ovat laskettuna alas ja muokkaavat hakkuutähteistä vapaata maata. Koneen ajolinjat suunnitellaan maanmuokkauksen ehdoilla niin, että äestysjälkeä tulee kattavasti koko uudistusalueelle ja hakkuutähteitä kuormataan kyytiin sitä mukaa, kun niitä tulee muokkaustyön aikana kuormausetäisyydelle.

Kesän ja syksyn 2001 aikana Metsäntutkimuslaitos selvitti aika- ja seurantatutkimuksin yhdistelmäkoneen työvaiheittaiset ajanmenekit, tuottavuuden, tuottavuuteen vaikuttavat tekijät ja teknisen luotettavuuden. Vertailevalla tutkimuksella selvitettiin erot tuottavuudessa ja kustannuksissa, kun hakkuutähteen korjuu ja maanmuokkaus tehdään yhdistelmäkoneella tai erillisillä koneilla. Tämän lisäksi Joensuussa vaihto-oppilaana ollut tekniikan ylioppilas Stefan Hotari Technological University of Torontosta teki mittauksia koneen kuljettajaan kohdistuvasta tärinästä ja koneen runkoon ja rakenteisiin kohdistuvasta rasituksesta. Metsäylioppilas Kaisa-Elina Määttä Joensuun yliopiston metsätieteellisestä tiedekunnasta puolestaan inventoi yhdistelmäkoneen äestysjälkeä.

Yhdistelmäkoneen tehoajanmenekki koostuu hakkuutähteiden korjuun ja maanmuokkauksen työvaiheista. Maanmuokkaukseen kuluu vajaa kolmasosa ajasta ja muu aika käytetään hakkuutähteiden korjaamiseen. Hakkuutähteen kuormaamiseen ja purkamiseen kuluu yli puolet tehoajasta. Kuormausajon ja äestyksen, missä maanmuokkauksen ja hakkuutähteen korjuun työvaiheet limittyvät toisiinsa, osuus ajanmenekistä on noin viidesosa.

Työmenetelmävertailun tulosten perusteella hakkuutähteiden korjuun ja maanmuokkauksen yhdistämisellä saavutetaan 5–10 % suurempi tuottavuus kuin sillä että työt tehtäisiin eri koneilla eri aikaan. Lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla yhdistelmäkoneen tuottavuus on suurin ja ero pienenee metsäkuljetusmatkan kasvaessa. Tämä aiheutuu siitä, että yhdistelmämenetelmällä sekä äestyksen että metsäkuljetuksen tuottavuus alenee metsäkuljetusmatkan pidentyessä. Erillismenetelmällä äestyksen tuottavuus pysyy vakiona eikä käytännössä reagoi metsäkuljetusmatkan muutoksiin. Normaalilla 150–250 m:n metsäkuljetusmatkalla yhdistelmäkoneen tuotos on 7–8 % erilliskoneketjua suurempi.



Kuva 2. Kokonaiskustannukset kustannuslajeittain mk/vuosi. 1 mk = 0,17 €.

Taulukko 3. Käyttötuntilaskelman laskentaperusteet.

	Yhdistelmäkone	Metsätraktori	Äeskone
Hankintahinta, mk	883 000 (148 500 €)	580 000 (97 550 €)	803 000 (135 050 €)
Pitoaika, v	4	5	8
Käyttötunnit / vuosi	2397	2397	745
Jäännösarvo, mk	210 000 (35 300 €)	120 000 (20 180 €)	140 000 (23 550 €)
Käyttöaste, %	88 %	87 %	67 %

Yhdistelmämenetelmän erillismenetelmää parempi tuottavuus johtuu siitä, että äestystyötä tehdään kuormausajon ohessa ja näin erillisen äestyksen ja kuormausajon osuus jää pieneksi. Yhdistelmämenetelmällä kuormauksen ajanmekki on hieman suurempi kuin erillismenetelmällä. Tämä johtuu siitä, että kuormausajo tehdään maanmuokkauksen ehdoilla eikä työpiste ole aina kuormaustyön kannalta paras mahdollinen. Hakkuutähdettä voi joutua kuormaamaan kaukaa ja kuormaus tapahtuu useimmiten pelkästään yhdeltä puolelta.

Koneen käyttötuntituottavuus selvitettiin seurantatutkimuksella. Muokkauskauden aikana kootun aineiston perusteella yhdistelmäkoneen käyttötuntituottavuus oli 24 i-m³ hakkuutähdettä ja 414 m äestysjälkeä (= 0,18 ha). Seurannassa hakkuutähteiden keskikuljetusmatka oli 150 m. Seurantajakson aikana kone toimi moitteettomasti, eikä konerikosta johtuvia seisokkeja ollut. Korjuujälkinventoinnin mukaan yhdistelmäkoneen muokkausjäljen laatu oli hyvä.

Tärkein yhdistelmäkoneen tuottavuuteen vaikuttava olosuhdetekijä on hakkuutähteiden kasauksen laatu. Kohteilla, joilla hakkuutähde on kasaamatta tai se on kasattu huonosti, tuottavuus on huonompi. Muita tuottavuuteen vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat kivisyys, esteet, hakkuutähdeitiheys ja kuvion muoto. Yhdistelmäkoneen jatkokehittämisen kannalta tärkeä painopistealue on kuormaustyön tehostaminen teknisesti tai olosuhteisiin vaikuttamalla. Yksinkertaisin ja halvin tapa tehostaa kuormaintyötä ja siten myös koko koneen tuottavuutta on parantaa hakkuutähteen kasauksen laatua. Mielenkiintoinen ja toistaiseksi tutkimaton keino pienentää kuormauksen aikaa on liittää yhdistelmäkone osaksi

risutukkiketjua. Hakkuutähdepaalaimen jäljiltä hakkuutähteet ovat esikasattuina jonomaisina muodostelmina ja tiiviitä risutukkeja on nopea kuormata ja purkaa.

Menetelmien kustannusvertailussa laskettiin maanmuokkauksen ja hakkuutähteen korjuun kustannukset yhdistelmä- ja erillismenetelmän koneille. Laskelmien lähtökohta oli peruskunnostettu raskas- tai keskiraskas metsätraktori, josta rakennettiin joko yhdistelmäkone, hakkuutähdevarusteltu metsätraktori tai veto-kone äestykseen. Laskentaperusteet on koottu taulukkoon 1. Yhdistelmäkoneen kustannustekijät määritettiin etenkin jäännösarvon ja pitoajan suhteen ns. varovaisuusperiaatteen mukaan. Äestyskoneen muita pienempi käyttötuntimäärä johtui oletuksesta, että vetokonetta ei käytetä tai se ei sovellu muihin töihin. Yhdistelmämenetelmälle on tunnusomaista, että konetta ei ole tarkoitettu vain hakkuutähteen korjuuseen ja maanmuokkaukseen vaan se pystyy suoriutumaan myös normaalista ainespuun ajosta pienin muutostöin. Äestyskoneen käyttöaste on matala, koska työmaasiirtojen osuus kokonaistyöajasta on suuri etenkin pienillä työmailla.

Em. laskentaperusteilla maanmuokkauksen ja hakkuutähteen korjuun kustannukset hehtaarin alalla olivat yhdistelmäkoneella 10 % pienemmät kuin erilliskoneketjulla. Yhdistelmämenetelmällä vuotuiset pääomakustannukset ja muut kustannukset ovat pienemmät kuin erillismenetelmällä. Pienemmät pääomakustannukset tarkoittavat sitä, että sama taloudellinen tulos saadaan pienemmällä käyttötunti- tai suoritemäärällä. Yksi kone on myös aina helpompi työllistää kuin kaksi konetta. Yhdistelmäkoneen pääoma- ja käyttökustannuksia arvioitaessa on tosin muistettava, että ne pohjautuvat osin arvioihin ja ovat luonnollisesti vielä varsin epätarkkoja. Esimerkiksi ”tehdasvalmisteisen” yhdistelmäkoneen hintaa ei tiedetä. Neuvottelut koneen teollisesta valmistuksesta ovat kesken.

4.2 Yhdistelmäkoneen rakenteen luotettavuus ja väsymiskestoikä

Projektissa selvitettiin maanmuokkaus- ja hakkuutähteen metsäkuljetuskoneen tekninen luotettavuus ja rakenteen kestävyys. Tulosten perusteella arvioitiin koneen tekninen käyttöaste. Rasitus- ja rakenteen väsymismittaukset suoritettiin yhtä aikaa Metsätutkimuslaitoksen yhdistelmäkoneesta tekemien aikatutkimusten kanssa.

Tutkittu prototyypikone otettiin käyttöön muokkauskaudella 2000 ja sillä on korjattu hakkuutähteitä ja äestetty ilman että rakenteissa on havaittavissa muodonmuutoksia tai murtumia. Kone on ollut myös teknisesti luotettava. Tähän mennessä käyttökokemukset yhdistetystä hakkuutähteen korjuusta ja maanmuokkauksesta ovat olleet hyviä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yhdistelmäkoneen rakenteen pitkäaikainen luotettavuus väsymisikämittauksin. Luotettavuus ilmaistiin väsymisen kestoikkainä. Tutkimuksen pääpaino kohdistui peruskoneen rakenteeseen tehtyihin muutoksiin, eli lähinnä takarungon etuosaan, jota oli kavennettu ja siihen oli asennettu äes.

Tutkitun koneen rakenteesta ei ollut käytettävissä yksityiskohtaisia lujuuslaskelmia esim. FEM-mallintaa, joiden perusteella kriittisimmät kohdat olisi voitu valita. Mittauskohtien valinta perustuikin Metsäkoneurakointi Antti ja Matti Varis Ky:n kokemukseräiseen tietoon ja koneen piirustusten pohjalta tehtyyn kuormitusanalyysiin. Rasitus- ja väsymistarkastelu rajoittui metsätraktorin alku-eräisestä rakenteesta poikkeavaan takarungon etuosaan. Instrumentoinnin tavoitteena oli saada tietoa rakenteen komponenttien, kuten kuormaimen, takarunkopalkin, ja laakeroidun takarungon liittimen tukilevyn (osa takarungosta) kuormittumisesta. Kestävyuden kannalta kriittisimmiksi arvioitujen rakennekohtien paikallista venymää mitattiin neljällä vastusvenymäliuskalla. Venymäliuskat liimattiin eri rakennekohtissa hitsausauman viereen.

Maastokokeet suoritettiin pääosin Metsäntutkimuslaitoksen tekemien aikatutkimusten aikana. Venymäliuskamittauksia tehtiin yhteensä 13,7 tuntia ja niissä oli mukana 14 kuormaa. Venymäliuskamittausten tehollinen konetyöaika oli 8,3 tuntia.

Tulosten mukaan koneen rakenne on täysin luotettava rungon kavennuksen sekä äkeiden kiinnityspisteen kohdalla. Yhdistelmäkoneen rakenne kestää väsymättä em. kohdissa kuormauksen sekä kuormausajon ja äestyksen aiheuttamat rasitukset. Sen sijaan koneen heikoin kohta on luultavasti kuormaimen ja rungon liitoskohta nosturipukin alaosassa, johon kohdistuu kuormaimen aiheuttama rasitus.

Tehtyjen venymäanturimittausten perusteella kriittisimmiksi rakennekohtiksi havaittiin kuormaimen kiinnityskohdat. Ko. kohdissa mahdolliset vauriot on

kuitenkin helppo havaita ja tarvittaessa korjata. Tulosten perusteella voi todeta koneen rakenteet kestävät rasitukset ja rakenteiden pettämisestä johtuvat kone-seisokit ovat erittäin epätodennäköisiä.

4.3 Kuljettajaan kohdistuva tärinä

Yhdistelmäkoneen käyttöön liittyy seikkoja, joita ei heti voi mitata rahassa. Yksi tärkeimmistä on työn vaihtelevuus ja kuljettajaan kohdistuvan tärinän pieneneminen pelkkään maanmuokkaustyöhön verrattuna. Aikatutkimusten ohessa tehdyissä tärinämittauksissa kuljettajaan kohdistuva tärinä oli yhdistelmämenetelmällä pienempi kuin erillismenetelmällä. Kuljettaja jaksaa paremmin, ja se näkyy terveenä pysymisessä sekä ammatissa viihtymisessä ja sitä kautta pidemmällä jänteellä myös kustannuksissa.

ISO-standardin mukainen altistus aika kokokehon tärinälle ilman terveyshaittoja on yhdistelmäkoneella 5 tehotuntia ja äestyskoneella 1,9 tehotuntia. Enimmäisaltistumisaika haitalliselle kokokehon tärinälle ilman todennäköistä terveysvaaraa on yhdistelmäkoneella 12,9 tehotuntia ja äestyskoneella 4,9 tehotuntia. Erillismenetelmällä em. raja-arvot, kun kehoon kohdistuva tärinä jaetaan hakkuutähteen korjuun ja äestyksen ajanmenekin suhteessa, ovat 3,8 ja 9,6 tuntia tauontonta työntekoa.

Yhdistelmämenetelmän erillismenetelmää pienemmät tärinäarvot johtuvat siitä, että yhdistelmäkoneella ajonopeudet eivät nouse niin suureksi kuin normaalissa äestystyössä. Lisäksi hakkuutähtekuorman paino ja ilmeisesti äkeiden sijainti koneen keskellä vaimentavat koneen heilahtelua.

5. Tulosten hyödyntäminen

Projektin tulokset hyödynnetään välittömästi käytännön hakkuutähteen korjuussa Pohjois-Karjalassa ja toiminnan laajentuessa myös muualla Suomessa. Menetelmä on herättänyt runsaasti mielenkiintoa koneyrittäjien ja urakanantajien piirissä.

Neuvottelut koneen kaupallistamiseksi ovat käynnissä. Projektin hyvien tutkimustulosten uskotaan vauhdittavan neuvottelujen etenemistä.

6. Jatkosuunnitelmat

Ensimmäisestä yhdistelmäkoneesta saatujen kokemusten ja asiakkailta saadun palautteen perusteella talvella 2002 päätettiin rakentaa uusi yhdistelmäkone, jossa maanmuokkausmenetelmänä on laikkumätästys. Uusi maanmuokkausmenetelmä laajentaa koneen käyttömahdollisuuksia perinteisiltä äestyskohteilta entistä rehevämille kuusenviljelyalueille. Ensimmäisten asiantuntijalausuntojen perusteella voidaan päätellä, että kone toimii teknisesti ja laikkumättäiden työn laatu on hyvä.



Kuva 3. Yhdistelmäkone laikkurimätästäjällä (kuva: Metsälehti/Mikko Riikilä).



Kuva 4. Muokkauslaite (kuva: Metsälehti/Mikko Riikilä).

Keväällä 2002 käynnistettyä tietojärjestelmän kehittämistä jatketaan. Projektissa on päädytty hyödyntämään ja räätälöimään metsänhoitoyhdistyksissä olemassa olevia ohjelmistoja hakkuutähteen korjuu huomioiden. Tavoitteena on, että metsänhoitoyhdistysten ja hakkuutähteen vastaanottajien tietojärjestelmät saadaan yhteensopiviksi siten, että varasto- ja karttatieto voidaan välittää hakkuutähteen vastaanottajalle sähköisesti.

Pohjois-Karjalassa hakkuutähdemarkkinat ovat kehittyneet suotuisasti. Projektissa tavoitteeksi asetettu 100 000 i-m³:n korjuutavoite näyttää realistiselta tällä menetelmälle.

Julkaisut

Pat. FI 108912 B. Menetelmä metsän uudistamisessa ja laitteisto menetelmän soveltamiseksi. Metsäkeskus Pohjois-Karjala, Metsäkoneurakointi Antti ja Matti Varis. (Karppinen, H.). 2.9.2001. 10 s.

Laadunhallinta, vastaanotto ja käyttö

Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen – PUUT 15

Raija Kuoppamäki
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 540, faksi (014) 672 598
e-mail: raija.kuoppamaki@vtt.fi

Risto Impola
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 542, faksi (014) 672 598
e-mail: risto.impola@vtt.fi

Lauri Nikala
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 673, faksi (014) 672 598
e-mail: lauri.nikala@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Improvement of the combustion properties of by-products in mechanical forest industry.

The objective of the research was to improve the combustion properties of by-products from mechanical wood processing by developing the fuel storage and handling. The research was divided into three subtasks: 1) the optimisation of the storage of bark, 2) reduction of the moisture content of the bark, and 3) removal of impurities from the fuel.

The main focus in the research was the storage experiments, where spruce and pine bark was stored 1–12 months. During first three months the bark dried 3–8%-units. When the storage time was continued the storage started to get wet and after 12 months it reached almost the same moisture content as before the ex-

periment. The changes in other properties, excluding ash content, were small during storage. The best results with regard to energy content were achieved in 1–2 months of storage.

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 tiedon puute siitä, miten varastointi tulisi suorittaa. Myös kuoren kosteus etenkin talvella ja kuoren sekaan joutuneet epäpuhtaudet aiheuttavat ongelmia kuoren poltossa ja käsittelyssä.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten eri varastointitavat vaikuttavat kuoren kosteuteen ja kuiva-ainetappioihin sekä muihin kuoren laatuominaisuuksiin. Kokeiden perusteella pyrittiin löytämään keinoja varastoinnin optimoimiseksi. Lisäksi projektin tavoitteena oli selvittää mekaanisen puristuksen ja termisen kuivauksen teknis-taloudellinen soveltuvuus kuoren kuivaukseen sahatteollisuudessa sekä määrittää kuoren joukkoon joutuvan lumen ja jään vaikutukset kuoren kosteuteen. Projektissa arvioitiin myös epäpuhtauksia (kiviä ja hiekkaa) sisältävän kuoren määrä ja laatu sahatteollisuudessa sekä selvitettiin kivien ja hiekan erotukseen soveltuvat mahdolliset erotustekniikat.

3. Projektin toteutus

Tutkimus jakaantui kolmeen osatehtävään 1) kuoren varastointiin, 2) kuoren kosteuden alentamiseen ja 3) kuoren sekaan joutuneiden kivien erottamiseen. Tutkimuksen pääpaino oli kuoren varastoinnissa. Projekti käynnistyi huhtikuussa 2000 ja päättyi joulukuussa 2001.

Osatehtävä kuoren varastointi sisälsi kirjallisuusosan ja varastointikokeet. Varastointikokeet toteutettiin rakentamalla 3 täyden mittakaavan kuorivarastoa sahojen yhteyteen. Tutkittavat koevarastot olivat seuraavat:

- Auma 1: tuoreen kuusen ja männyn kuoren varasto, varastointiaika 3 kk
- Auma 2: pitkän ajan varastointi, kuivahtanut männyn kuori, varastointiaika 9 kk
- Auma 3: ilmastoitu tuoreen kuusen kuoren varasto, varastointiaika 3 kk.

Tärkeimmät seurattavat tekijät varastointikokeissa olivat kuoren kosteus, lämpöarvo, tuhkapitoisuus, haihtuvat aineet ja kuiva-ainetappiot sekä varaston lämpötila. Esimerkki koekuorivarastosta on kuvassa 1.



Kuva 1. Ilmastoitu koekuorivarasto. Ilmastointi toteutettiin sijoittamalla varaston toiseen pätyyn salaojaputkia metrin korkeudelle maan pinnasta yhden metrin välein.

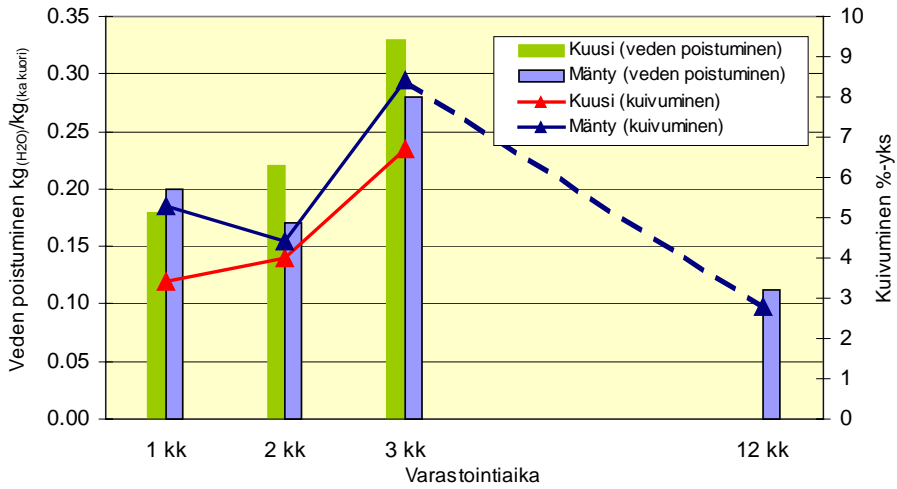
Osatehtävässä sivutuotteiden kosteuden alentaminen selvitettiin sahalla tapahtuvan seurannan ja mittausten avulla paljonko eri lähteistä tuleva irtolumi ja jää lisäävät kuoren kosteutta ja miten kosteuden lisäys voidaan minimoida. Lisäksi teoreettisten laskelmien ja kirjallisuudesta haettujen tietojen pohjalta selvitettiin miten sahoilla olisi mahdollista taloudellisesti alentaa kuoren kosteutta joko mekaanisilla tai termisillä menetelmillä.

Osatehtävässä kivien erottelu kuoresta selvitettiin kiviä ja hiekkaa sisältävän ns. ongelmakuoren määrä sahatteollisuudessa laajan kyselytutkimuksen sekä sahalla toteutetun seurannan avulla. Erotustekniikoiden soveltuvuutta tarkasteltiin ensin kirjallisuuden perusteella. Tämän jälkeen parhaat vaihtoehdot kokeiltiin käytännössä.

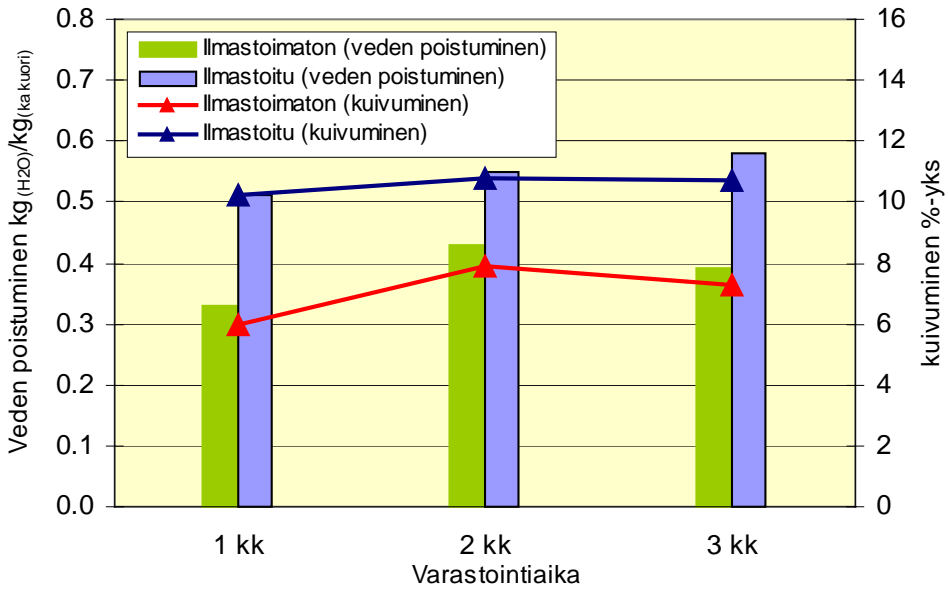
4. Tulokset

4.1 Kuoren varastointi

Kosteus: Kuoren kuivuminen koeaumoissa on esitetty kuvissa 2 ja 3. Tuore kuusen ja männyn kuori (Auma 1) kuivui kolmen kuukauden varastoinnin aikana 7–8 prosenttiyksikköä. Kuusi- ja mäntyauma kuivuivat lähes yhtä paljon ja yhtä nopeasti. Voimakkainta kuivuminen oli varastoinnin ensimmäisen ja kolmannen kuukauden aikana. Kun varastointia jatkettiin kolmesta kuukaudesta 12 kuukauteen (auma 2), kuori kostui uudestaan. Ilmastoidussa aumassa (auma 3) tuore kuori kuivui noin 3–4 prosenttiyksikköä paremmin kuin ilmastoimattomassa. Yhden ilmastointiputken vaikutus ulottui noin metrin alueelle.



Kuva 2. Kuoren kuivuminen aumoissa 1 ja 2.



Kuva 3. Kuusen kuoren kuivuminen ilmastoimattomassa ja ilmastoidussa aumassa (auma 3).

Kuoren *tuhkapitoisuudessa* ei juurikaan tapahtunut muutoksia kahden ensimmäisen varastointikuukauden aikana. Kuusen kuoren tuhkapitoisuus oli n. 2,4 % ja männyn n. 1,8 %. Tämän jälkeen tuhkapitoisuudessa oli havaittavissa selvää nousua. Kuusen kuoren tuhkapitoisuus kolmen varastointikuukauden jälkeen oli 3,6 % ja männyn kuoren tuhkapitoisuus 12 kuukauden varastointiajan jälkeen 3,4 %.

Haihtuvien aineiden määrä kuoressa väheni sekä kuusen että männyn aumoissa varastointiajan kasvaessa. Varastoinnin alussa haihtuvien aineiden määrä oli kuusen kuorella 74,3 % ja männyn kuorella 74,5 %. Kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen vastaavat arvot olivat 72,9 % ja 70,8 %. Männyn kuorella 12 kuukauden jälkeen haihtuvien aineiden määrä oli 69,0 %.

Kuoren *kuiva-aineen lämpöarvossa* ei tapahtunut merkittäviä muutoksia kahden ensimmäisen varastointikuukauden aikana. Tätä pidemmän ajan varastoinnin jälkeen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo saattaa hieman laskea. Varastoinnin alussa kuusen kuoren tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa oli 19,3 MJ/kg ja männyn 19,9 MJ/kg.

Saapumistilassa olevan *kuoren tehollinen lämpöarvo ja energian muutos* koeaumoissa on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Taulukossa energiamäärän muutos on laskettu saapumistilan tehollisen lämpöarvon ja massan tulona.

Taulukko 1. Saapumistilan tehollinen lämpöarvo ja energiamäärän muutos aumoissa 1 ja 2 (Laskennassa kuoren tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on oletettu vakioksi, mänty 20 MJ/kg ja kuusi 19 MJ/kg.).

	Varastointi aika	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa			Energian muutos	
		Alussa MJ/kg	Lopussa MJ/kg	muutos %	GJ/1000 i-m ³	%
Auma 1						
Kuusi A	1kk	6,5	7,2	11	46	3
Kuusi B	2kk	6,3	7,2	14	56	3
Kuusi C	3kk	6,6	8,0	21	82	5
Mänty A	1kk	8,5	9,7	14	51	3
Mänty B	2kk	8,4	9,4	12	44	2
Mänty C	3kk	9,0	10,9	21	70	4
Auma 2	9 kk	10,6	9,1	-14	-58	-3
Auma 1 + 2	12 kk	8,6	9,1	6	21	1

Taulukko 2. Saapumistilan tehollinen lämpöarvo ja energiamäärän muutos aumassa 3. (Laskennassa kuoren tehollinen lämpöarvo oletettu vakioksi, kuusi 19 MJ/kg).

Varastointi aika	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa			Energian muutos	
	Alussa MJ/kg	Lopussa MJ/kg	muutos %	GJ/1000 i-m ³	%
Ilmastoimaton					
1 kk	6,4	7,8	21	84	5
2 kk	6,3	8,1	28	109	7
3 kk	6,4	8,0	26	100	6
Ilmastoitu					
1 kk	6,5	8,8	35	129	8
2 kk	6,4	8,8	38	138	8
3 kk	6,0	8,4	40	147	9

Kuiva-ainetappioiden keskiarvoksi pussimenetelmällä saatiin aumassa 2 yhdeksän kuukauden varastoinnin jälkeen 9 %. Pussimenetelmän käytössä ilmeni useita ongelmia ja tuloksia voidaan pitää vain suuntaa-antavina. Tulokset ovat kuitenkin sopusoinnussa kirjallisuustietojen kanssa.

Pussimenetelmän lisäksi kuiva-ainetappioita pyrittiin arvioimaan myös tuhkapitoisuuden ja haihtuvien aineiden muutoksien perusteella. Koska tuhkapitoisuus kasvoi varastoinnin aikana ja haihtuvien aineiden pitoisuus laski, on kuiva-ainetappioita täytynyt syntyä ainakin jonkun verran. Näytteiden pienen määrän, näytteiden epähomogeenisuuden ja tuhkapitoisuuden luontaisen suuren hajonnan takia ei tuhkapitoisuuden muutoksen perusteella voitu kuitenkaan määrittää tarkkoja arvoja kuiva-ainetappioille. Haihtuvien aineiden perusteella kuiva-ainetappioiksi saatiin 3–5 % kahden kuukauden varastoinnissa, 5–13 % kolmen kuukauden varastoinnissa ja 18 % vuoden mittaisessa varastoinnissa.

Varastoinnin hyödyt. Koska kuoren lämpöarvo kuiva-aineessa säilyi varastoinnin aikana lähes muuttumattomana, riippuu varastoinnin lopputulos lähinnä kosteuden muutoksesta ja kuiva-ainetappioista.

Laskennallisesti kuiva-ainetappio ja taulukoissa esitetty energiamäärän muutos ovat suorassa yhteydessä toisiinsa. Eli mikäli kuiva-ainetappio aumassa on yhtä suuri kuin energian muutos, jää todellinen hyöty varastoinnista energiamäärän suhteen nolllaksi.

Taulukoista 1 ja 2 nähdään, että energiamäärän muutos ensimmäisen varastointikuukauden jälkeen oli +3–5 %, kolmen kuukauden jälkeen +4–9 % ja 12 kuukauden jälkeen enää +1 %. Varastoinnin kuiva-ainetappioiksi 12 kuukauden varastoinnissa arvioitiin puolestaan 3–18 %. Näin ollen kosteuden alentumisella saavutettu hyöty todennäköisesti hävisi kuiva-ainetappioiden myötä. Näin on laita etenkin pitkäaikaisessa varastoinnissa, sillä kuiva-ainetappiot lisääntyvät varastointiajan kasvaessa.

Varastoinnin kannattavuutta arvioitaessa voi kosteuden alentumisesta seuraavilla muilla hyödyillä olla kuitenkin ratkaiseva vaikutus varastoinnin järkevyyttä arvioitaessa. Kosteuden alentumisesta johtuvia hyötyjä ovat esimerkiksi 1) poltossa esiintyvien ongelmien välttäminen etenkin talvella kostean kuoren aikana, 2) mahdollisuus lisätä kattilasta saatavaa tehoa, 3) kuljetuskustannusten vähentyminen ja 4) kuivahtaneen kuoren helpompi käsittely.

Yhdistäen kirjallisuudesta ja kenttäkokeista saadut tulokset päädyttiin tutkimuksessa seuraaviin johtopäätöksiin:

- Varastointiaika kannattaa pitää lyhyenä. Yhden kuukauden varastoinnilla saavutettiin suhteellisesti suurin hyöty (kosteuden alentuminen ja positiivinen energiamäärän muutos) ja pienimmät kuiva-ainetappiot.
- Kahden ensimmäisen varastointikuukauden aikana kuiva-aineen lämpöarvossa ja tuhkapitoisuudessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kolmen kuukauden jälkeen kuiva-aineen lämpöarvo saattaa hieman laskea ja tuhkapitoisuus nousta.
- Toisaalta yhden vuodenkaan pituinen varastointi ei vaikuttanut kuoren polttoaine- ominaisuuksiin kovinkaan suuresti. Pitkän ajan varastointia ei kuitenkaan suositella, sillä haittana ovat kasvavat kuiva-ainetappiot, kosteuden epätasainen jakautuminen, mahdolliset terveysriskit (mm. home) ja tuhkapitoisuuden nousu. Keskikosteus varastoinnin alussa ja lopussa pysyi vuoden mittaisessa varastossa lähes samalla tasolla. Kuivumisessa kolmen kuukauden aikana saavutettu hyöty hävisi lähes kokonaan varaston kostuttua uudestaan pidemmän varastointiajan myötä.

- Ilmastoinnilla voitiin varaston kuivumista tehostaa 3–4 prosenttiyksikköä ja energiamäärää lisätä 1–3 prosenttiyksikköä verrattuna ilmastoimattomaan varastoon. Ilmastoinnista saatiin suurin hyöty ensimmäisen varastointikauden aikana.
- Ilmastointiputken vaikutus ulottui noin yhden metrin alueelle. Mikäli putkia olisi laitettu aumaan useammalle korkeudelle, olisi varaston kuivuminen ollut todennäköisesti vielä voimakkaampaa.
- Puulajien välillä ei todettu eroa varastoinnin kannalta.
- Aumat kuivuivat kesällä nopeammin kuin talvella. Kesällä kuoren energiamäärän muutos oli n. 2 prosenttiyksikköä suurempi kuin talvella.
- Varaston päälle sataneen lumen tai veden vaikutus koko kuorivaraston keskikosteuteen on pieni. Tämä kävi ilmi tutkimuskokonaisuuden toisessa selvityksessä *Kuoren kosteuden alentaminen*. Lumella voi kuitenkin olla vaikutusta auman käyttäytymiseen, sillä se toimii ikään kuin peitteenä.
- Itsesyttymisen riskiä ei esiintynyt neljä metriä korkeissa koevarastoissa. Lämpötilat nousivat enimmillään hieman yli 70°C:n.

4.2 Kuoren kosteuden alentaminen

Kuoren sekaan pääsevä lumi ja jää nostavat kuoren kosteutta talvella. Tässä tutkimuksessa selvitettiin seuraavien tekijöiden vaikutuksia:

- tukkien mukana tuleva lumi ja jää
- varastokentällä tukkeihin tuleva lumi ja jää
- lumi- ja vesisateiden vaikutus kuorivarastoihin.

Pääosa tukkien mukana tulevasta irtolumesta luonnollisesti irtoaa kuormia purttaessa sekä käsittelypöydällä että lajittelussa. 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 korjataan 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 prosenttiyksikköä. 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:n kiintojäakerros tukin pinnalla nostaa kuoren kosteuspitoisuutta noin 10 prosenttiyksikköä (halkaisija 20 cm) ja noin 7 prosenttiyksikköä (halkaisija 30 cm).

Ainakin osa tukkien pinnoille jäävästä lumesta ja jäädä 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 hienoineksena 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 m³:n kuorikasan keskikosteutta noin 0,5 prosenttiyksikköä. Vastaavasti 1 metrin lumikerros (10 cm vettä) aiheuttaa sulaessaan noin 4,5 prosenttiyksikön nousun keskikosteudessa vastaavassa kasassa. Lisäksi on huomattava, että osa lumesta ja pintakosteudesta haihtuu aina ilmaan eikä kastele siltä osin kuorta.

Kuoren kosteuden alentaminen vaikuttaa sahojen talouteen monella tavalla. Kuoren arvo on suurimmilla sahoilla 500 000–650 000 euroa ja pienimmillä sahoilla alle 35 000 euroa (5,9 €/MWh). Mikäli kuoren kosteutta voitaisiin laskea vuositasolla 10–15 prosenttiyksikköä, suurilla sahoilla kuivumisesta johtuva energiamäärän kasvu lisäisi kuoren arvoa 50 000–65 000 euroa ja piensahoilla noin 3 500 euroa.

Yksistään kuoren energiamäärän lisäyksestä saatava suora taloudellinen hyöty sahoilla ei riitä investoimaan menetelmiin, joilla kuoren kuiva-ainepitoisuutta voidaan lisätä. Lisäksi on huomioitava kuoren käsittelyssä ja poltossa sekä kuljetuksessa muodostuvat hyödyt ja säästöt. Suurimman taloudellisen hyödyn sahat saavat silloin, kun ne voivat nostaa ulosmyytävän kuivemman tai muuten korkealaatuisen kuoren yksikköhintaa (€/MWh). Voidaan laskea, että suursa-
hoilla (puun käyttö 600 000 m³) syntyneen kuoren arvo lisääntyy noin 170 000 eurolla vuodessa kuoren yksikköhinnan noustessa 1,7 €/MWh kosteusalueella 30–50 %. Perusteet voima- ja lämpölaitosten maksamalle korkeammalle hinnalle tulevat siitä, että laitokset voivat sahojen hyvälaatuisilla sivutuotteilla korvata muita kalliimpia polttoaineita ja kattiloiden hyötysuhde nousee. Sama hyöty tulee mahdollisesti myös sahojen omien lämpölaitosten kautta.

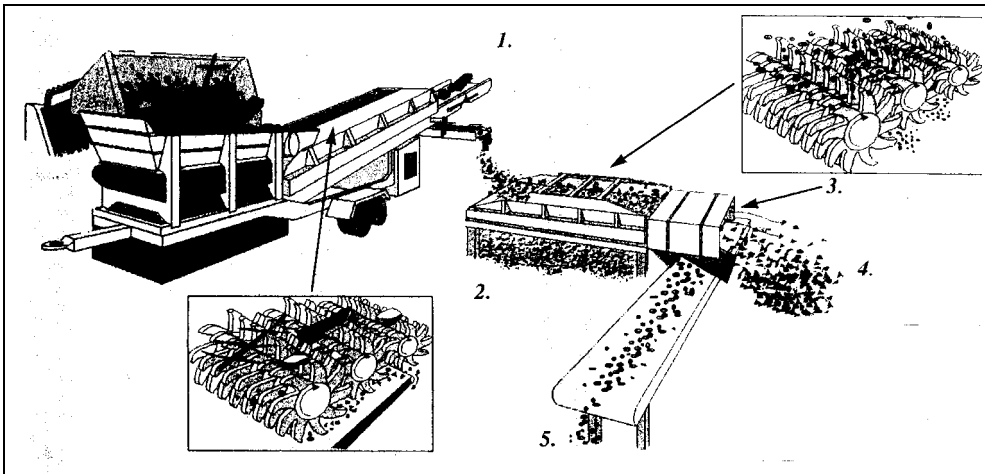
Mekaaninen vedenpoisto ja terminen kuivaus ovat menetelmiä, joilla kuoren kosteuspuitoisuutta voidaan laskea. Massateollisuuden kuorimoissa yleisesti käytetyn mekaanisen vedenpoiston soveltamisessa sahoille on monia esteitä. Tällaisia ovat suuret investointikustannukset, puristus vaatii lämmitetyn kuoren, ja miten käsitellä syntyvä suodosvesi. Lisäksi kosteuden aleneminen olemassa olevilla laitteilla jää suhteellisen pieneksi (enimmillään 5–10 prosenttiyksikköä). Terminen kuivaus on todellisempi vaihtoehto laskea kuoren kosteutta. Korkeat investointi- ja käyttökustannukset ovat kuitenkin olleet esteenä niidenkin käyttöönottoon.

4.3 Kivien erottelu kuoresta

Kivikuoren määrän arvioidaan olevan keskimäärin noin viisi prosenttia kuoren kokonaismäärästä. Kivikuorta syntyy sahoilla päällystämättömiltä tukkien varastointikentiltä sekä kivien ja hiekan jäätyessä kiinni puihin ja kivien puristuksessa tukkien väliin tukkien uudelleen lastauksessa.

Kuoren, kivien ja hiekan käsittely vaatii erotuslaitteistolta kulutuskestävyyttä. Käsiteltävien materiaalien suuri määrä ja käyttökustannusten minimointi edellyttää laitteistolta suurta kapasiteettia. Käytettävä menetelmä ei myöskään saa huonontaa käsiteltävän materiaalin muita käyttöominaisuuksia.

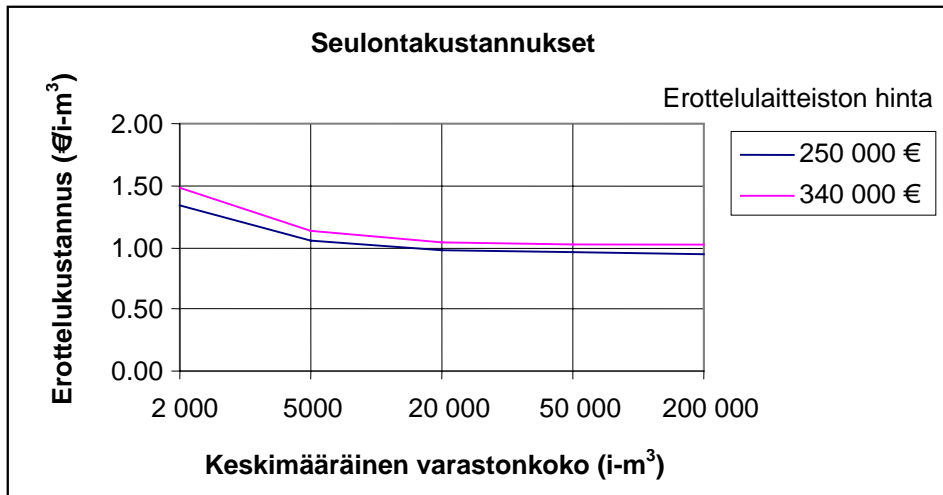
Selvitetyistä erottelumenetelmistä sopivimmiksi osoittautuivat mekaaniset tai yhdistetyt mekaaniset ja pneumaattiset seulontamenetelmät. Koska käsiteltävä materiaali on hyvin epähomogeenista tilavuuspainon, koon ja muodon suhteen, vaatii erottelu onnistuakseen useita peräkkäisiä erilaisia seulontoja kiekko- ja ilmaseulonnalla. Ainoa kuoren käsittelyn urakoitsijakäytössä Pohjoismaissa oleva erottelumenetelmä on ruotsalainen yhdistetty kiekko- ja pneumaattinen seulonta, kuva 4. Laitteisto toimii teknisesti hyvin ylivoimaisen kuoren käsittelyssä. Ongelmia on muun kuin polttokelpoisen kuoren käyttökohteitten löytymisessä sekä keväällä syntyvän kuusen pitkien kuoripalojen käsittelyssä. Ruotsissa menetelmän kilpailukykyä parantaa myös Suomea korkeampi polttoaineen hinta sekä suuret kaatopaikkamaksut.



Kuva 4. 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.

Kivikuoren erottelukustannus lasketaan olevan yhdistetyllä koko vuoden kahdessa vuorossa käynnissä olevalla kiekko- ja ilmaseulonnalla irtokuutiota kohti laskettuna noin 1 euroa. Seulontakustannus nousee voimakkaasti vuotuisen kuorimäärän laskiessa tai keskimääräisen kerrallaan käsiteltävän kuorimäärän pienentyessä alle 5 000 irtokuution.

Kuvassa 5 on laskettu kivikuoren käsittelykustannuksia. Siinä ei ole huomioitu kuoren hankinta-, varastointi- eikä kuljetuskustannuksia. Mukaan on laskettu yhden pyöräkuormaajan 34 €/h.



Kuva 5. Kivien erottelukustannukset kahdelle laitteistohinnalle laskettuina. Käyttöäksi on arvioitu kahdeksan vuotta ja korko on 6 %. Kauhakuormaajan tuntihinnaksi on arvioitu 34 euroa.

5. Tulosten hyödyntäminen

Tutkimuksessa syntyi paljon uutta tietoa kuoren varastoinnista, jota sahat ja muut mekaanisen metsäteollisuuden yritykset voivat hyödyntää mm. varastoinnin optimoinnissa ja toteutuksessa. Myös lämpölaitokset hyötyvät, mikäli kuoren varastointi toteutetaan sahoilla oikein ja polttoaineen laatu paranee. Tutkimuksen tuloksena sahoille esitettiin konkreettisia ja käytännönläheisiä ehdotuksia varaston hallinnan parantamiseksi.

Osatehtävässä kuoren kosteuden alentaminen tuotettiin koottu tietopaketti kuoren kuivaamisen taloudellisista vaikutuksista sahateollisuuden näkökulmasta. Sahat voivat käyttää tietoja hyväksi arvioidessaan kuoren kuivaamisen kannattavuutta ja kartoittaessaan eri vaihtoehtoja kuoren kuivaamiseksi ja kosteuden alentamiseksi. Myös laitevalmistajat voivat hyödyntää tietoja kehittäessään sahateollisuuden soveltuvia laitteita kuoren kosteuden alentamiseksi.

Osatehtävässä kivien erottelu kuoresta saatiin käsitys kivikuoren ongelman laajuudesta ja olemassa olevista kivenerottelutekniikoista ja -laitteista sekä nii-

den kustannuksista. Sahojen lisäksi tuloksia voivat hyödyntää mm. laitevalmistajat, jotka voivat tutkimuksen perusteella kehittää ratkaisuja kivien erottamiseen ja kartoittaa markkinanäkymiä.

Parantamalla kuoren polttoteknisiä ominaisuuksia voidaan sahojen sivutuotteiden käyttöä lisätä, parantaa niiden lämpöarvoa, vähentää kaatopaikalle menevän puujätteen 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.

Metsäteollisuuden vastapainevoimantuotannon tehostaminen – PUUT17

Pekka Ahtila
Teknillinen korkeakoulu
PL 4100, 02015 TKK
Puh. (09) 451 3622
E-mail: pekka.ahtila@hut.fi

Abstract

Project title in English: Enhancement of back-pressure Power Production in Pulp and Paper Mills

1. Yleistä

Tutkimuksen tarkoituksena on tehostaa metsäteollisuuden yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa lisäämällä sekundäärienergian hyödyntämistä kuivauksessa, ja kehittämällä uudenlaisia kuivaustekniikkasovelluksia (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).

Tutkimuksen tuloksena on syntynyt tähän mennessä uudenlainen prosessitekni-
nen ratkaisu puuaineksen kuivaukseen ennen polttoon johtamista metsäteolli-
suuden voimakattilassa. Keksinnölle on myönnetty suomalainen patentti. Kysei-
selle keksinnölle haetaan myös kansainvälistä patenttia, ja toimet keksinnön
kaupallistamiseksi ovat käynnissä. Tutkimus jatkuu.

Julkaisut ja raportit

Ahtila, P. & Spets, J.-P. Patentti. FI106817B, 12.4.2001. Järjestelmä kostean
biomassaperäisen polttoaineen kuivaamiseksi.

Hippinen, I. & Ahtila, P. 2002. Activated Sludge Drying in the Pulp and Paper
Industry by Means of Secondary Energies. In: 1st International Conference on
Sustainable Energy Technologies. Porto. Portugal. S. EES 18/79–EE 22/79.

Holmberg, H. & Ahtila, P. 2002. Drying Phenomenon in a Fixed Bed under the
Bio Fuel Multi Stage Drying. In: 1st International Conference on Sustainable
Energy Technologies. Porto. Portugal. S. EES 6/79–EES 11/79.

Holmberg, H. & Ahtila, P. 2002. Adjusting of Temperature Levels in Multi
Stage Drying System by Means of Outlet Air Measurements. In: 1st International
Conference on Sustainable Energy Technologies. Porto. Portugal. S. EES 1/79–
EES 5/79.

Holmberg, H. 2000. Sekundäärilämpöjen hyödyntäminen metsäteollisuuden
käyttämien kiinteiden polttoaineiden kuivauksessa. Energiatalouden ja voima-
laitostekniikan laboratorio. Diplomityö. TKK.

Kilponen, L. & Ahtila, P. 2001. Improvement of Pulp Mill Energy Efficiency in
an Integrated Pulp and Paper Mill. In: ACEEE Summerstudy on Energy Effi-
ciency in Industry. New York. USA. Proc. Vol. 1. S. 363–374.

Spets, J.-P. 2001. A New Multistage Drying System. In: 1st Nordic Drying Conference. Trondheim. Norway. Proc. ISBN 82-594-2073-2. Paper 13.

Spets, J.-P. & Ahtila, P. 2001. Preliminary Economical Examinations for a New Multistage Biofuel Drying System Integrated in Industrial CHP-power Plant. In: 1st Nordic Drying Conference. Trondheim. Norway. Proc. ISBN 82-594-2073-2. Paper 14.

Spets, J.-P. & Ahtila, P. 2001. A New Multistage Biofuel Drying System Integrated into an Industrial CHP-power Plant: Description of Process and Performance Calculations. In: ACEEE Summerstudy on Energy Efficiency in Industry. New York. USA. Proc. Vol. 2. S. 67–78.

Spets, J.-P. & Ahtila, P. 2002. Improving the power-to-heat ratio in CHP plants by means of a biofuel multistage drying system. Applied Thermal Engineering 22. Elsevier Science LTd. S. 1175–1180.

Vanhatalo, J. 1999. Metsäteollisuuden energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentäminen biomassoilla. Diplomityö. Energiatalouden ja voimalaitostekniikan laboratorio. TKK.

Vanhatalo, A. 1999. Metsäteollisuuden lietteiden kuivaus alipainetekniikalla energian tuotantoa varten. Diplomityö. Energiatalouden ja voimalaitostekniikan laboratorio. TKK.

Vanhatalo, A. & Ahtila, P. 2001. Drying of Forest Industry Sludge for Energy Production with Partial Vacuum Technology. In: ACEEE Summerstudy on Energy Efficient in Industry. New York. USA. Proc. Vol. 2. S. 435–443.

Puupolttoaineen laadun ja tuotantotehokkuuden parantaminen haketustekniikkaa kehittämällä – PUUT18

Veli Seppänen, Heikki Kaipainen, Seppo Kovanen & Lauri Nikala
VTT Prosessit, Jyväskylä
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 611, faksi (014) 14 672 596
e-mail: etunimi.sukunimi@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Improving wood fuel quality and chipping capacity by developing the chipping technique

The goal of the project is to decrease the chipping costs and to improve forest chip quality by developing the chipping technology.

The knife costs in forest residue chipping are about 0.15 €/loose-m³. The main reason for high wear in knives is stones and other impurities in logging residues.

The good enough quality for power plant use is easy to achieve. Small problem is that the long sticks slip sporadically between drum and counter blade.

The energy consumption in chipping hang on the sharpness of knives and feeding angles.

High speed video camera is a good instrument in finding what happens inside the chipper. A new experimental chipper at VTT Jyväskylä offers a good opportunity to study drumchipping in efficient way.

1. Johdanto

Haketuksessa energiaa kuluu leikkuu- ja lohkaisutyön lisäksi moniin haketukseen liittyviin muihin toimintoihin, jotka voidaan laskea myös haketustapahtumaan kuuluvaksi. Haketukseen järjestelmätasolla voidaan laskea kuuluvaksi seuraavaa:

1. hakuria syöttävän kuormaimen energiankulutus
2. syöttökuljettimien energiankulutus
3. rummun pyörytykseen käytetty energiankulutus
4. hakkeen siirtoon kaukokuljetukseen tai kasaan käytetty energiakulutus
5. haketuskaluston siirrot
6. haketukseen liittyvien henkilöiden työmatkat
7. haketusjärjestelmään kuuluvien koneiden ja laitteiden valmistus, huolto ja romutus.

Leikkuuseen kulutettu energia on vain pieni osa koko haketusjärjestelmän energiankulutuksesta. Tarkkoja mittauksia haketusjärjestelmän eri osien energiankulutuksesta ei ole käytettävissä.

Haketukseen kulutettu energia on vain yksi haketuksen kustannustekijöistä, tosin polttomoottorikäyttöisillä laitteilla yhä merkittävämpi tekijä kallistuvan öljyn hinnan vuoksi.

Oleellisia tekijöitä haketuskustannuksiin ovat myös haketuskapasiteetti ja hakurin käyttöaste.

2. Tavoite

Projektin tavoite on, että tutkimuksen tuloksia soveltamalla haketuslaitteita valmistettaessa ja käytettäessä hakkuutähdehakkeen haketuskustannusta voidaan

alentaa 10 % vuoden 2000 kustannustasoon verrattuna. Hakkuutähdehakkeen palakotavoitteeksi ennen seulontaa asetetaan: 3 mm:n reikäseulan läpäisevää jaetta alle 20 %, 45 mm:n reikäseulan läpäisevää jaetta vähintään 95 %, yli 100 mm:n kappaleita alle 2 % ja yli 250 mm:n kappaleita ei ollenkaan.

3. Projektin toteutus

3.1 Hakkuutähdehaketuksen teräkustannukset

Tässä projektissa tehtiin teräkustannusten kyselytutkimus koneyrittäjäliiton jäsenille, jotka harjoittavat haketusta. Lisäksi tehtiin seurantatutkimusta terien kulumisesta Chipset 536C -hakeharvesterissa ja Giant-välivarastohakkurissa.

Terien kulumisen mittaamiseen kokeiltiin laser-tekniikkaa, digitaalikuvasta kuvankäsittelyn avulla mittausta, työntömitalla määrävälein mittausta ja terän painon muutosta. Kaksi viimeksi mainittua tekniikkaa näyttivät käyttökelpoisimmilta ja lopuksi tulokset analysoitiin työntömitalla mittauksiin perustuen.

Terien nopean tylsymisen vuoksi kokeiltiin myös terien kehittämistä ja teroituksen nopeuttamista. Tässä työssä kokeiltiin terien teroittamista paikallaan hakkurissa tekemällä hiomakoneella vastaviiste terään. Myös kovametallivahvisteista terää kokeiltiin.

3.2 Haketuskokeet perinteisellä rummulla

Hakkuutähdehakettamistutkimuksia tehtiin VTT:n rumpukoehakkurilla, kuva 1. Haketuskokeita tehtiin kaksi koesarjaa.



Kuva 1. VTT:n rumpukoehakkuri.

Ensimmäisessä koesarjassa tutkittiin lähinnä syötön vaikutusta haketukseen. Toisessa koesarjassa tutkittiin leikkuunopeuden ja hakkurin terien terävyyden vaikutusta leikkuuenergian kulutukseen ja hakkeen laatuun.

Haketuskokeisiin hankittiin Kotimaiset Energiat Pekka Lahti Ky:ltä tuoretta hakkuutähdettä. Hakkuutähdettä valittiin käsin kuhunkin kokeeseen niin, että se oli eri kokeissa mahdollisimman samanlaista. Koska samanlaisuutta ei voida täysin varmistaa käsin valinnallakaan, niin jokaisesta haketuskokeesta saadusta hakkeesta erotettiin jakolaitteella seulontaa ja kuivatuoretiheyden määrittystä varten näyte ja toinen näyte kosteuden määrittystä varten.

Rummun pyörittäykseen käytetty teho laskettiin kaavan 1 mukaisesti

$$P = M \cdot 2\pi \cdot n, \quad (1)$$

missä

P	on teho, W
M	on vääntömomentti, Nm
n	on kierrosnopeus, 1/s.

Kokeessa kulutettu leikkuuenergia laskettiin kertomalla kaavasta 1 saatu hetkellinen teho kahden tehomittauksen välisellä ajalla. Mittausten väli oli 0,5 ms. Mittausten väliset leikkuuenergiat laskettiin yhteen kokeen haketusajalta. Näin saatiin kokeessa kulutettu leikkuuenergia.

Kokeet ajettiin sellaisella kapasiteetilla, että hakkurin rumpu pyöri kokeen alussa ja lopussa samalla kierrosnopeudella. Tämän vuoksi rummun massahitausmomenttia ei otettu huomioon koko jakson energiankulutusta laskettaessa.

Edellä mainitussa kohdassa käsitellään vain rummun pyörytykseen käytettyä energiaa. Haketus kuluttaa rummun pyörytyksen lisäksi energiaa moniin muihin toimintoihin.

Haketuskokeissa suunniteltuina muuttujina olivat: leikkuunopeus, patjan tiiviys, seulan käyttö, syöttötelan etäisyys terän kärjestä, puulaji, terän terävyys ja teräkulma. Ei-suunniteltuina muuttujina olivat kapasiteetti, kosteus ja kuivatuoretiheys, jotka pyrittiin pitämään mahdollisimman vakioina.

Vastemuuttujina olivat energiankulutus hakettua kiintokuutiota, kuiva-ainetonna tai tuoretonnia kohti, pisimmän kappaleen pituus, yli 100 mm:n pituisten kappaleiden osuus, yli 30 mm:n jakeen osuus ja alle 7 mm:n jakeen osuus.

Hakkeen kiertynyt osuus määritettiin ottamalla talteen rummun yli syöttöpuolelle palautunut hake. Syöttöpuolelle palautuneen hakkeen suhde koko hakkeen määrästä on kiertynyt osuus.

Hakkuutähteen kuivatuoretiheysmääritys aloitettiin seulomalla näyte analyysi-seulalla. 7 mm:n reikäseulan läpäisseen hakkeen kuivatuoretiheys laskettiin kirjallisuustietojen perusteella kuusen neulasten ja kuusen oksakuoren kuivatuoretiheyksien keskiarvona. Kuusen neulasten kuivatuoretiheys on 353 kg/m³ (Gislerud 1974) ja kuusen oksien kuoren 348 kg/m³ (Kärkkäinen 1976). Keski-

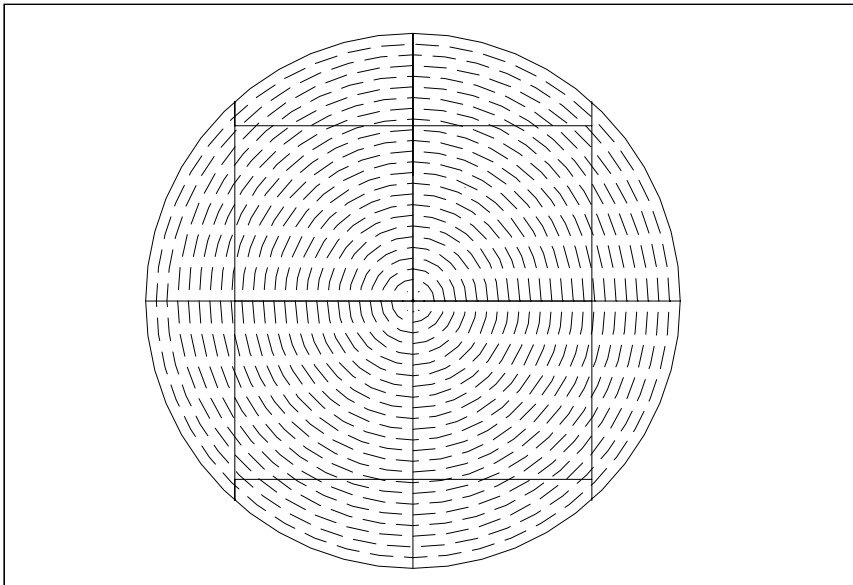
arvoksi näistä saadaan $350,5 \text{ kg/m}^3$. Analyysiseulonnassa 7 mm:n reikäseulan läpäisemättömälle jakeelle määritettiin jokaisesta kokeesta otetusta näytteestä kuivatuoretiheys SCAN CM-43:95:n mukaan. Koko hakkuutähdenäytteen kuivatuoretiheys laskettiin painottaen hienon ja karkean jakeen kuivatuoretiheyksiä analyysiseulonnan tuorepainojen suhteella. Menettely aiheuttaa hieman virhettä kuivatuoretiheyden määrittämiseen erityisesti tylsillä terillä hakettaessa, jolloin puuaineksesta syntyy hienoainesta merkittävästi.

3.2.1 Leikkuuvoiman tutkiminen

3.2.1.1 Näyterimojen valmistaminen ja ominaisuudet

Leikkuukokeita varten hankittiin kuusi- ja mäntypuunäytteitä Saarijärveltä Keski-Suomen Metsäkoulun toimittamana. Runkopuusta sahattiin 40 x 40 mm:n rimoja pölkyn päästä katsottuna kuvan 2 mukaisesti. Näyterimoja on kuivumassa kuvassa 3.

Oksista sahattiin myös 40 x 40 mm:n rimoja niin, että leikkuuvoiman mittauksissa leikattu riman osa oli täysikanttista.



Kuva 2. Runkopuusta valmistetun riman leikkaustapa pölkyn päästä katsottuna.



Kuva 3. Sahattuja näyterimoja ja männyn oksan jäännöspala.

Pölkystä mitattujen vuosilustojen paksuuden perusteella valittiin pölkkyt, joista tehtyjä rimoja käytetään kokeissa. Näyterimoista mitataan vuosiluston leveys, määritetään kuivatuoretiheys ja kosteus leikkuukokeen jälkeen.

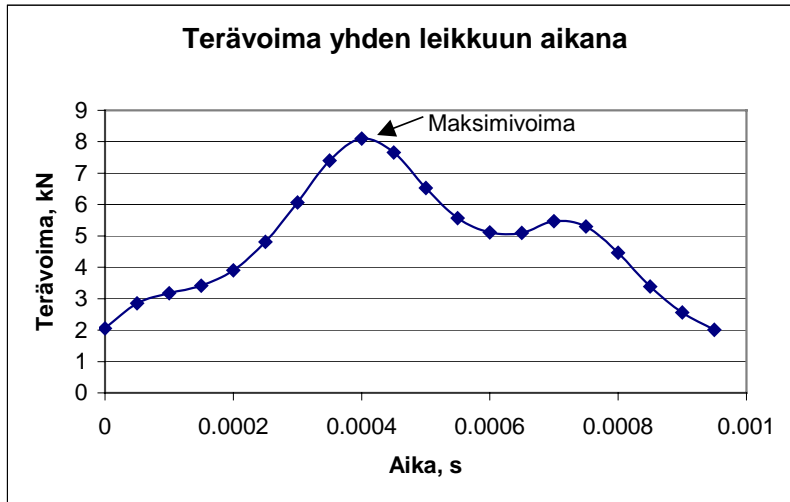
Leikkuukokeille laadittiin Unscrambler-koesuunnitteluohjelmalla koeohjelma. Siihen lisättiin kokeita suunnitelluilla muuttujilla, jotka eivät olleet mukana varsinaisessa koeohjelmassa.

Koesuunnitelman mukaisissa kokeissa suunniteltuina muuttujina olivat lämpötila, kuivatuoretiheys, kosteus, syöttökulma, leikkuun vinous, puulaji ja leikkunopeus. Lisäkokeissa suunniteltuina muuttujina olivat terän kuluneisuus ja teräkulma.

Suunnittelemattomia muuttujia ei ollut.

Vastemuuttujia olivat leikkuuvoiman maksimi, leikkuuvoiman yläkvartiili ja viiden suurimman leikkuuvoiman keskiarvo.

Leikkuuvoima kussakin kokeessa laskettiin yhden riman haketuksesta saatujen 10–50 leikkauksen voimamittausten perusteella. Yhdestä leikkauksesta saatiin kuvan 4 mukainen käyrä.

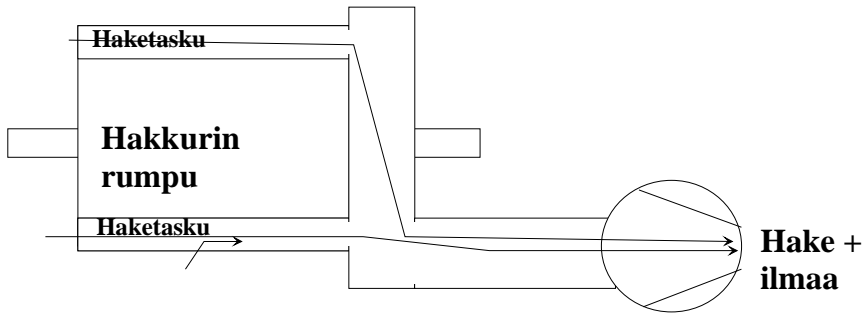


Kuva 4. Terävoiman kehittyminen riman läpileikkuun aikana.

Kuvan 4 mukaiset maksimileikkuuvoimat kirjattiin jokaisesta koeajosta erikseen. Runkopuunäytteiden koeajoissa niistä poistettiin yleisestä tasosta selvästi suuremmat piikit, koska ne ovat todennäköisesti oksakohtia. Jäljelle jäi 10–50 arvoa, joista laskettiin yläkvartiili, keskiarvo ja viiden suurimman piikin keskiarvo.

3.3 Päästä imevän rumpurakenteen kehittäminen

Hakkuutähteen haketuskokeiden ja aikaisemman tiedon perusteella tiedetään haketuksen eräiksi ongelmiksi hakkeen kiertyminen rummun ympäri takaisin syöttöpuolelle ja risujen ja päreiden pääsy hakkeen joukkoon. Näitä ongelmia uudella rumpurakenteella oli tarkoitus ratkaista. Kuvassa 5 esitetään kokeillun rumpurakenteen periaatekuva.

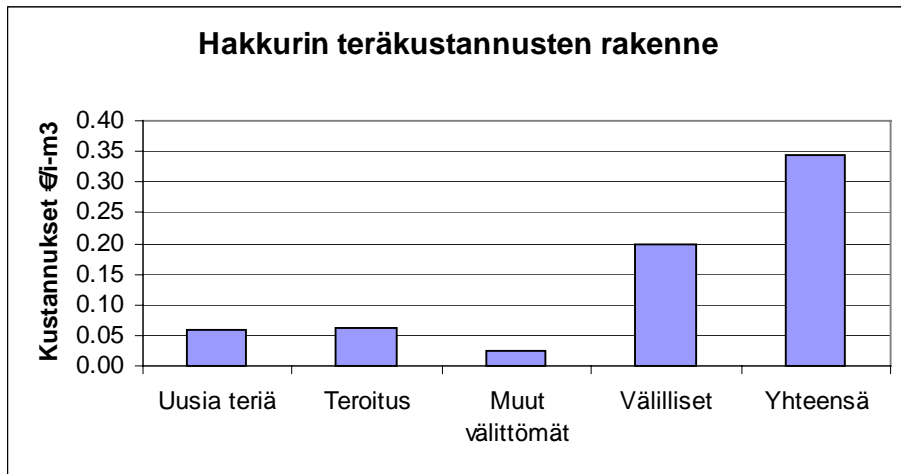


Kuva 5. Päädyistä imevän rumpurakenteen periaatekuva.

4. Tulokset

4.1 Haketuksen teräkustannukset

Haakeyrittäjille tehdyn kyselyyn vastasi seitsemän yrittäjää. Välittömät teräkustannukset olivat keskimäärin $0,15 \text{ €i-m}^3$. Terien teroituskustannukset ja uusien terien hankintakustannukset olivat noin $0,06 \text{ €i-m}^3$. Terien huoltotyön johdosta saamatta jääneiksi haketustuloiksi yrittäjät arvioivat keskimäärin $0,2 \text{ €i-m}^3$, kuva 6. Terien kulumisen seurannan perustella (kohta 4.2) lasketut teräkustannukset olivat $0,17 \text{ €i-m}^3$. Teräkustannukset voidaan todeta olevan noin $0,15 \text{ €i-m}^3$, mutta vaihtelua on runsaasti ylöspäin kivisissä haketuskohteissa.



Kuva 6. Haakeyrittäjien teräkustannukset metsähakkeen tuotannossa (€i-m^3).

4.2 Hakkurin terien kuluminen

Terien kulumisen seuranta tehtiin Chipset-hakeharvesterilla ja Giant-välivarastohakkurilla. Teräseuranta aloitettiin uusilla terillä. Tuotanto-olosuhteet olivat vaikeat syksyn sateiden ja sulan maan vuoksi syksyllä 2000. Välivarastohaketusta haittasivat hakkuutähteen joukkoon joutuneet kivet huonon korjuu-olojen vuoksi ja varastokasojen jäätyminen räntäsateiden vuoksi.

Terien kulumiseen vaikuttaneita tekijöitä analysoitiin Unscrambler-muuttuja-analyysiohjelman avulla sekä Excel-regressioanalyysin avulla. Analyysi antaa vain suuntaa antavia tuloksia, koska teräseuranta ei perustunut täysin järjestettyihin kokeisiin ja mm. epäpuhtauksien määrä perustui kuljettajien arvioon kivisyydestä eikä epäpuhtauksien todellisen määrän mittauksiin. Myöskin terien nopeampi kuluminen käytön alussa kuin lopussa aiheuttaa virhettä lineaarista analyysiä käytettäessä, koska teriä ei käytetty niin, että ne olisivat kuluneet saman verran jokaisella käyttökerralla.

Excel-ohjelmalla lasketulla regressioanalyysillä todettiin, että merkittävimmät kulumiseen vaikuttavat muuttujat ovat haketettu määrä ja kivisyys. Kuluminen näiden muuttujien funktiona antaa yhtälön 2.

$$Y = 0,11 + 0,005 * X_1 + 0,67 * X_2, \quad (2)$$

missä

Y on terän kärjen kuluminen, mm

X_1 on haketettu määrä, $i\text{-m}^3/\text{terä-m}$

X_2 on kivisyys, 0 = ei kiviä, 1 = vähän kiviä, 2 = normaali, 3 = kivistä, 4 = hyvin kivistä tai muita isoja epäpuhtauksia.

Käyttökokeissa olleita teriä teroitettiin keskimäärin 6 mm käyttökerrallaan. Käyttökokeissa olleita teriä rikkoutui muutamia seurannan aikana. Jokainen terän rikkoutuminen aiheuttaa vakavan konerikon mahdollisuuden.

VTT:ssä suunniteltiin kuvan 7 mukainen kovametallivahvisteinen hakkurin terä.



Kuva 7. Kovametallivahvisteinen hakkurin terä. Harmaa osa on kovametallia.

Kovametalliterä rakennettiin VTT:n, Tikomet Oy:n ja Rummakko Oy:n yhteistyönä. Koekäytössä terä oli Chipset-hakeharvesterissa Oulun seudulla. Kokeen tuloksena voitiin todeta, että kovametalli ei kestänyt siihen kohdistuneita iskuja, vaan se lohkeili isoina paloina. Tulos on, että kovametallia ei voida käyttää hakkuutähdehakkurin terässä.

4.3 Leikkuuvoima puurimojen haketuksessa

Puurimoja hakettaessa VTT:n rumpukoehakkurilla leikkuuvoimaan vaikuttavista muuttujista merkittävimmät olivat terän terävyys, leikkuun vinous, syöttökulma ja kuivatuoretiheys. Seuraavaksi eniten vaikuttivat lämpötila, teräkulma ja puulaji. Kosteudella ja leikkuunopeudella sekä sillä, onko puu oksaa vai runko-puuta, ei ole kovin suurta merkitystä leikkuuvoimaan, jos kaikki muut muuttujat ovat samoja. Kun leikkuuvoima ilmoitetaan muuttujien syöttökulman, leikkuun vinouden, terän terävyyden ja kuivatuoretiheyden funktiona saadaan kaava 3. Mallin selitysaste (R^2) on 0,81.

$$Y = -0,16 + 0,006 \cdot X_1 - 0,003 \cdot X_2 - 0,085 \cdot X_3 + 0,000253 \cdot X_4, \quad (3)$$

missä

Y on leikkuuvoima/riman leveys, kN/mm

X_1 on syöttökulma, astetta

X_2 on leikkuun vinous, astetta

X_3 on terän terävyys, mm (terän kärjestä kulunut pois)

X_4 on kuivatuoretiheys, kg/m^3 .

4.4 Hakkuutähteen haketuksen energiankulutus

VTT:n rumpukoehakkurilla tehtiin ensin koesarja, jolla haarukoitiin leikkuunopeuden, syötön tiiveyden, seulan käytön ja syöttötelan etäisyyden vaikutusta leikkuuenergian kulutukseen. Syöttötelan etäisyydellä, seulan käytöllä ja syötön tiiveydellä oli vain pieni merkitys energiankulutukseen.

Toisessa koesarjassa suunniteltuina muuttujina olivat terän terävyys, leikkuunopeus ja teräkulma. Leikkuunopeudella ei ollut suurta merkitystä suhteessa terän terävyyden ja teräkulman vaikutukseen. Terän terävyys ja teräkulma yhdessä selittävät 95 % leikkuuenergian kulutuksesta. Leikkuuenergia terän terävyyden ja teräkulman funktiona esitetään kaavalla 4.

$$Y = -1,79 - 0,69 \cdot X_1 + 0,0843 \cdot X_2, \quad (4)$$

missä

Y on leikkuuenergia, kWh/m³

X_1 on terän terävyys, 0= täysin terävä, kärjen kuluminen negatiivisena lukuarvona, mm

X_2 on teräkulma, astetta.

Hakkeen kiertyminen rummun ympäri takaisin syöttöpuolelle havaitaan hyvin suurnopeusvideokuvauksella. Eräissä hakkurirakenteissa se havaitaan jo paljaalla silmällä. Hakkeen kiertymisen vaikutus leikkuuenergian kulutukseen laskettiin olevan noin 10 %. Kiertyminen lisää hakkeen leikkautumista ja lisää hienoaineen määrää, mikä voi olla huono piirre.

4.5 Hakkeen palakoko

VTT:n koehakkurin muuttujilla voitiin selittää seulonta-analyysien tuloksissa havaitut muutokset. Käsien mitattuja pisimpiä kappaleita ei voitu selittää käytettyjen muuttujien avulla. Selityksenä tälle esitetään, että pitkiä kappaleita pääsee hakkeen joukkoon satunnaisesti sekä leikkauksen yhteydessä haketasussa että leikkausten välillä rummun pinnan ja vastaterän välistä, kuva 8. Tikkujen pääsyn hakkeen joukkoon estämiseksi rakennettiin VTT:n rumpukoehakkurin päädyistä

imulla purettavat haketaskut. Purkaminen ei onnistunut kohtuullisella imulla. Imun lisääminen lisäisi haketuksen energiankulutusta niin huomattavasti, että sitä ei katsottu kannattavaksi kokeilla.



Kuva 8. Hakkuutähterisun hankautuminen vastaterän ja rummun pinnan välistä.

5. Johtopäätökset

Teräkustannuskyselyn ja terien kulumisen seurannan perusteella laskettiin, että hakkuutähteen haketuksessa välittömät teräkustannukset ovat noin $0,15 \text{ €i-m}^3$. Lisäksi terähuollosta johtuen tulee tulonmenetyksiä noin $0,2 \text{ €i-m}^3$.

Teräkustannusten alentamiseksi kokeiltiin kovametallivahvisteista terää. Se ei kestänyt, vaan kovametalli lohkeili iskujen vaikutuksesta.

Yli 250 mm:n kappaleiden syntymistä nykyinen VTT:n rumpukoehakkurin rakenne ei täysin estä. Karkean, yli 100 mm:n, jakeen syntymistä vähentävät leikkuunopeuden lisääminen, seulan käyttö, syötön tiivistäminen ja syöttötelan siirtäminen mahdollisimman lähelle rumpua. Hakkuutähteen ominaisuudet, kuten korkea kuivatuoretiheys ja alhainen kosteus, vähentävät karkean jakeen syntymistä.

Tavoitteeksi asetettu kymmenen prosentin kustannussäästö haketuskustannuksissa on mahdollinen hakkurin rakenteita muuttamalla. Keinoja ovat hakkeen kiertymisen estäminen, leikkuunopeuden alentaminen, syöttökulman optimointi, leikkuun vinouden optimointi ja epäpuhtauksien vähentäminen syötteessä.

Hakkeen kiertymisen vähentäminen mahdollistaa hakkurin kapasiteetin noston, vähentää leikkuuenergiaa, vähentää terien kulumista ja vähentää hienoaineen syntymistä.

Leikkuunopeuden alentaminen alentaa energiankulutusta, vähentää terien kulumista, mutta voi lisätä investointikustannusta ja lisätä karkean jakeen osuutta.

Haketuksen leikkuuenergian (rummun pyörytykseen kulutettu energia) kulutus on terävillä terillä alimmillaan vain $0,5 \text{ kWh/m}^3$ ($1,8 \text{ MJ/m}^3$). Tylsillä terillä vastaava leikkuu-energia on vähintään $2,5 \text{ kWh/m}^3$ (9 MJ/m^3). Käytännön haketusketju kuluttaa dieselöljyä haketuotannossa noin $2,5 \text{ litraa/m}^3$ ($25 \text{ kWh/m}^3 = 90 \text{ MJ/m}^3$). Tämän perusteella käytännön haketukseen käytetyt liikuteltavat laitteet kuluttavat käyttämästään energiasta vain pienen osan leikkuutyöhön. Hakkurin muut toiminnot vievät niin suuren osan energiasta, että leikkuuenergian kulutuksessa tapahtuneet suuretkaan muutokset eivät juuri näy haketukseen kuluneessa kokonaisenergiassa. Hakkurin muiden toimintojen oletetaan tässä kuluttavan energiaa hakkeen tuotannon suhteessa. Leikkuuenergian lisääntynyt tarve tylsillä terillä näkyy sen vuoksi alentuneena haketuotantona, mutta ei juurikaan lisääntyneenä polttoaineen kulutuksena.

Rummun ympäri hakkeen kiertymisen estämiseksi kokeiltiin rummun päädyistä imuilman avulla purkavaa uutta rumpurakennetta, mutta se ei siirtänyt haketta halutulla tavalla. Pneumaattinen hakkeen siirto ei ole kirjallisuuden mukaan edullinen energiataloudellisesti, joten sen käyttöön täytyy olla muita painavia syitä.

Suurnopeusvideokuvauksen perusteella tiedetään, että hake ei jää haketaskuun ja että risuja luisuu vastaterän ja rummun välistä hakkeen joukkoon.

Lähteet

Hakkila, Pentti. 1989. Utilization of Forest Biomass. ISBN 3-540-50299-8 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Sringer Series in Wood Science. 568 s.

SCAN CM 43:95. Massan valmistuksessa käytettävä hake. Kuivatuoretiheys. 4 s.

Gislerud, Olav. 1974. Heltreutnytjelse. III. Biomassetap under terengtransport av tynningsvirke. NISK Skogstekn. Avd. 10 s.

Kärkkäinen, Matti. 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Silva Fenn. 10, s. 212–236.

Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käytettävyyteen – PUUT24

Markku Orjala
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 534, faksi (014) 672 597
e-mail: Markku.Orjala@vtt.fi

Janne Kärki
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 549, faksi (014) 672 597
e-mail: Janne.Karki@vtt.fi

Martti Mäkipää
VTT Prosessit
PL 1703, 02044 VTT
Puh. (09) 456 5407, faksi (09) 463 118
e-mail: Martti.Makipaa@vtt.fi

Maria Oksa
VTT Tuotteet ja tuotanto
PL 1703, 02044 VTT
Puh. (09) 456 5412, faksi (09) 463 118
e-mail: Maria.Oksa@vtt.fi

Abstract

Project title in English: The effect of wood fuels on power plant availability

The objective of this research is to determine critical properties of wood fuels in respect of power plant availability, to determine the optimal conditions for reducing detriments, and to study the effect of storing and processing of wood

fuels on the boiler operation. Both, the CFB and BFB technologies are studied. The project started in December 2000 and it will be ended in March 2003. Experts of the Energy Production research field at VTT Processes carry out the majority of the research activities. Experts in the research field of Mineral Processing, located in Outokumpu, participate in analytics, and the research field of Material and Manufacturing Technology of VTT Industrial Systems in Otaniemi participates in the research on material effects. System Technology Laboratory of Oulu University, under the supervision of Professor Urpo Kortela, is responsible for the power plant automation and for the research on boiler control technology. Co-operation related to the analytics of heat transfer surface deposition and corrosion with the EU's JRC has continued as established in the Combustion of Forest Chips -project but mainly in a so-called "CORBI"-EU-project. Additionally, VTT co-operates with Swedish Värmeforsk Ab in the form of information exchange on experiences of wood fuel utilization in Swedish power plants. The 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

Puun laajoissa rajoissa vaihtelevat polttotekniset ominaisuudet asettavat uusia vaatimuksia tulipesäolosuhteiden optimoinnille sekä lämmönsiirtimien ja tulistimien konstruktiolle ja materiaaleille. Puupolttoaineiden ominaisuuksia, joilla on vaikutusta voimalaitosten käytettävyyteen, ovat mm. tuhkapitoisuus, tuhkan sulamislämpötila ja koostumus.

VTT on tutkinut metsähaketta Puuenergian teknologiaohjelman aikaisemmissa tutkimuksissa. Poltto-ominaisuuksiin vaikuttaa se, poltetaanko hake yksin vai käytetäänkö sitä muiden polttoaineiden joukossa. Tutkimuksissa on todettu laboratoriokokeiden perusteella, että metsähakkeen pienikin klooripitoisuus aiheuttaa haitallisia alkalikloridikerrostumia. Kun metsähakkeen sekaan lisättiin turvetta, ei vastaavaa alkalikloridikerrostumaa ollut havaittavissa. Rikkipitoisen turpeen läsnä ollessa kloori vapautuu savukaasun mukana kloorivetyinä (HCl).

Vaikka palaminen leijukerros poltossa tapahtuu matalassa lämpötilassa, aiheuttaa tuhkan epätoivottu käyttäytyminen monia ongelmia biopolttoaineita poltettaessa.

Aiemmissa ohjelman tutkimuksissa 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.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää suunniteltaessa puun käytön lisäystä tai laadun vaihdosta laitoksella. Puupolttoaineiden käytön ongelmia ovat erityisesti tuhkan korkeasta alkalimetallipitoisuudesta johtuvat

- petipartikkelien agglomeroituminen
- toiminnan kannalta haitalliset kerrostumat erotussykloneissa
- lämpöpintojen ja tulistinputkien kerrostumat sekä niistä johtuva korroosion kiihtyminen
- tulipesän alaosan tuhkakertymät, jotka häiritsevät polttoaineen ja palamisilman syöttöä.

2. Projektin tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on määrittää puupolttoaineiden kriittiset ominaisuudet voimalaitoksen käytettävyyden kannalta ja määrittää optimaaliset olosuhteet ja toimet haittojen vähentämiseksi.

3. Tulokset

3.1 Käytettävyysselvitys

VTT selvitti kyselykaavakkeen avulla puun käytön merkitystä voimalaitosten käytettävyyteen. Selvitys tehtiin lämpöteholtaan noin 100–300 MW_{th} puuta käyttävillä leijukerroskattiloilla ja siinä oli mukana 12 laitosta. Selvityksessä kartoitettiin mahdolliset ongelmat ja olemassa olevat ratkaisut. Kyselyn tuloksina saatujen kulutustietojen ja yksikköhintojen perusteella tehtiin arvioita vuotuisista voimalaitoksen käyttökustannuksista.

Puupolttoaineet ovat tämänkin kyselyn perusteella melko vaikeita ja ongelmallisia voimalaitosten käytettävyyden kannalta. Lähes kaikki kyselyn laitokset ovat

kohdanneet ongelmia varastopurkaimissa, kuljettimilla tai syöttölaitteilla. Ongelmat ovat aiheutuneet mm. tukoksista ja laitteiden jumittumisista sekä mekaanisesti heikoista laitteista. Ongelmia on ratkaistu mm. puupolttoaineiden käyttörajoituksilla, tehostamalla toimitusten valvontaa (ja reklamoimalla polttoainetoimittajia), laitteiden ja kuljettimien ennakkohuolloilla tai uusimalla vastaanotto- ja varastojärjestelmiä. Ongelmia ei ole esiintynyt, kun polttoainekentän purku tapahtuu pyöräkoneella. Uudet, erityisesti puupolttoaineille kehitetyt, vastaanotto- ja varastojärjestelmät eivät välttämättä poista kaikkia ongelmia, mutta vähentävät niitä varmasti.

Useimmat laitoksista saavat syötettyä polttoaineen tasaisena virtana kattilaan. Polttoaine ei kuitenkaan jakaudu kuin harvoilla tasaisesti eripuolille kattilaa. Eroja jakautumisessa ei juurikaan ole, kun polttoaineena on puuta verrattuna muiden polttoaineiden käyttöön. Ongelmien ratkaisuun on käytetty parempia laitteistovalintoja, mahdollisimman tasaisia polttoainesekoituksia sekä kehittyneempiä säätöjärjestelmiä. Automaation ja säätöjärjestelmien kehittyminen tuovat etuja polttoaineen syötön ongelmiin ja näiden merkitys korostuu tulevaisuudessa yhä kasvavassa määrin.

Enemmistö vastaajista on havainnut petiin liittyviä ongelmia puupolttoaineiden käytön aikana. Ongelmia ovat olleet mm. sintraantumisriskin kasvu, kuivalla polttoaineella petimateriaalin liika lämpeneminen ja vastaavasti märällä polttoaineella lämpötilojen laskeminen. Ongelmien ratkaisuun on käytetty petihiekan vaihtoa, kuivien ja märkien polttoaineiden sekoittamista ja yleensäkin polttoaineen sekoituksen tehostusta. Hiukan yli puolella laitoksista on pedin vaihtotarve kasvanut puupolttoaineiden käytön aikana.

Useimmilla laitoksilla puupolttoaineet vaikuttavat tulipesän lämpötiloihin ja kaikille näille aiheutuu sen johdosta erinäisiä ongelmia. Ongelmat ovat olleet polttoaineen kosteudesta johtuvia (märällä polttoaineella ei pedin lämpötila ole riittävän korkea ja kuivat polttoaineet nostavat tulistuslämpöjä ja pedin lämpötilaa). Tukipolttoaineita esim. öljyä kuluu enemmän, koska liika kosteus pudottaa lämpötiloja. Myöskään savukaasupuhaltimet eivät ole enää riittävän tehokkaita kosteiden puupolttoaineiden takia. Ongelmien käsittelyyn on mietitty tarkempien tulipesämittausten asentamista sekä polttoainetoimitusten valvontaa. Puolet vastaajista on sitä mieltä, että lämpötiloissa on eroja eri puupolttoaineilla. Vaihtelua esiintyy juuri kosteuden mukaan.

Pääosa laitoksista on havainnut, että puupolttoaineet vaikuttavat lämpöpintojen kerrostumiin. Useimmat ovat havainneet ainakin kerrostumien lisääntyvän. Vaikutuksia on huomattu mm. erityyppisinä kerrostumina riippuen lämpöpintojen sijainneista ja kaasun lämpötiloista. Kerrostumat ovat paksuuntuneet, kun puun osuutta on lisätty ja lisäksi kerrostuma-alue on laajentunut. Yli puolet laitoksista on tehnyt tarkempia tulistinputkien kerrostumien analysointeja. Joissain laitoksissa ongelmien on todettu olevan vielä melko pieniä, eivätkä ne vaikuta lämmönsiirtoon merkittävästi. Lähes kaikki ovat kuitenkin sitä mieltä, että puupolttoaineiden laaduilla on ollut eroa. Kerrostumaongelmien ratkaisukeinoja olivat mm. ajolämpötilan rajoitus kuumakorroosion takia, tulistinmateriaalien muutos, viherhakkeen käyttörajoitukset, mahdollisimman tasalaatuinen polttoaine sekä tulistimien pesu vuosihuollossa. VTT on tehnyt tähän kyselyyn liittyvän projektinkin puitteissa kerrostuma- ja korroosiomittauksia useilla puupolttoainetta käyttävillä laitoksilla. Jo noin yhden kuukauden mittausjaksoissa on havaittu kerrostumien vaikuttavan lämmönsiirtoon ja edelleen laitoksen hyötysuhteeseen.

Harva laitos kokee, että puupolttoaineiden käyttö lisääsi nuohoustarvetta. Keskimäärin laitokset nuohoavat 1,2 kertaa/vrk, vaihteluvälin on 0–3 kertaa/vrk. Koska nuohouskustannukset eivät merkitse kokonaiskäyttökustannuksissa kuin murto-osan, voisi olla ehkä tapauksesta riippuen kannattavaa toteuttaa nuohousta useammin. Nuohouksen lisääminen voi tuoda lisäongelmiakin, kuten esim. suojaavan oksidikerroksen poistuminen lämmönsiirtopinnoilta, mutta hyötynä saadaan vastaavasti parempi lämmönsiirto (ja kattilahyötysuhde). Joissain laitoksissa nuohousjärjestelmät voivat olla todella huonosti toimivia, jolloin ne eivät puhdistu pintoja lainkaan suunnitellulla tavalla. Riittävä ja toimiva nuohous antaa hyvän perustan puupolttoaineiden käytölle ja nuohousasiat kannattaakin huomioida hyvin esim. laitoksen suunnitellessa puupolttoaineiden käytön lisäämistä.

Puolet vastaajista toteaa, että puupolttoaineet ovat vaikuttaneet tuhkan ominaisuuksiin. Ongelmia jälkikäytön kannalta on ollut se, ettei puun ja turpeen seostuhkalle ole oikein jatkokäyttöä vaan se menee useimmilla läjitykseen. Tuhkaa voidaan jossain paikoissa kuitenkin käyttää esim. lannoitteena. Tietyillä laitoksilla ei toisaalta ole havaittu mitään ongelmia tuhkan kannalta.

Kaikilla laitoksilla on puun käytöllä ollut vaikutusta päästöihin. Päästöt ovat vähentyneet paikoin merkittävästikin puun käyttämisen myötä. Puupolttoaineet alentavat rikkipäästöjä ja tästä johtuu kalkintarpeen vähentyminen turpeen rikinsidontaan. Myös CO₂ -päästöt vähenevät (laskennalliset), mutta purun käyttö taas nostaa hiukkaspäästöjä.

Hiukan alle puolet laitoksista toteaa, että puun käyttö vaikuttaisi kattilaseisokkien työmäärään. Ongelmat koskevat mm. tulistimien tukkeutumista ja kerrostumia, leijusuuttimien likaisuutta, kamien poistamista kattilan seinämiltä ja pedistä.

Puupolttoaineet vaikuttavat useimmilla huipputehon saavuttamiseen. Vaikutukset ovat pitkälti polttoaineen kosteudesta johtuvia (esim. märät puupolttoaineet aiheuttavat sen, että savukaasupuhaltimilta loppuu kapasiteetti). Puupolttoaineille ei välttämättä riitä kuljetin- ja syöttökapasiteetti ja tästä syystä on käytettävä turvetta.

3.2 Haavan kuoren palamisominaisuuksien määrittäminen ja soveltuvuus leijukerroskattiloihin

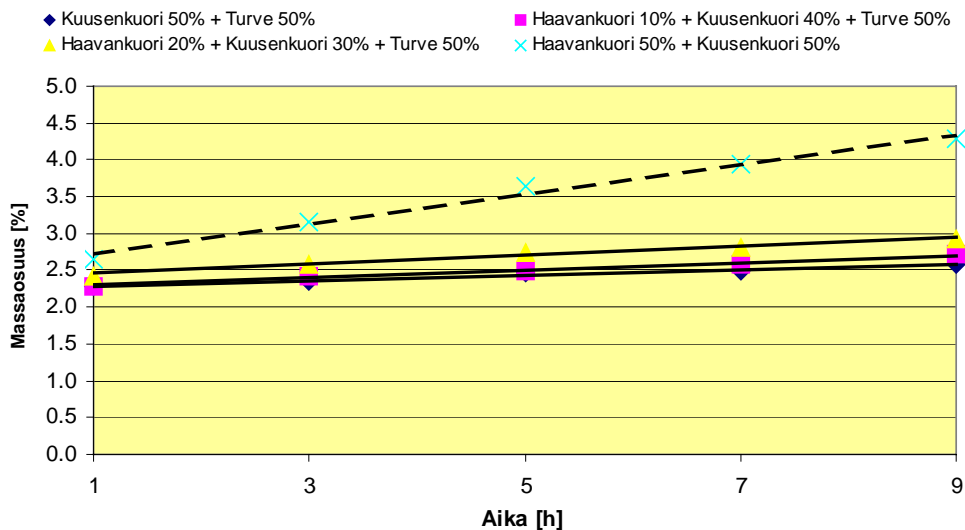
VTT:n kerrosleijukoelaitteella suoritettiin polttokokeita haavan ja kuusen kuoren sekä turpeen eri seososuuksilla. Haavan kuoren energiaosuus vaihteli kokeissa välillä 0–50 %. Polttokokeissa määritettiin seospolton päästövaikutuksia ja kerrostumien muodostumista voimalaitosmittakaavan olosuhteissa.

Kerrosleijukoelaitteen (BFB) polttoaineteho on 13–15 kW. Halutut olosuhteet loppuun palamisen varmistamiseksi sekä päästöjen optimoimiseksi, saadaan aikaan lämmitysvastuksilla, jäähdytyksellä sekä ilman jaolla. Pääosa lentotuhkasta erotetaan syklonilla ja hienojakoinen tuhka erotetaan ja kerätään näytteeksi kankaisella filterillä.

Polttokokeet osoittivat, että haavan kuorta on poltettava turpeen kanssa tasaisesti sekoituneena. Kokeessa, jossa poltettiin haavan ja kuusen kuoren seosta (50 % + 50 %) tapahtui pedin agglomeroitumista. Agglomeroitumista ei esiintynyt, kun polttoaineseos sisälsi haavan ja kuusen kuoren lisäksi 50 % turvetta. Agglomeroina aineena petipartikkeleista löytyi silikaattiseoksena kalsium-, kalium- ja piiyhdisteitä. Fosforin ja rikin määrät olivat vähäiset. Leijutusmateriaaleista tehdyt yksityiskohtaisemmat analyysit osoittivat petinäytteiden Ca-, K-, Mn-, P-

ja Mg-pitoisuuksien kasvaneen lineaarisesti koejakson edetessä. Kuvassa 1 on esitetty kuinka kalium kertyy leijukerrosmateriaaliin polttokokeen aikana. Em. alkuaineiden kertyminen oli hitaampaa polttoaineseoksilla, joissa haavan ja kuusen kuoren lisäksi poltettiin turvetta. Tämä johtuu siitä, että näiden alkuaineiden pitoisuudet turpeessa ovat matalampia kuin puupolttoaineilla, ne ovat sitoutuneina stabiileihin yhdisteisiin kuten silikaatteihin ja että suurempi hienojakoinen tuhkavirta kuljettaa niitä mukanaan.

Haavan kuoren 10–20 % lisäys kuusen kuoren ja turpeen seokseen ei aiheuttanut merkittäviä muutoksia savukaasujen NO-, NO₂-, N₂O-, SO₂- eikä HCl-pitoisuuksiin. Kaikissa kokeissa savukaasun SO₂-pitoisuudet olivat alhaiset, johtuen haavan ja kuusen kuoren alhaisesta rikkipitoisuudesta sekä puupolttoaineen tuhkan kyvystä pidättää rikkidioksidia runsaan kalsiumsisällön ja alkalisen koostumuksensa kautta. Myös NO₂- ja N₂O-pitoisuudet sekä hiilivetyjen pitoisuudet olivat alhaisia.



Kuva 1. Leijukerrosmateriaalin kaliumpitoisuus polttokokeen aikana. Pelkän kuoripolttoaineen käytöstä saadut tulokset on merkitty kuvaan katkoviivalla.

Suodin- sekä syklonituhkat sisälsivät eniten kalsiumia, piitä, rautaa ja alumiinia, näistä piitä ja rautaa oli rikastuneena enemmän lentotuhkan karkeampaan fraktioon. Haavan kuoren seososuuden kasvu polttoaineseoksessa aiheuttaa suodin-

tuhkien S-, Ca-, Mg-, Na- ja K-pitoisuuksiin sekä syklonituhkien Ca- ja Mg-pitoisuuksiin kasvavan trendin. Erityisesti suodintuhkan kaliumpitoisuudessa tapahtuu huomattava pitoisuuden nousu poltettaessa haavan ja kuusen kuoren (50 % + 50 %) seosta, mutta muutos ei ole yhtä selvä syklonituhkien ollessa kyseessä. Kalium päätyy siten lentotuhkan hienoimpaan fraktioon.

Kokeiden aikana otetuissa kerrostumanäytteissä esiintyi selviä eroja vain kerrostumien rikki- ja kaliumpitoisuuksissa eri polttoaineseoksilla. Kerrostumat olivat lähinnä kalsiumia ja kaliumia yhdessä rikin kanssa, kun turvetta oli poltossa mukana. Kun turvetta ei ollut poltossa, niin kerrostumat sisälsivät oksideja ja silikaatteja. Fosforia esiintyi vähäisissä määrin ja joissakin kerrostumien yksittäisissä pisteissä myös klooria. Savukaasun mukana kulkeutuvan lentotuhkan yksityiskohtaisemman alkuaineanalyysin mukaan haavan kuoren osuuden kasvaessa polttoaineseoksessa 0–50 %:iin, nousivat suodatintuhkan S-, Ca-, Mg-, Na- ja K- sekä syklonituhkien Ca- ja Mg-pitoisuudet selvästi.

3.3 Voimalaitosseuranta, CFB-kattila

Voimalaitoskokeet tehtiin Mikkeliissä Pursialan voimalaitoksen kiertoleijukattilalla (CFB). Kattilan höyryteho on 84 MW ja laitoksesta saadaan ajotavasta riippuen sähkötehoa 30 MW ja kaukolämpötehoa 60 MW. Laitokselle otettiin seurannan aikana taulukon 1 mukaisia polttoaineita.

Taulukko 1. Pursialassa suoritettavat voimalaitoskokeet – polttoaineet ryhmittäin.

AINENIMI	TONNIT	KUUTIOT	Energia [MWh] (tehollinen lämpöarvo, kuiva-aineessa)	Energia [MWh] (tehollinen lämpöarvo, saapumistilassa)
AIHIOHAKE	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
HAKE	3,5 %	4,4 %	3,4 %	5,5 %
HAKE/RAK.JÄTEMURSKE	1,7 %	2,4 %	1,6 %	2,4 %
HAKKUUTÄHDE	6,3 %	6,6 %	6,3 %	7,3 %
HIEKKA/TULEVA	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
JYRSINTURVE	39,6 %	35,0 %	41,6 %	40,9 %
KOKOPUU	3,1 %	3,8 %	3,0 %	3,5 %
KUTTERI	0,9 %	3,0 %	0,8 %	1,5 %
POLTTOMURSKE	0,4 %	0,6 %	0,4 %	0,5 %
PURU/KUORI	18,7 %	16,9 %	18,1 %	15,6 %
SAHANKUORI	3,3 %	2,9 %	3,1 %	2,7 %
SAHANPURU	22,3 %	24,2 %	21,5 %	19,7 %
ÖLJY	0,1 %	0,0 %	0,2 %	0,4 %
Yhteensä	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tavoitteena oli mittausten avulla saada

- tiedot kerrostumien muodostumisesta ja laadusta sekä lämpöpintojen liikaantumisen
- käsitystä kerrostumien vaikutuksesta kattilan lämmönsiirtoon
- tieto siitä, onko syntyneissä kerrostumissa riski korroosiolle
- tietoa puun vaikutuksesta laitoksen käytettävyyteen.

3.3.1 Kerrostuma- ja korroosiosondimittaukset

Kerrostuma/korroosiosondilla voidaan tutkia voimalaitosolosuhteissa kerrostumien muodostumista tulipesässä ja tulipesäolosuhteiden vaikutusta tulistimissa käytettäviin materiaaleihin. Kärkiosaan kiinnitetään kuusi kappaletta joko samasta tai eri materiaalista valmistettua näyteholkkia.

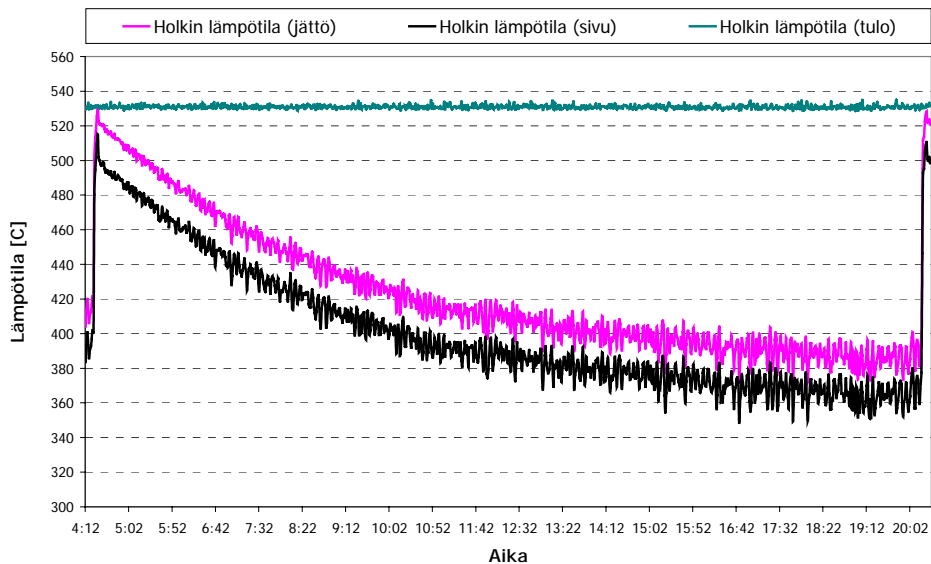
Testattavat tulistinmateriaalit olivat laitoksella normaalisti käytettäviä ferriittinen seos X 20 CrMoV 12 1 (X20) ja kaksi austeniittista seosta AC 66 ja Sanicro 28 (SAN 28). Korroosio-olosuhteiden arviointia ja vertailua varten testattavien materiaalien lisäksi sondiin asennettiin holkki niukkaseosteista ferriittistä terästä 10 CrMo 9 10 (10CrMo).

Näytteet olivat kattilassa tulistinalueen kaasuvirrassa neljä viikkoa (672 h). Visuaalisen tarkastelun perusteella holkkien tulo- ja sivupinnoilla oli paksu kerrostuma. Kerrostumaa oli kahdenlaista, sekä huokoista että tiivistä sintraantunutta. Jättöpuolella kerrostumaa ei ollut kuin ohuena kerroksena.

Altistuksessa parhaiten kesti materiaali AC66. SAN28 -materiaalissa havaittiin lievää syöpymistä erityisesti savukaasujen tulopuolella. Sekä X20- että 10CrMo-materiaalit olivat syöpyneet runsaammin altistuksen aikana. Erityisesti 10 CrMo-materiaalilla havaittiin paksujen oksidikerrosten muodostuneen altistuksen aikana. Näytteistä ei löydetty klooria eikä metallista alumiinia.

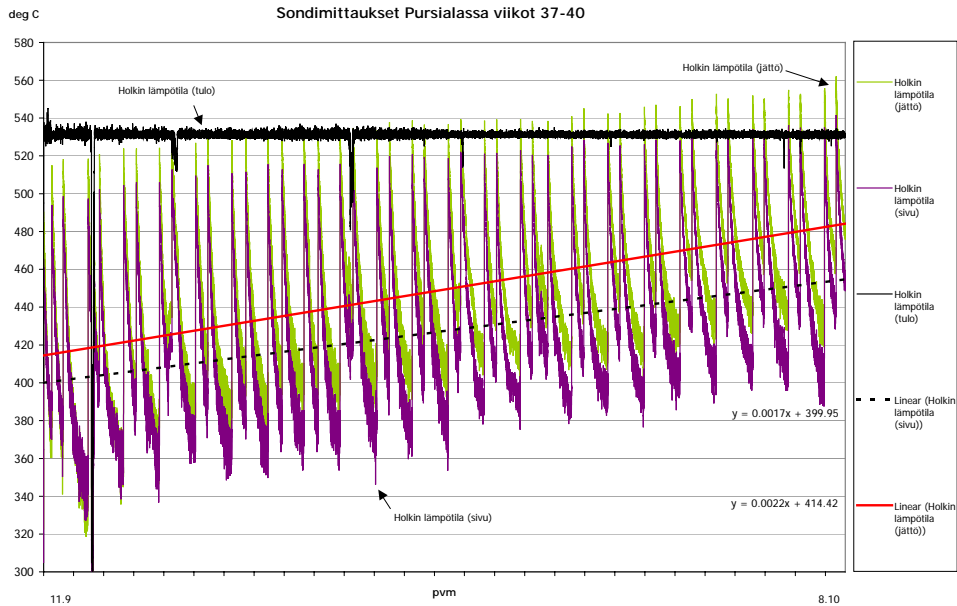
3.4 Kerrostuman vaikutus lämpötilaan lämmönsiirtopinnoilla

Kuvassa 2 esitetään sondin tulo-, sivu- ja jättöpinnan lämpötilat eräältä nuohousväliltä. Kuvasta havaitaan selvästi nuohouksen vaikutukset sondin eri puolien lämpötiloihin. Kerrostuman muodostuminen havaitaan sivu- ja jättöpinnan lämpötilojen laskuna ja edelleen havaitaan lämpötilojen ”palautuminen ennalleen” nuohouksen jälkeen.



Kuva 2. Sondin lämpötilat eräältä nuohousväliltä.

Sondin aktiivisen osan pintalämpötilojen käyttäytyminen koko mittausjaksolta on esitetty kuvassa 3. Kuvassa näkyy lisäksi lineaariset sovitteet lämpötiloille sivu- ja jättöpinnoilla. Kuvasta nähdään, kuinka sivu- ja jättöpuolien lämpötilat nousevat tarkasteluvälillä. Tulopuolen lämpötila pidetään vakiona jäädytyksen avulla ja kun jäädytystehoa pienennetään tulopuolen mukaan, nousevat sivu- ja jättöpuolien lämpötilat. Tämä johtuu lämmönsiirron heikkenemisestä tulopuolella sondin pinnalle muodostuvien kerrostumien vaikutuksesta. Tulopuolen kerrostumat eroavat muista ollen vaikeammin nuohottavia.



Kuva 3. Sondimittaukset – holkkien lämpötilakäyttäytyminen tulo-, sivu- ja jättö-pinnoilla sekä niille tehdyt lineaariset sovitteet.

Useamman viikon kestäneissä kokeissa todettiin sondin jättöpinnan lämpötilojen muutosnopeuksien vaihtelevan nuohousväleillä mittausjakson loppua kohden. Pintalämpötilan muutosnopeuksia tarkasteltiin vastaavien vuorokausien polttoainneiden ja sähkösuodintuhkien alkuaineanalyyseiden kanssa, jolloin havaittiin korrelaatiota lämpötilan muutosnopeuksien ja tiettyjen lentotuhkien alkuaineiden kanssa. Tätä riippuvuutta kuvaamaan kehitettiin yhtälö, jonka lämpötilan muutosnopeutta tietyllä tarkasteluhetkellä (t_{th}) kuvaava yhtälö ovat muotoa:

$$\frac{dT}{dt}(t = t_{th}) = \sum_{i=1}^n q_i w_i + B0,$$

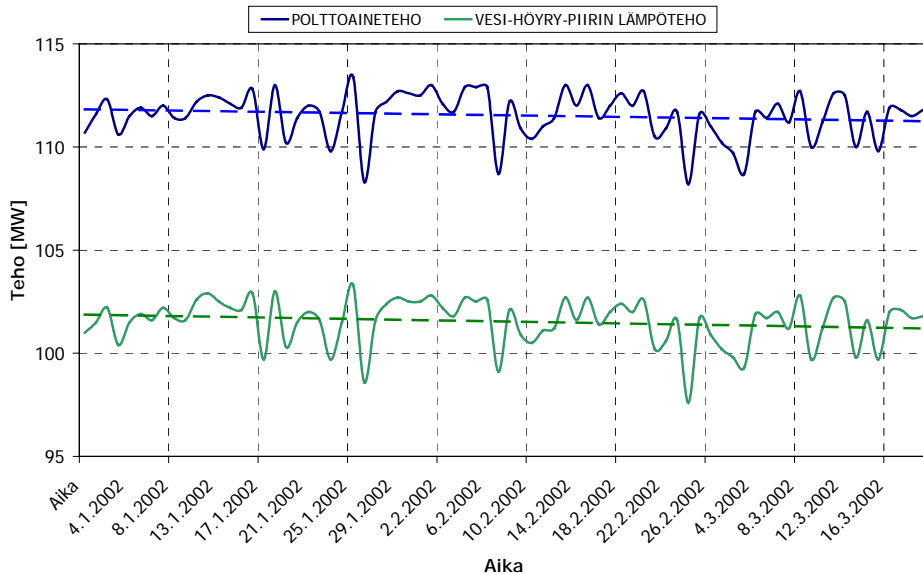
missä q_i on vakio alkuaineelle i ja w_i on alkuaineen pitoisuus. Taulukossa 2 on esitetty eri mallin alkuainepitoisuuksien soveltuvuusalueet (w_{min} , w_{max}) sekä mallista saadut vakioiden arvot kahdella tarkasteltavalla ajan hetkellä ($t=100$ ja $t=250$).

Taulukko 2. Mallista saadut vakiot ja pitoisuuksien soveltuvuusalueet eri alkuaineille.

	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	BO
w_{min}	1.2	0.9	5.9	20.1	3.0	8.4	-
w_{max}	1.8	1.5	7.9	25.8	4.1	14.3	-
$q_i (t=100)$	0.197	0.104	0.057	-0.006	0.014	0.025	-1.304
$q_i (t=250)$	0.166	0.058	0.039	-0.002	0.013	0.013	-0.902

Mallin kehitystä voidaan jatkaa laajentamalla datapohjaa ja hyödyntämällä aikaisempien hallitumpien polttoaineseosten lentotuhkien analyyseja sekä lisäämällä siihen prosessiolosuhteiden vaikutus lämmönsiirtoyhtälöiden muodossa. Kun mallia saadaan näin täydennettyä, voidaan siitä kehittää laskentatyökalu mm. polttoaineiden seossuhteiden optimointiin ja nuohouksen ajoitukseen. Lisäksi saataisiin mahdollisesti tietää kvantitatiivisesti kuinka paljon eri polttoaineet vaikuttavat lämmönsiirtoon ja kattilan toimintatasoon.

Voimalaitoksen hyötysuhdetta tarkasteltiin myös erillisellä kolmen kuukauden mittausjaksolla. Kuvassa 4 esitetään vesi-höyrypiirin lämpöteho ja polttoaineteho vuorokautisina keskiarvoina ko. ajanjaksolta. Kuvasta havaitaan, että polttoaineteho- ja lämpötehokäyrät erkanevat toisistaan (polttoaineteho laskee loivemmin kuin lämpöteho). Tämä indikoi hyötysuhteen laskua. Yleisesti voidaan sanoa, että ainakin osa hyötysuhteen laskusta johtuu kattilan likaantumisesta.



Kuva 4. Vesi-höyrypiirin lämpöteho ja polttoainetehto sekä niille tehdyt lineaarisovitteet 3 kk:n jaksolta.

3.5 Voimalaitosseuranta, BFB-kattila

Voimalaitoskokeet tehtiin Simpeleellä M-Real Oyj:n voimalaitoksen BFB-kattilalla. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää mittauksiin perustuen puun ja turpeen seospolton päästö-, aine- ja energiataseet sekä selvittää kerrostumanmuodostumista ja kerrostumien tulistinputkimateriaaleille aiheuttamaa korrosioriskiä. Laitoksella tehtiin kolme lyhyttä mittausjaksoa (kokeet 1–3) sekä yksi pidempi seurantajakso (koe 4).

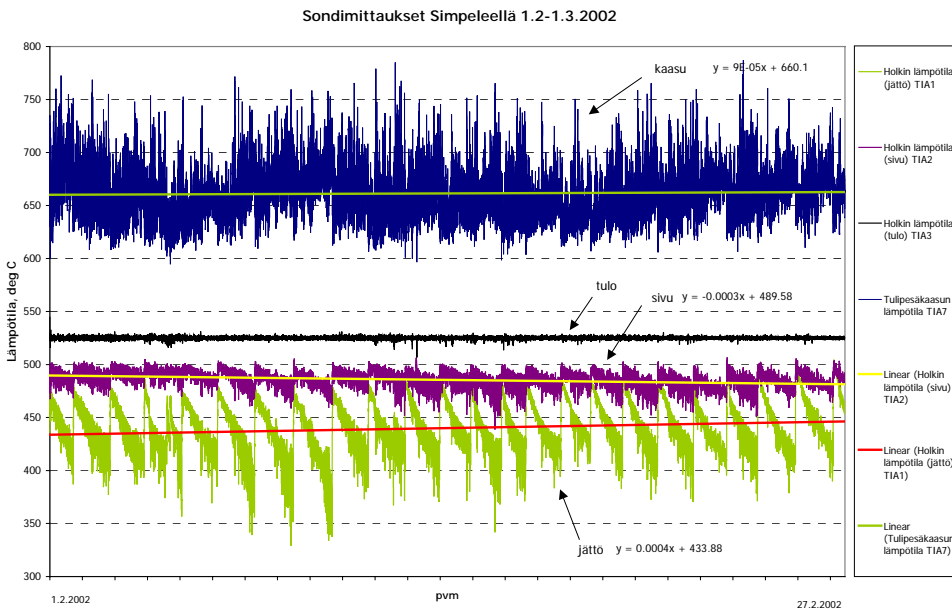
3.5.1 Käytetyt polttoaineet

Polttoaineena kattilassa käytettiin kokeiden aikana jyrshinturvetta, kuorta (haapa, mänty, kuusi), puuhaketta, purua, paperi- ja kartonkijätettä sekä tehtaan jätevedenpuhdistamolta saatavaa lietettä. Puun ja turpeen keskimääräiset suhteet kokeissa olivat (energiaosuuksina): **Koe 1:** puu 50 % / turve 50 %, **Koe 2:** puu 70 % / turve 30 %, **Koe 3:** puu 40 % / turve 60 %, **Koe 4:** puu 42 % / turve 58 %. Polttoaineen rikki-kloorisuhde pysyi kaikissa kokeissa riittävän korkealla.

3.5.2 Kerrostuma- ja korroosiosondimittaukset

Kokeiden 1–3 jälkeen sondin holkeista nähtiin, että holkkien jättöpuolelle oli jäänyt selvimmät kerrostumat. Keskimmaisilla holkeilla oli vähiten kerrostumia. Kokeen 4 jälkeen olivat kaikki kerrostumat selvästi havaittavia. Sondin tulo- puolella oli kaikilla holkeilla ”röpelöistä” kerrostumaa ja lisäksi tietyillä holkeilla oli hilseilevää kerrostumaa. Kokeen 4 näytteen pinnalla kerrostuma oli paksu johtuen pitkästä koeajasta.

Kuvassa 5 esitetään sondin tulo-, sivu- ja jättöpintojen lämpötilat sekä tulipesän lämpötilat pidemmän seurantajakson kokeesta 4. Kuvaan on myös tehty lineaariset sovitteet sondin eri pintojen lämpötiloille.



Kuva 5. Sondin lämpötilamittaukset: Koe 4 (neljän viikon seuranta).

Pidemmän aikavälin tarkastelussa (koe 4) tutkittiin pysyvän kerrostuman muodostumista eli sellaisen, joka ei lähde nuohouksella pois. Pitkällä tarkasteluvälillä jättöpinnan lämpötila lähti nousemaan ja sivupuolen lämpötila loivasti laskemaan. Kokeen 4 perusteella voidaan todeta, että sivupinnalle jää pysyvää kerrostumaa enemmän kuin muille pinnoille. Jättöpuolen kerrostumat ovat nousevan trendinsä vuoksi vähemmän merkityksellisiä, kuin muiden pintojen. Voi-

daan todeta myös, että jättöpuolen kerrostumat lähtevät nuohouksella pois selvästi parhaiten, koska kokeiden 1–3 tuloksissa jättöpuolen kerrostumat olivat merkittävimpiä. Kokonaisuudessaan erot eri pintojen välillä ovat kuitenkin pieniä, jolloin sondi likaantuu melko tasaisesti.

Kokeiden 1–3 tuloksista nähtiin kerrostuman muodostuminen sivu- ja jättöpinnan lämpötilan laskuina. Eri kokeiden sovitteiden kulmakertoimista nähtiin jättöpinnan lämpötilan laskun jyrkkeneminen puupolttoaineiden osuuden kasvaessa. Eli mitä enemmän käytettiin puupolttoaineita, sitä nopeammin sondi likaantui (jättö- ja sivupinnat).

Jäähdytysteho, tulipesän lämpötila ja sondin eri pintojen lämpötilakäyttäytymiset on otettava huomioon tarkasteltaessa koko sondin käyttäytymistä ja sen avulla saatavia arvioita vaikutuksista lämpöpintojen lämmönsiirtoon. Tarkemmat selvitystyöt ovat käynnissä.

4. Jatkosuunnitelmat

Ruotsalaisen Värmeforsk AB:n kanssa tehdään yhteistyötä kokoamalla kokeuksia puupolttoaineiden käytöstä Ruotsin voimalaitoksilla.

Projektiin liittyvänä osatehtävänä Suomella on kaksi edustajaa CEN:n Solid Biofuels -standardisointityöryhmissä.

Kerrostumien vaikutuksesta lämmönsiirtoon kattilassa valmistuu projektissa diplomityö, jossa tehdään laskentamalleja lämmönsiirtotarkastelujen ja sondimittausten välille.

Simpeleen mittauksia (kerrosleijukattila, BFB) käsittelevä mittausraportti valmistuu kesäkuun 2002 aikana.

Kokkolassa (BFBkattila) on tarkoitus suorittaa voimalaitoskoesarja, jossa tehdään hyvin hallituilla polttoaineilla pidemmän aikavälin seuranta. Tavoitteena on päästä tekemään, joko näissä mittauksissa tai myöhemmin, koko lämmityskauden aikainen seuranta.

Sumean logiikan soveltamista kattilan tulitehon ja polton säätöön kehitetään edelleen.

Julkaisut ja raportit

1. *Orjala, M., Ingalsuo, R., Mäkipää, M., Oksa, M. & Patrikainen, T.* Metsähakkeen poltto Loppuraportti. VTT Energia, tutkimusselostus ENE3/T0042/2001. Jyväskylä, 27.4.2001. Luottamuksellinen. 52 s. + liitt. 12 s.

2. *Orjala, M. & Ingalsuo, R.* Erilaisten korjuuketjujen tuottaman metsähakkeen käyttö suurten voimaloiden leijukerroskattiloissa. S. 273–284. Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käytettävyyteen. S. 349–354. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja. VTT Symposium 216. Espoo 2001.

3. *Hämäläinen, J., Orjala, M. & Suomalainen, A.* Metsähakkeen vaikutukset kattilan käyttöalouteen. Bioenergiapäivät 2001, Suomen Bioenergiayhdistys ry, Jyväskylä. Julkaisu 19. S. 93–98.

4. *Orjala, M.* Turpeen ja puun yhteispoltto vähentää päästöjä sekä varmistaa kattiloiden kestävyuden. Suo ja turve 1/2001. Turveteollisuusliitto ry, Jyväskylä. S. 11–16.

5. *Orjala, M., Ingalsuo, R., Paakkinen, K., Hämäläinen, J., Mäkipää, M. & Oksa, M.* 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. EFC Event number 249. VTT Symposium, 214. Espoo 2001. S. 117–136.

6. *Orjala, M., Ingalsuo, R. & Lybeck, E.* Haavankuoren polttokokeet BFB-koelaitteella. VTT Energia, tutkimusselostus ENE3/T0100/2001. Jyväskylä, 27.1.2001. Luottamuksellinen. 22 s. + liitt. 6 s.

7. *Orjala, M. & Kärki, J.* Voimalaitosten kokemuksia puupolttoaineiden käytöstä -käytettävyyksely. VTT Prosessit, tutkimusselostus PRO/T6039/02. Jyväskylä, 17.4.2002. Luottamuksellinen. 22 s. + liitt. 7 s.

8. *Orjala, M., Kärki, J., Ingalsuo, R., Oksa, M. & Paakkinen, K.* Kerrostumien muodostuminen ja niiden vaikutus lämmönsiirtoon ja käytettävyyteen 84 MW kiertoleijukattilassa; voimalaitosmittaukset. VTT Prosessit, tutkimusselostus PRO/T6041/02. Jyväskylä, 17.4.2002. Luottamuksellinen. 33 s. + liitt. 44 s.

9. *Orjala, M. & Kärki, J.* Co-firing of peat and wood based fuels decreases emissions and improves the availability of boilers. Tiedonanto. Turveteollisuusliitto. Jyväskylä 14.2. 2002.

Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden seospolton savukaasupäästöt – esitutkimus – PUUT25

Raili Vesterinen
VTT Prosessit
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

Emission measurement results of from plywood combustion have only been published in one publication. Temperature of exhaust gases, retention time and carbon dioxide and oxygen contents effect strongly on the benzene, toluene and formaldehyde contents of flue gases. The concentrations of these increase rapidly as the CO content of flue gases exceeds 4000 ppmv.

Nitrogen oxide emissions of chipboard combustion, published in literature, vary in between 263–765 mg/m³, at O₂ content 11%. HCl content of flue gases was 1.0–104 mg/m³, at O₂ content 11%. Highest concentration was obtained in a test carried out with a small combustion device, operated with particleboard treated with ammonium chloride hardener. Carbon monoxide concentration varied in the range 45–1165 mg/m³, at O₂ content 11%. Even higher concentrations were obtained in the tests carried out with some small combustion devices. Concentrations of dibenzo-p-dioxins (PCDD) and dibenzofurans (PCDF) were 0.019–4.13 TEQ ng/m³, at O₂ level 11%. In many tests the results have been under the limit value 0.1 I-TEQ ng/m³ at O₂ level 11%.

The limit values for the particle content and particle emissions set in the environmental permits, granted by the regional environment centres, varied in be-

tween 50 mg/m³ at O₂ level 6% and 400 mg/m³ at O₂ level 6%. Particulate emissions limit was 50–100 mg/MJ. There were few restrictions for CO emissions in the environmental permits. They, as well as the particulate emission levels seemed to be tighter for younger plants than for the older ones. In the permits there were set limits for nitrogen oxides and sulphur dioxide only in a couple of cases.

1. Tausta

Suomessa on seitsemäntoista vaneritehdasta ja kolme lastulevytehdasta. Vaneria tuotettiin Metsäteollisuus ry:n tilastojen mukaan miltei 1,167 miljoonaa kuutiometriä vuonna 2000 ja vaneria 462 000 kuutiometriä. 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 oli selvittää liimapitoisen puun (liima, pinnoitteet, suojausaineet) polton päästömääräykset, koota tieto nykyisistä päästöistä (mahdolliset mittaus tulokset), käyttäjien kokemukset ja ongelmat ko. lisäpolttoaineiden käytöstä ja tämän perusteella analysoida tutkimustarpeet. Esitutkimuksen ja mahdollisen (teollisuusvetoisen) jatkotutkimuksen tavoitteena on löytää sellaiset polttoolosuhteet, että polton haittavaikutukset olisivat mahdollisimman pienet ja vähintään ympäristöviranomaisten hyväksymät.

3. Projektin toteutus

Esitutkimuksessa selvitettiin minkälaisia päästömääräyksiä on olemassa liimapitoisen puutähteen poltosta. Koottiin tietoja nykyisistä päästöistä Ympäristö-

keskuksille tehdyistä mittaustuloksista sekä lähettämällä kyselylomakkeita liimapitoista puuta polttavien laitosten päästöistä sekä kokemuksista ja mahdollisista ongelmista ko. lisäpolttoaineen käytössä. Laadittiin kirjallisuusselvitys vanerin ja lastulevyn polton päästöistä. Analysoitiin edellisten tehtävien perusteella tutkimustarpeet.

4. Projektin aikataulu ja tilanne

Projekti oli esitutkimus ja se tehtiin vuoden 2001 aikana. Projekti käynnistyi huhtikuussa ja päättyi syksyllä 2001. Analysoitujen tutkimustarpeiden perusteella laadittiin tutkimussuunnitelma ja yritettiin käynnistää jatkohanke.

5. Tulokset

5.1 Kirjallisuusselvitys

Vanerin poltosta on kirjallisuudessa ainoastaan yhdessä julkaisussa päästömitaustuloksia. Polttotutkimus oli tehty arinapolttokoelaitteella, jonka halkaisija on 13 cm ja korkeus 5 metriä. Poistokaasun lämpötilalla, viipymääjalla sekä savukaasun hiilimonoksidi- ja happipitoisuudella oli suuri vaikutus bentseenin, toluenin ja formaldehydin pitoisuuksiin. Formaldehydi-, bentseeni- ja toluenipitoisuudet kasvoivat voimakkaasti, kun savukaasun CO-pitoisuus oli yli 4 000 ppmv.

Lastulevyn poltosta on tehty huomattavasti enemmän tutkimuksia erityisesti Saksassa. Suurin osa tutkimustuloksista on tehty erilaisilla koepolttolaitteilla. Lastulevyn polton tyyppien oksidien pitoisuus oli kirjallisuuden mukaan 263–765 mg/m³, 11 % O₂. Savukaasun HCl-pitoisuus oli 1,0–104 mg/m³, 11% O₂. Suurin pitoisuus oli pienellä polttolaitteella tehdystä kokeesta, jossa poltetun lastulevyn kovitteenä oli ammoniumkloridia.

Häkäpitoisuus vaihteli alueella 45–1165 mg/m³, 11% O₂. Joissakin pienillä polttolaitteilla tehdyissä kokeissa oli saatu suurempiakin pitoisuuksia. Polykloorattujen dibentso-p-dioksiinien (PCDD) ja dibentsofuraanien (PCDF) pitoisuudet olivat 0,019–4,13 TEQ ng/m³, 11% O₂. Useissa kokeissa oli päästy alle raja-arvon 0,1 I-TEQ ng/m³, 11% O₂. Savukaasun formaldehydi-, syaanivety (HCN)-

bentseeni- ja toluenipitoisuuksista on vähän tietoa. Pitoisuuksia on ilmoitettu $\mu\text{g/g}$ puuta. Suomessa huonekaluteollisuuden savukaasujen HCN-pitoisuudet olivat $<1\text{--}20 \text{ mg/m}^3$, 11% O_2 . Kokonaishiilivetyjen pitoisuudet samassa tutkimuksessa olivat $16\text{--}1325 \text{ mg/m}^3$, 11% O_2 . New York State Electric & Gas, NYSEG) polttaa kivihiilen kanssa noin 10–15 % lastulevyä. Tästä ei ole päästö-tietoja olemassa muuta kuin, että 104 MW:n kattilassa 600 tonnia rikkidioksidipäästöjä säästyy.

Suomessa tuli 1994 voimaan yhdyskuntajätteenpolttoa koskevat määräykset. Ympäristöviranomaiset ovat soveltaneet muun muassa näitä määräyksiä vaneri- ja lastulevyteollisuuden liima-, pinnoite- ja kovitepitoisten sivutuotteiden polton päästöihin ympäristölupia myöntäessään. Euroopan parlamentti ja neuvosto hyväksyivät 4.12.2000 direktiivin jätteenpoltolle. Siinä on määritelty direktiivin ulkopuolelle puujäte, lukuun ottamatta puujätettä, joka voi puunsuoja-ainekäsittelyn tai pinnoituksen seurauksena sisältää halogenoituja orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja ja johon kuuluu erityisesti tällainen puujäte, joka on peräisin rakennus- ja purkujätteestä. Suomessa on annettava direktiivin noudattamisen edellyttämät lait, asetukset ja hallinnolliset määräykset viimeistään 28.12.2002. Vaneri- ja lastulevyteollisuuden liima-, pinnoite- ja kovitepitoisilla sivutuotteilla voisi olla mahdollisuus päästä tämän direktiivin ulkopuolelle, koska Suomessa ei käytetä enää PVC-pinnoitetta ja raskasmetalleita ei ainakaan liimojen, kovitteiden ja pinnoitteiden käyttöturvallisuus-tiedotteiden mukaan ole ko. aineissa. Ammoniumkloridia sisältyy joihinkin sisä rakenteisiin käytettävien vanerien pinnoitteisiin vähäisiä määriä.

5.2 Ympäristökeskusten päätöksiä vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden polton päästöistä sekä laitosten mittaustuloksia

Keski-Suomen ympäristökeskuksen ylitarkastajat Minna Koskinen ja Esko Karvonen hankkivat projektin käyttöön vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden polton ympäristölupapäätöksiä. Polttolämpötilaksi oli muissa ympäristökeskuksissa vaadittu vähintään $850 \text{ }^\circ\text{C}$, Keski-Suomen ympäristökeskuksen alueelta vaadittiin $800 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötila. Ilmaylimäärästä tai savukaasun happipitoisuudesta todettiin, että ilmaylimäärän pitää olla riittävä tai oli asetettu 6 % happipitoisuus vaatimus. Viipymäajasta vaadittiin usein kaksi sekuntia viimeisen

ilman lisäyksen jälkeen tai riittävä. Hiukkaspitoisuudelle tai -päästölle raja-arvot vaihtelivat 50 mg/m^3 , 6 %:n O_2 -pitoisuudessa aina 400 mg/m^3 , 6 %:n O_2 -pitoisuudessa; hiukkaspäästölle oli raja-arvona 50–100 mg/MJ. Hiilimonoksidipitoisuudesta ei ollut paljon määräyksiä. Ne samoin kuin hiukkaspitoisuusrajatkin näyttivät tiukentuvan, mitä uudempi laitos oli. Typen oksidien ja rikkidioksidin osalta rajoja oli vain parissa tapauksessa.

Jatkuvatoimisesti oli joka ympäristökeskuksen alueella määrätty mitattavaksi polttolämpötila ja happipitoisuus. Muutaman ympäristökeskuksen alueella vaadittiin jatkuvatoiminen hiilimonoksidin mittausta. Hiukkaspitoisuus vaadittiin mitattavaksi yleensä kolmen vuoden välein. Typen oksidien mittausta vaadittiin tehtäväksi kolmen ympäristökeskuksen alueella kolmen vuoden välein. Fenoli-, formaldehydi- ja muiden haitta-aineiden pitoisuudet määrättiin mitattavaksi joissain ympäristökeskuksissa pesurivedestä tai savukaasusta tarvittaessa. Vuosiraportoinnin yhteydessä pitää esittää arviot vuosipäästöistä ja laskentaperusteet.

Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden poltossa syntyvien tuhkien sijoittamisesta oli esitetty, että mahdollisuuksien mukaan ne pitäisi ohjata hyötykäyttöön tai pitää selvittää hyötykäytön mahdollisuuksia. Yleensä kerran vuodessa vähintään kolmen vuorokauden kokoomanäytteestä on vaadittu analysoimaan joihinkin metalleja ja mahdollisesti rikki- ja/tai klooripitoisuus.

Joidenkin ympäristökeskusten alueella oli mahdollista polttaa kovettua liimajätettä tai myös kovettamatonta liimajätettä muun polttoaineen seassa. Myös Basileum- ja Xyligen-pitoista reuna- ja työstöjätettä oli mahdollista polttaa. Uusissa ympäristölupapäätöksissä näiden poltto oli usein kielletty.

Laitoksille tehtyjen kyselyjen perusteella vaneriteollisuuden sivutuotteiden polton päästötuloksia oli hiukkasten osalta sekä arina- että leijukattiloista. Pitoisuudet olivat molemmista alle 50 mg/m^3 , 11 % O_2 laitoksissa, joista oli tuloksia. Arinakattiloissa, joista oli annettu hiukkaspäästötulos mg/MJ, se oli 37–154 mg/MJ. Leijukattilan hiukkaspäästö oli 10 mg/MJ. Hiilimonoksidipitoisuuksissa oli suuria eroja. Arinakattilan hiilimonoksidipitoisuudeksi oli ilmoitettu 277–294 mg/m^3 , 11 % O_2 ja päästönä 62–2500 mg/MJ. Leijukattilasta oli tuloksia vain 0–1 000 mg/MJ. Typen oksidien pitoisuudeksi arinakattilan savukaasuista oli ilmoitettu 52–96 mg/m^3 , 11 % O_2 ja päästönä 58–190 mg/MJ. Leijukattilasta ei ollut tuloksia. Aivan yksittäisiä polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuus-

tuloksia oli ja ne olivat pieniä. Yksittäisiä tuloksia oli arinakattilan savukaasujen kloorifenoli-, formaldehydi- ja syaanivety-päästöistä. Kaikki päästöt olivat alle 1 mg/MJ. Leijukattilasta ei ollut tuloksia.

Laitoksille tehtyjen kyselyjen tuloksena lastulevyteollisuuden sivutuotteiden polton päästöistä oli hyvin vähän tuloksia. Päästöjen hiukkaspitoisuus oli 15 mg/m³n, 11 % O₂/ 154 mg/MJ. Hiilimonoksidi-, hiilivety-, formaldehydi- ja fenolipitoisuudet olivat vain yhdestä laitoksesta.

Arinakattiloissa on ollut jonkin verran kattilan kuonaantumista varsinkin, kun poltetaan liimajätettä. Myös tulistajien tukkeutumista oli esiintynyt. Leijukattiloissa on ollut lähinnä pedin sintraantumista. Tähän on auttanut petimateriaalin vaihtaminen hiekan sijasta masuunikuonaksi. Myös petilämpötilan hallinnalla on saatu sintraantumista vähennettyä tai poistettua.

Ympäristökeskusten päätöksissä on eroja eri ympäristökeskusten alueella. Lisäksi EU:n jätteenpolttodirektiiviä ollaan soveltamassa käyttöön Suomessa. Suomalaisen vaneri- ja lastulevyteollisuuden kannalta olisi ensiarvoisen tärkeää, että polttolaitokset, joissa poltetaan vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteita pääsisi jätteenpolttodirektiivin ulkopuolelle. Tähän voisikin olla mahdollisuuksia, jos luotettavilla mittauksilla pystytään osoittamaan, että vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden poltossa ei synny merkittävästi suurempia päästöjä verrattuna pääpoltoaineen polton päästöihin. Päästöjen tulee luonnollisesti olla alle jätteenpolttodirektiivissä annettujen raja-arvojen.

Sekä vaneri- että lastulevyteollisuuden liima-, pinnoite- ja kovetepitoisille sivutuotteilla pitäisi tehdä kattavat kokeet niitä polttavissa arina- ja leijupolttolaitoksissa. Sivutuotetta pitäisi olla polttoaineseoksessa vähintään siinä suhteessa, jossa sitä normaalisti käytetään ko. laitoksessa. Kokeissa pitäisi mitata kaikki ne päästöt, jotka jätteenpolttodirektiivi vaatii. Lisäksi, jos ympäristöviranomaisten kannalta on tärkeää, voisi mitata myös formaldehydi-, fenoli- ja syaanivety-päästöt. Jos palaminen on hyvä ja viipymäaika riittävä, näitä ei pitäisi esiintyä savukaasussa. Jätteenpolttodirektiivin mukaisesti pitäisi ottaa näytteet myös mahdollisista pesurivesistä ja analysoida kaikki direktiivin vaatimat metallit ja PCDD/PCDF-yhdisteet sekä kiintoaine. Puhdistimen erottamasta lentotuhkasta pitäisi määrittää samat metallit kuin vaaditaan savukaasusta määritettäväksi sekä

PCDD/PCDF-yhdisteet sekä kloori-, fluori- ja rikki- ja rikkipitoisuus. Myös palamiskelpoinen aineosa (palamattomat) tulisi määrittää.

Kattilan ja tulistinpintojen kuonaantumista ja leijupedin sintraantumista esiintyy edelleen. Näihin asioiden tutkimiseen voisi keskittyä erillisessä hankkeessa tai muussa puupolttoaineiden kuonaantumis- ja korroosiotutkimushankkeissa.

Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Vesterinen, R. Vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden polton päästöt – kirjallisuustutkimus. Tutkimus selvitys ENE3/T0082/2001. 46 s.

Vesterinen, R. Ympäristökäytön päätöksiä vaneri- ja lastulevyteollisuuden sivutuotteiden polton päästöistä sekä laitojen mittauksista. Tutkimus selvitys ENE3/T0084/2001. 17 s.

Puupolttoaineiden kemialliset muutokset varastoinnissa ja kuivauksessa – PUUT29

Leena Fagernäs¹⁾, Risto Impola²⁾, Raija Kuoppamäki²⁾

VTT Prosessit

¹⁾ PL 1601, 02150 Espoo

Puh. (09) 456 5453, faksi (09) 460 493

e-mail: leena.fagernas@vtt.fi

²⁾ PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. (014) 676 11, faksi (014) 672596

e-mail: risto.impola@vtt.fi, raija.kuoppamaki.vtt.fi

Abstract

Project title in English: Chemical changes of wood fuels in storing and drying

The aims of the research are to find out the chemical and biological changes occurred in wood fuels (forest chips, sawdust) during storage and thermal drying and to estimate their effects on the quality of the fuels, to determine the emissions of the pretreatment to the environment and to estimate the occupational health hazards in storage. The research is carried out in co-operation with the Swedish University of Agricultural Sciences. The work started in September 2001.

The research is divided into the following subtasks: 1) field and laboratory storage tests, 2) laboratory drying tests, 3) estimation of occupational health hazards in storage, 4) recovery of by-chemicals in the pretreatment and 5) participation in the Swedish co-operation project.

The storages of forest chips (green and brown) and saw dust were built in the fuel field of a power plant. During the first three months the temperature increased to between 60 and 70 °C in the storages. The fuel properties, microbes and chemical composition of the storages are studied during a period of almost a year. In the drying tests, different laboratory equipment are used, and the emis-

sions in different drying temperatures are determined. The carboxylic acids, alcohols, aldehydes and terpenes, are the main component groups emitted in drying.

1. Tausta

Kauppa- ja teollisuusministeriön uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman ja kansallisen metsäohjelman tavoitteena on lisätä metsäpolttoaineiden käyttöä kymmenen vuoden kuluessa noin 5 miljoonaa m³. Metsäpolttoaineita tullaan myös käyttämään lisääntyvästi polttoainejalosteiden tuotannossa. Esim. pellettituotannon kasvaessa on raaka-aineena käytettävä nykyisten kuivan sahanpurun ja kutterinpurun lisäksi myös tuoretta sahanpurua sekä jopa kuorta ja metsähaketta.

Tuoreen sahanpurun, kuoren tai metsätähteen käyttö polttoainejalostuksen raaka-aineena vaatii raaka-aineen kuivausta, yleensä noin 10 %:n kosteuteen. Kuivauksessa voidaan käyttää savukaasu-, höyry- tai varastokuivureita. Pyrkimyksenä on käyttää suhteellisen matalia lämpötiloja. Viime aikoina on noussut myös esille puupolttoaineiden terminen kuivaus ennen polttoa kattilassa. Kosteat biopolttoaineet on kuivattava myös kaasutustekniikkaan ja moottoreihin perustuvissa pienvoimalaitoksissa, joita parhaillaan kehitetään Suomessa. Näin ollen puupolttoaineiden kuivaus voi olla tulevaisuudessa paljon laajemmassa käytössä kuin tänä päivänä.

Polttoaineiden varastoinnissa ja kuivauksessa tapahtuu polttoaineissa kemiallisia ja biologisia muutoksia, jotka vaikuttanevat polttoainejalosteiden laatuun. Puun aineosat pilkkoutuvat ja esim. uuteainepitoisuudet pienenevät. Varastoinnin ja kuivauksen aikana haihtuu polttoaineista orgaanisia yhdisteitä aiheuttaen hajuhaittoja. Turpeen ja kuoren kuivauksessa vapautuvia yhdisteitä on tutkittu yli 150 °C:n lämpötilassa, jolloin raaka-aineista on todettu vapautuvan terpeenejä, rasva- ja hartsihappoja sekä happoja ja alkoholeja. Metsätähteen, samoin kuin muidenkaan puupolttoaineiden, käyttäytymistä matalammassa kuivauslämpötiloissa ei tunneta. Varastoinnista syntyy myös valumavesiä, jotka aiheuttavat kuormitusta ympäristölle.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää varastoinnin ja termisen kuivauksen aiheuttamat kemialliset ja biologiset muutokset puupolttoaineissa, lähinnä metsähakkeessa ja sahanpurussa, ja arvioida niiden vaikutuksia polttoainejalosteiden laatuun. Lisäksi tavoitteena on selvittää kyseisen esikäsitteilyketjun päästöt ilmaan sekä valuma- ja jätevesiin ja arvioida työhygieenisiä riskejä varaston käsittelyn yhteydessä. Lisäksi selvitetään alustavasti mahdollisuuksia saada esikäsitteily yhteydessä talteen mahdollisesti hyödynnettävissä olevia kemikaaleja. Työn tuloksena pyritään valitsemaan optimaaliset varastointi- ja kuivausolosuhteet puupolttoaineille ottaen huomioon polttoainejalosteiden laatu, työhygieeniset tekijät ja ympäristövaikutukset.

3. Toteutus

Tutkimus käynnistyi syksyllä 2001 ja päättyy vuoden 2002 lopussa. Toteuttamiseen osallistuvat VTT Prosessit, Åbo Akademi ja Kuopion aluetyöterveyslaitos. Yritysosapuolina projektiin osallistuvat Fortum Oil and Gas Oy, Kokkolan Voima Oy ja Vapo Oy. Projekti toteutetaan yhteistyössä Sveriges Lantbrukuniversitetin (SLU) kanssa. SLU:n projektissa "Miljöaspekter vid lagring och hantering av bark" tutkitaan kuoren käsittelyn ja varastoinnin biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia prosesseja. Prosesseihin liittyviä riskejä, terveys- ja ympäristöriskejä sekä päästöjä ja valumia varastoinnissa, arvioidaan, samoin kuin polttoaineen laadun muutoksia.

Suomalainen projekti käsittää seuraavat osatehtävät: 1) kenttä- ja laboratoriovastointikokeet, 2) kuivauskokeet, 3) terveys- ja ympäristövaarojen arviointi, 4) sivutuotekemikaalien kartoitus ja 5) osallistuminen SLU:n tutkimusprojektiin.

Koemateriaaleiksi varastointi- ja kuivauskokeisiin valittiin vihreä ja ruskea hakkuutähdehake sekä tuore sahanpuru. Lähtömateriaaleista tehtiin polttoainekohtaiset koeaumat Kokkolan Voima Oy:n polttoainekentälle (kuva 1). Ensimmäiset seurantaleikkaukset aumoihin tehtiin 3 kuukauden ja toiset leikkaukset 6 kuukauden kuluttua. Lisäksi viherhakeaumaan tehdään kolmas leikkaus varastointiajan lähetessä yhtä vuotta. Varastoissa seurataan polttoaineen lämpötilan kehitystä sekä polttoaineominaisuuksien, kemiallisen koostumuksen ja mikrobi-

pitoisuuksien muutoksia. Polttoainekentällä olevan ison varastoauaman lämpötiloja seurattiin noin kuukauden verran.



Kuva 1. Koeaumat Kokkolan Voima Oy:n polttoainekentällä.

Laboratoriovarastointikokeet tehdään lähtökoemateriaaleille Ruotsissa SLU:n koelaitteistolla. Laitteisto koostuu useammasta lysimetristä, joilla selvitetään kontrolloiduissa olosuhteissa, miten eri materiaaleilla lämpötila ja sademäärä vaikuttavat varastoitavaan materiaaliin ja varastoinnin päästöihin, kuten valumavesiin.

Kuivauskokeet koemateriaaleille tehdään useammilla laboratoriokuivauskoe-laitteistoilla erilaisissa kuivausolosuhteissa. Kokeissa määritetään eri lämpötiloissa haihtuvat, sekä lauhtuvat että lauhtumattomat, yhdisteet. Headspace-atomiemissioilmais-in-kaasukromatografilla saadaan käsitys haihtuvista yhdisteistä. Kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä tutkitaan lämpökaapin ja TGA:n avulla.

Varastointi- ja kuivauskokeiden eri vaiheissa otetuille materiaalinäytteille määritetään polttoaineominaisuuksia, kemiallista koostumusta, neulaspitoisuutta sekä mikrobipitoisuuksia. Kenttävarastointikokeiden varaston purkamisen yhteydessä tehdään ilman epäpuhtauksien työhygieniset mittaukset. Kuivausko-

keissa haihtuvat yhdisteet otetaan talteen lauhde- ja kaasunäytteinä. Lysimetrikokeista määritetään valumavesien kuormitus.

Tutkittavien materiaalien kenttä- sekä laboratoriovarastointikokeiden yhteydessä tehtyjen mittausten ja analyysien perusteella tehdään työhygieeninen riskinarviointi. Tämä tarkoittaa terveydelle ja ympäristölle haitallisten tekijöiden tunnistusta ja niiden merkityksen arviointia. Riskinarvioinnin pohjalta tehdään ehdotukset tarvittavista torjuntatoimenpiteistä, kuten esim. työntekijöiden henkilökohtaisesta suojautumisesta. Varastointi- ja kuivauskokeissa otettujen ilma-, kaasu- ja vesinäytteiden analyysien perusteella arvioidaan varastointi- ja kuivausketjun vaikutuksia ympäristölle.

Työssä selvitetään alustavasti mahdollisuuksia saada puupolttoaineiden esikäsitteilyn yhteydessä talteen esille tulevia mahdollisesti hyödynnettävissä olevia kemikaaleja.

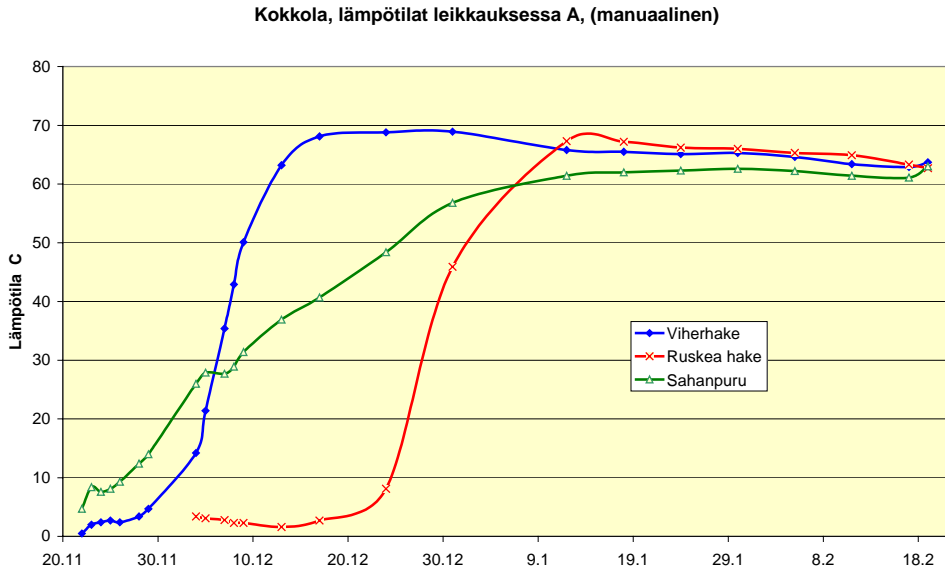
Projektissa osallistutaan SLU:n projektiin liittyen varastointikokeiden näytteiden analysointiin ja työhygieeniseen riskin arviointiin. Ruotsalainen projekti osallistuu VTT:n projektiin suorittamalla lysimetrikokeet.

4. Tulokset

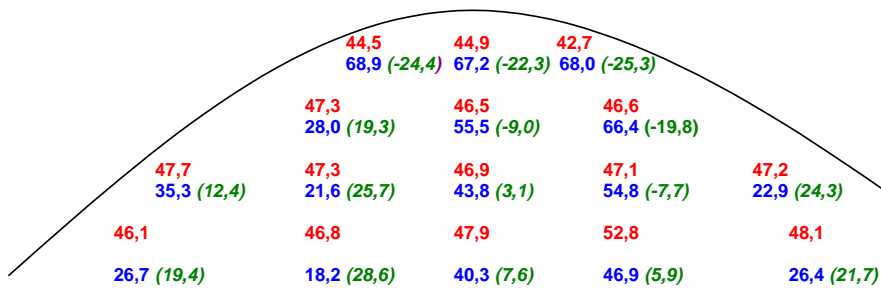
4.1 Varastointikokeet

Vihreän ja ruskean hakkuutähdehakkeen sekä sahanpurun koeaumoissa, jotka tehtiin Kokkolan voimalaitoksen polttoainekentälle marras-joulukuussa 2001, lämpötila kohosi 60 ja 70 °C:n välille, missä se pysyi ainakin maaliskuuhun saakka (kuva 2). Hakeaumoissa lämpötilan nousut olivat nopeita. Sahanpuruaumassa lämpötilan nousu oli tasaisempaa ja hitaampaa. Aumojen lämpenemisestä johtuen osassa aumaa tapahtui polttoaineen kuivumista ja osassa aumaa kostumista. Hakeaumoissa kuivimmat vyöhykkeet olivat kosteudeltaan 23–30 %. Kuvassa 3 on esimerkkinä kosteuspitoisuudet viherhakeaumassa kolmen kauden varastoinnin jälkeen. Kuivuneimmat alueet sijaitsivat aumojen sivustoilla. Meren puolen vallitsevat tuulet kuivattivat meren puolta jonkin verran paremmin. Auman lämpenemisen takia pintakerrokseen noussut kosteus kasteli varaston pinta- ja keskiosaa. Hakeauman yläosan kosteudet olivat noin 65 %.

Sahanpuruaumassa kuivuminen oli vähäisempää. Varastoaumojen koolla ja muodolla voidaan vaikuttaa polttoaineen optimaaliseen kuivumiseen varastoinnin aikana.



Kuva 2. Lämpötilojen kehitys eri polttoaineiden koeaumoissa kolmen kuukauden aikana.



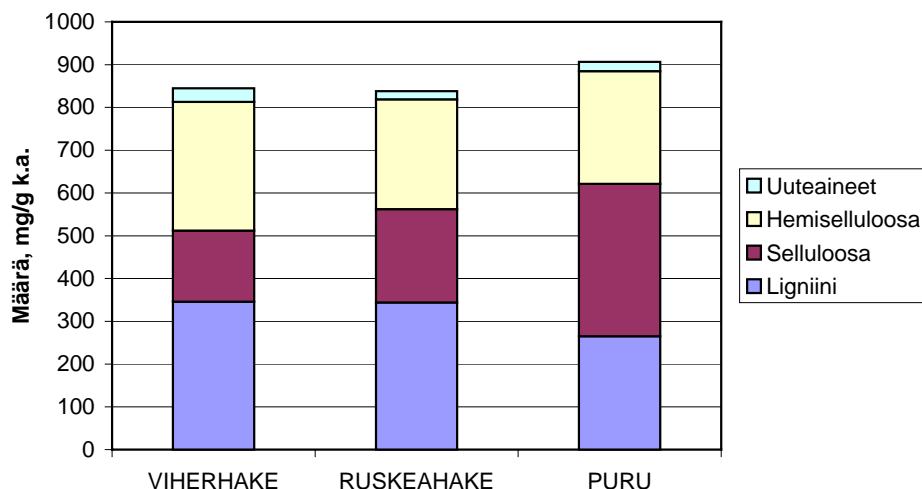
Leikkaus A **Vihreä hakkuutähdehake**
 Kosteus alussa ka. 46,9 %, s = 2,1 ja
 kolmen kk:n kuluttua ka. 43,2 %, s = 18,3
 Keskikosteus kun 3 ylintä pistettä jätetään pois 37,5 %

Kuva 3. Kosteuden muutokset viherhakeaumassa kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen.

4.2 Materiaalien ominaisuudet

Kosteusmuutoksiin verrattuna muutokset muissa polttoaineominaisuuksissa olivat pienempiä. Tuhka- ja hiilipitoisuudet kasvoivat hieman kolmen kuukauden varastoinnin aikana. Haihtuvat aineet ja lämpöarvo kuiva-aineessa puolestaan laskivat. Molemmat ilmiöt viittaavat siihen, että varastoinnin aikana tapahtuu kuiva-ainetappioita.

Lähtömateriaaleista viherhake ja ruskeahake olivat kuusivaltaisia hakkeita ja sahanpuru oli lähinnä mäntyä. Lähtömateriaalien orgaanisten pääaineryhmien pitoisuudet kuiva-aineesta on esitettyinä kuvassa 4. Hakemateriaalien sisältämien aineryhmien pitoisuudet erosivat selvästi sahanpurun vastaavista pitoisuuksista. Hakkeet sisälsivät enemmän ligniiniä, hemiselluloosaa ja uuteaineita sekä epäorgaanisia aineita kuin sahanpuru.



Kuva 4. Lähtömateriaalien pääaineryhmäkoostumus.

4.3 Ison kuori-puruvarastoaman seuranta

Polttoainekentällä olevan ison kuori/puruvaraston kosteus- ja lämpötilaseuranta onnistui vain osittain. Turveaumojen kairaukseen kehitetty laite ei toiminut riittävän hyvin puupolttoainevarastossa. Noin kuukauden pituinen lämpötilojen

seuranta osoitti, että päältä tiivistetyn kuori-puruauman tiivistämättömät reuna-alueet saattavat lämmetä lähes 90 °C:seen. Tällöin kasvaa varaston itsesyttymisriski.

4.4 Kuivauskokeet

Tehtyjen kuivauskokeiden perusteella viherhakkeesta haihtuu kuivauksessa enemmän yhdisteitä kuin muista materiaaleista, mihin vaikuttaa ainakin viherhakkeen sisältämät neulaset. Neulaset samoin kuin oksat sisältävät enemmän haihtuvia terpeenejä kuin muu puuaines. Haihtuvista yhdisteryhmistä pienimolekyyliset karboksyylihapot, alkoholit ja aldehydit sekä mono- ja seskviterpeenit muodostavat pääyhdisteryhmät. Lämpökaappikokeissa tutkituista muuttujista eniten viipymäaika ja seuraaviksi palakoko ja lämpötila vaikuttivat viherhakekerroksen (4–5 cm) kuivumiseen. Mallin avulla voidaan arvioida esimerkiksi, millä olosuhteilla päästään tiettyyn loppukosteuspitoisuuteen.

5. Tulosten hyödyntäminen

Tutkimus antaa uutta tietoa metsätähdehakkeen ja sahanpurun käyttäytymisestä varastoinnissa ja kuivauksessa sekä esikäsittelyn vaikutuksista polttoaineiden ja polttoainejaloiteiden laatuun. Lisäksi saadaan selvitys esikäsittelyn aiheuttamista päästöistä, kuten haihtuvista yhdisteistä, hajupäästöistä ja valumavesien laadusta, sekä ympäristövaikutuksista ja työhygieenisistä riskitekijöistä sekä suojautumisesta. Samoin alustavaa tietoa saadaan esikäsittelyn yhteydessä mahdollisesti talteen saatavista hyödynnettävistä kemikaaleista. Projektin antamien tulosten lisäksi saadaan tietoa kuoren käyttäytymisestä varastoinnissa sekä työhygieniasta ruotsalaisen yhteistyöprojektin kautta.

Tuloksia voivat hyödyntää puupolttoaineiden, kuten metsätähteen, toimittajat, kuivurivalmistajat, polttoainejaloiteiden valmistajat sekä lämpövoimalaitokset.

6. Jatkosuunnitelmat

Tutkimuksessa on edetty suunnitelmien mukaisesti. Kesäkuussa tehdään koeverastoihin toinen leikkaus. Syksyllä tehdään kolmas leikkaus viherhakeaumaan. Laboratoriovarastointikokeet SLU:ssa tehdään kesällä ja osallistutaan SLU:n projektin varastointikokeiden analysointiin. Kuivauskokeita jatketaan syksylle. Varastoinnin työhygieenisää riskitekijöitä arvioidaan. Hyödynnettävissä olevista kemikaaleista esitetään alustava arvio. Tutkimus raportoidaan vuoden 2002 lopussa.

Kehyspuiteohjelma Alholmens Kraftin biopolttoaineiden vastaanoton ja varastoinnin kehittämiseksi sekä polttoprosessin optimoimiseksi – PUUY20

Jari Niemelä, Pohjolan Voima Oy
Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy
PL 40, 00101 Helsinki
Puh. (09) 693 061, faksi (09) 6930 6555
Eero Koskinen, Powest Oy
Markku Tuomenoja, Empower Engineering Oy

Abstract

Project title in English: Development program to improve fuel receiving and storage systems and to optimise the combustion process in Oy Alholmens Kraft Ab

1. Projektin tausta

UPM-Kymmene Oyj:n Pietarsaaren tehtaiden yhteyteen valmistui lokakuussa 2001 biopolttoaineita käyttävä suurvoimala, Oy Alholmens Kraft Ab. Osakkaina hankkeessa ovat Pohjolan Voima Oy, UPM-Kymmene Oyj, Kokkolan Kaupunki, Perhonjoki Oy, Päijät-Hämeen Voima Oy, Graningeverkens Abb, Skellefteå Kraft, Revon Sähkö Oy ja Oulun Seudun Sähkö.

Voimalaitoksen polttoaineiden vuosikäyttö on 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 0,6 TWh, mikä vastaa noin 315 000 m³:ä tai noin 800 000 hake-m³:ä.

2. Projektin tavoitteet

Projektin kolme päätavoitetta ovat

1. voimalaitoksen hankinnan analyysimenetelmien kehittäminen
2. polttoprosessin optimointi ja korroosionhallinta
3. voimalan vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmien kehittäminen (esiselvitys).

3. Toteutus ja tuloksia

Ensimmäisessä osaprojektissa selvitettiin puupolttoaineiden saatavuus Pietarsaaren voimalaitokselle. Selvitys päättyi siihen, että tehtaan ja lähialueen purulla ja kuorella voidaan voimalaitoksen polttoainehuollosta hoitaa noin 35 %. Metsähakkeen saatavuus asetetulla kilpailukykyisellä hinnalla arvioitiin 250 GWh:ksi.

Toisessa osaprojektissa Oy Alholmens Kraft Ab, Kvaerner Pulping Oy ja Neles Automation Oy tutkivat ja mallintavat Oy Alholmens Kraft Ab:n kierto-leiju- (CFB) -kattilan polttoprosessia. Prosessien simulointia varten on hankittu erillinen prosessiasema. Projektin avulla parannetaan polttoaineen syötön ja palamisen hallintaa ja kattilan perussäätöjä kehittämällä.

Åbo Akademi (ÅA) on selvittä voimalaitoksen polttoaineiden karakterisointia tuhkan käyttäytymisen ja korroosion kannalta Työssä käytettiin kehitteillä olevaa uudentyyppistä tuhkan käyttäytymisen ennakointimenetelmää, joka perustuu tarkempaan polttoaineanalyysiin yhdistettynä kemiallisen monikomponentti, monifaasi tasapainolaskelmaan.

Loppuraportissa havainnollistetaan eri polttoaineista niiden seoksista aiheutuvia riskejä ja ongelmia (so. likaantuminen ja korroosio) käyttämällä uusia kehittyneitä ennakointityökaluja. Tuloksena saatiin polttoainespesifisiä kvalitatiivisia ennakointiarvoja likaantumiselle, korroosiolle ja SO_x -päästöille.

Kvaerner Pulping Oy tekee tarkemmat analyysit sen ja omien malliensa pohjalta määrityksen kattilan riskeistä haitallisten kerrostuma- ja korroosioilmiöiden

osalta. Samoin tutkitaan polttoaineiden käyttöolosuhteiden ja päästöjen optimoimista.

Sondikokeilla pyrittiin todentamaan ja tarkistamaan teoreettisesti laskettuja polttoainespesifisiä kvalitatiivisia ennakointiarvoja likaantumiselle, korroosiolle ja SO_x-päästöille ja samalla pyritään selvittämään korroosion kannalta todelliset riskialttiit kattilan alueet ja polttoainekombinaatiot

Kolmas osaprojekti tehtiin yhteispohjoismaisena yhteistyönä Alholmens Kraftin, UPM-Kymmenen, Skellefteå Kraftin ja Vaskiluodon Voiman kesken. Esiselvityksen aikana kerättiin käyttökokemuksia suuremman kokoluokan voimalaitoksilta ja eri polttoainetoimittajilta. Lisäksi selvitettiin metsätähteen osalta missä muodossa ja millä tavalla polttoaine tulee voimalaitokselle.

Vastaanoton ja kuljetinjärjestelmien käytettävyyssanalyysi tehtiin yllä mainitun ryhmän lisäksi VTT Prosessien ja valitun laitetoimittajan kanssa. Käytettävyyssanalyysi tehtiin ryhmätyönä suunnittelukokouksissa.

Erityyppisten biopolttoaineiden vastaanoton vaatimukset selvitettiin kuljetuskaluston, vastaanottomittauksien, toimitustasaisuuden, laatu seurannan ja varastointitarpeen suhteen, huomioiden mahdollisuuden erityyppisten polttoaineiden seostamisen polton optimoimiseksi.

Biopolttoainevoimalan ja hiilivoimalan polttoaineen vastaanotto ja käsittelylaitteiston kustannusvertailu tehtiin.

Esiselvitystyön tietojen pohjalta hankittiin suuren kokoluokan monipolttoainevoimalaitokselle soveltuva polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmä.

Puun ja lietteiden yhteispolton vaikutus kattilakorroosioon – PUUY28

Juha Räsänen

Varenso Oy, Energiapalvelut

PL 169, 78201 Varkaus

Puh: +358 (0) 2046 32 704, gsm: +358 (0) 4074 61 220

Faksi +358 (0) 2046 32 122

juha.rasanen@storaenso.com

1. Esiselvitys

VTT suoritti 2.4.–4.4.2001 Stora Enson Varkauden tehtaiden jätevedenpuhdistamon lietteen ja kiertopetikattilassa (CFB) K6 poltettavan puupolttoaineen polttokokeet VTT:n CFB-reaktorilla. Polttokokeissa havaittiin jätevedenpuhdistamon kemiallisen lietteen kasvattavan hieman kattilaan jäävän kloorin määrää. Kloridikerrostumia ei kokeissa kuitenkaan havaittu. Kemiallisen lietteen polton ei havaittu myöskään lisäävän kattilaan jäävää metallisen alumiinin määrää.

2. Täysmittakaavaiset polttokokeet

18.3.–14.4.2002 suoritettiin yhteistyössä VTT Prosessien kanssa kiertopetikattila K6:lla ensimmäinen osa täyden mitan polttokokeista. Kokeen ensimmäisessä osassa selvitettiin tilanne ennen kemiallisen lietteen polttoa. Kokeessa polttoaineena käytettiin siis normaalin puupolttoaineen ja hiilen lisäksi jätevedenpuhdistamon primääri- ja biolietettä. Polttokokeen raportti on parhaillaan työn alla VTT:ssä.

Kattila K6:n seisokissa 18.6.–13.7.2002 valmisteltiin seuraavia polttokokeita parantamalla mittausyhteitä sekä näytteenottoyhteitä. Seuraava koejakso mitataan marraskuussa 2002, jolloin polttoaineina käytetään puupolttoaineiden, hiilen sekä primääri- ja biolietteiden lisäksi jätevedenpuhdistamon kemiallista lietettä.

Seurannaisvaikutukset ja metsätalous

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: The effects of slash removal on forest regeneration

The quantity of slash remaining in the forest after slash removal, the quality of soil cultivation and forest regeneration in regeneration areas were surveyed. Furthermore, soil cultivation and forest regeneration were studied in test areas after slash removal and in those without slash removal. The results of forest regeneration, planting results and natural seedling in relation to the quantity of slash were also surveyed. In areas, where the slash had been removed, the productivity of mounding (spot mounding/plough mounding) was on average about 15% higher than in those, where logging residues had not been harvested. The productivity of areas without any slash removal was on average 305 mounds/effective hour, while that of areas with slash removal was on average 351 mounds/effective hour. When the amount of slash increased, the coverage of soil cultivation (mineral soil exposed in cultivation) was reduced independent of the method of cultivation, while there was no difference in average soil cultivation between areas with slash and those with slash removal.

The yield of tube planting was on average 5% higher in areas with slash removal than in those with slash. The average yield of planting was 253 plants/effective hour in areas with slash and 266 plants/effective hour in areas with slash removal. In one test site, a Bräcke planting machine with automatic feed was also employed. Its yield per effective hour was about 20% higher in the area without slash than in that with slash. It is easier to choose the site of planting after slash

removal as there are no slash heaps that restrict the visual range. The density of planting was slightly reduced while the amount of slash increased both in spot mounding and in spot scarification, and in particular in harrowed areas. This reduction in planting density seems to be due to poorer cultivation as a consequence of the increasing amount of slash.

The field tests carried out during the research work did not indicate any effect of slash quantity on the survival or length growth of seedlings during the first growing season. In a field experiment initiated previously and continued over four growing seasons, the mortality of both spruce and silver birch were highest in test areas with the largest quantities of slash. The amount of slash did not affect the length growth of these wood species during the first years of growth.

1. Tausta

Hakkuutähteen korjuu on kannattavinta runsaspuustoisilta kuusivaltaisilta päätehakkuualoilta (Hakkila ym. 1998), jotka useimmiten on puuntuotannon kannalta taloudellisinta uudistaa kuuselle. Istutuskuusien menestymisen kannalta parhaaksi maanmuokkausjäljeksi ovat osoittautuneet erilaisilla mätästysmenetelmillä kuten laikku- tai kääntömätästyksellä aikaan saadut kohoumat.

Metsän uudistamistyöt – maanmuokkaus ja metsänviljely – pyritään nykyisin tekemään mahdollisimman pian uudistushakkuun jälkeen. Tällöin tuoreet hakkuutähteet aiheuttavat ongelmia maanmuokkauksessa. Sekä kaivurilaikutuksessa että laikkumätästyksessä hakkuutähteistä aiheutuu ylimääräisiä työvaiheita, jotka alentavat muokkaustyön tehokkuutta. Laikkumätästyksessä hakkuutähteet pitää poistaa tulevan mättään alta (Metsäteho 2000) ja kaivurilaikutuksessa hakkuutähdettä joudutaan usein siirtämään pois ennen varsinaisen laikun tekoa. Jos maanmuokkauksena käytetään ojitusmätästystä, joka tehdään järeällä kaivurilla, voidaan hakkuutähdettä jättää suurien kivennäismaamättäiden alle. Tällöin hakkuutähteistä aiheutuva haitta maanmuokkaustyössä jää vähäiseksi.

Maanmuokkausjäljen laatu vaikuttaa istutustyöhön ja edelleen istutustaimien menestymiseen. Runsaasti hyviä istutuskohtia käsittävällä uudistusalalla istutustyö sujuu nopeasti ja työjälki on laadukasta ja tasaista, mikä varmistaa istutustaimille hyvän alkukehityksen.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on antaa luotettava ja yleistyskelpoinen kuva hakkuutähteen korjuun vaikutuksista maanmuokkaukseen, metsänviljelyyn, uudistamistulokseen ja taimikon alkukehitykseen.

Tutkimuksessa selvitetään uudistusaloille hakkuutähteen korjuussa jäävän hakkuutähteen määrää, maanmuokkausjäljen ja metsänviljelytyön laatua käytännön uudistusaloilla. Lisäksi tutkitaan maanmuokkaus- ja metsänviljelytyötä hakkuutähteettömillä ja hakkuutähteellisillä koalueilla sekä verrataan metsänuudistamistulosta, istutustulosta ja luontaista taimettumista suhteessa hakkuutähteen määrän. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä maanpinnankäsittelymenetelmiä 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) sekä
- D. Taimien alkukehityksen seuranta kenttäkokeilla (1999–2001).

Projektin loppuseminaari ”Hakkuutähde ja metsänuudistaminen” pidettiin 12.6.2002 Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla. Projekti päättyi 30.6.2002.

Seuraavassa esitetään lyhyesti tuloksia hakkuutähteen vaikutuksesta maanmuokaus- ja istutustyöhön sekä taimien alkukehitykseen ja luontaiseen taimettumiseen.

4. Aineisto ja menetelmät

Maanmuokkaukset tehtiin kesän ja syksyn 2000 aikana Mikkelin, Suonenjoen ja Jämsänkosken sekä keväällä 2001 Heinolan ja Pieksämäen mlk:n Kurkon koealueilla. Kurkon koealueella muokkausmenetelminä olivat laikkumätästys ja äestys. Mikkelin koealueella menetelmänä oli kääntömätästys ja Jämsänkoskella kaivurilaikutus. Pieksämäen mlk:n Pöyhölänkaan maanmuokkaukset ja istutukset tehtiin syksyllä 2001. Täällä uudistamismenetelminä olivat laikkumätästys ja käsinistutus sekä koneistutus. Muokkaukset tehtiin maanomistajien (Mikkelin kaupunki ja UPM-Kymmene Oyj) ohjeiden mukaisesti.

Muokkauksen sekä käsin- että koneistutuksen työntutkimus tehtiin videoimalla. Kuvattujen alueiden pinta-alat mitattiin. Videoaineiston avulla selvitettiin muokkauksen työvaihejakauvat, mättäiden lukumäärät ja tuotokset. Työvaihejakauvan määrittämisessä havaintovälinä oli 15 sekuntia. Mätästyksessä työvaiheet olivat: koneen siirtyminen, hakkuutähteen siirto, mätästys (puomin siirto ja varsinainen mättään teko) ja mättään tiivistys. Käsinistutuksen työvaiheet koostuivat taimien irroituksesta (irroituslevyllä kennostosta), siirtymisestä, istutuksesta ja taimien hausta.

Koealueet istutettiin syväistutukseen soveltuvalla pottiputkella; nro 5 (49 mm) malli DP. Sekä käsin- että koneistuttaja olivat työhön tottuneita. Käsinistutusalueilla aikatutkimuksen yhteydessä piirrettiin istutuspaikoista kartta, jonka avulla määritettiin istuttajan kulkema matka. Piirros digitoitiin ja siitä määritettiin istutustaimien koordinaatit. Taimien tilajärjestystä kuvattiin Coxin (1971) kehittämällä menetelmällä, jossa ryhmittäisyysindeksi (I_c) laskettiin sadan satunnaispisteen ja lähimmän taimen etäisyyden avulla (ks. Pohtila 1977).

Alueet istutettiin kuuselle (1v) ja paakkutyypiksi oli PL 81 F (paakun tilavuus 85 cm^3 , kasvatustiheys 546 tainta/m^2 ja 81 kpl/yksikkö). Taimilaatikko oli istuttajan kylkitelineessä ja taimet istutettiin suoraan taimilaatikosta.

Maanmuokkausjäljen laadun arvioimiseksi kehitettiin valokuvaukseen pohjautuva menetelmä. Jokaiselta ruudulta valokuvattiin ennen muokkausta ja muokkauksen jälkeen 4–16 koealaa. Valokuvauspisteet sijoitettiin systemaattisesti tasavälein hakkuutähdepiteen mittausverkoston mukaisesti. Kuvat otettiin kohtisuoraan alaspäin tangon päähän asennetulla kinofilmikameralla (kuva 1).

Kaukolaukaistava kamera oli telineessä, joka piti sen aina vaakatasossa. Kuvauskorkeus oli 3 m kamerasta maanpinnan tasoon ja se vakioitiin luotilangalla. Näin saadut diakuvat skannattiin valokuvaamossa bittikarttakuviksi, joiden koko oli 3 072 x 2 048 pikseliä. Colan -kuvankäsittelyohjelmalla (ColorSoft Oy) ja kuvaan sijoitetun kalibrointimitan avulla kuva-alueen kooksi määräytyi 9,2 m². Tämän jälkeen suorakaiteen muotoiset kuvat rajattiin neliöiksi ja laskelmissa käytetyksi pinta-alaksi tuli 6,12 m². Ohjelman avulla kuvista määritettiin manuaalisesti hakkuutähteen, kantojen ja kivien peittävyys, sekä muokkausalan osuus.

Kullekin koeruudulle perustettiin taimien alkukehityksen seurantaan varten pysyvät koealat em. valokuvauspisteisiin. Ympyräkoean koko oli 50 m². Istutustaimet kartoitettiin koealan keskipisteestä mitatun etäisyyden ja suunnan avulla. Istutustaimista määritettiin istutuskohdan laatu (alustan laatu, istutuspaikan korkeusasema ja kosteusolot), taimien istutussyvyys ja kunto sekä mitattiin taimen pituus ja istutusvuoden pituuskasvu. Lisäksi mitattiin taimen etäisyys humuksesta ja tarkastettiin kärsäkkäiden aiheuttamat vauriot.

Taimien alkukehitystä seurattiin Saarijärvelle keväällä 1998 perustetulla kenttäkokeella (Oijala ym. 1999). Koekentällä oli korjattu hakkuutähdettä eri menetelmillä (neljä eri korjuumenetelmää; viisi eri lohkoa). Sen lisäksi hakkuutähdettä oli kasattu osalle ruutuja, jotta saataisiin mahdollisimman suuri vaihtelu hakkuutähteen määrään. Taimien alkukehityksen seurannassa ympyräkoean (50 m²) hakkuutähdemääränä käytettiin kuuden mittauspisteen painotettua keskiarvoa. Koealan keskipistettä lähimmän mittauspisteen arvo sai kaksinkertaisen painon verrattuna muihin viiteen havaintoon. Tällä koekentällä seurattiin taimien pituuskehitystä ja tuhoja syksyllä 2000 ja 2001 tehdyin seurantamittauksin sekä inventoitiin luontaisesti syntyneiden taimien määrä syksyllä 2001 (3 vuotta muokkauksesta).

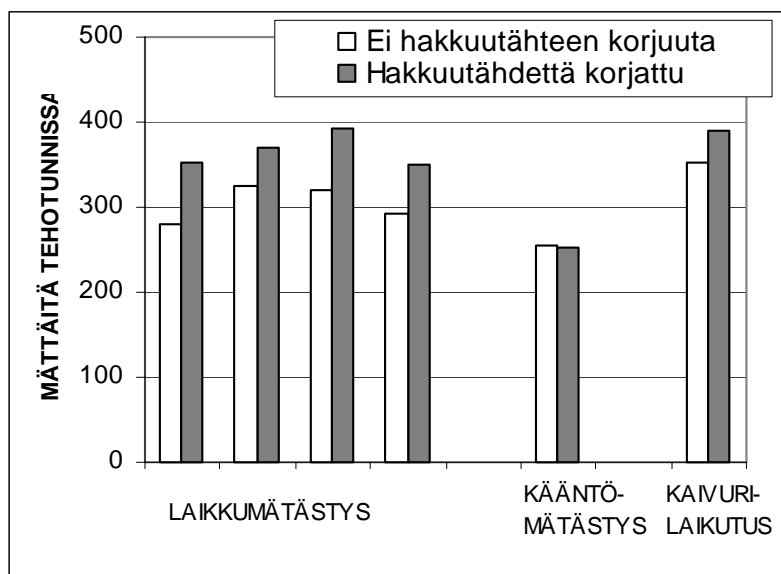


Kuva 1. Muokkausjäljen valokuvaus koekentällä.

5. Tulokset

5.1 Hakkuutähteen vaikutus muokkaustyöhön ja muokkausjäljen laatuun

Kaikilla koealueilla mättäiden määrä hehtaarilla oli molemmissa käsittelyissä (hakkuutähteellinen/hakkuutähteetön) samaa suuruusluokkaa (keskimäärin 1 555 ja 1 547 mätästä ha⁻¹). Hakkuutähteettömällä alueella mätästys oli keskimäärin noin 15 % nopeampaa kuin hakkuutähteellisillä alueilla (ero tilastollisesti suuntaa antava, p-arvo < 0,10, kuva 2). Poikkeuksena oli Mikkelin koekenttä, jossa kääntömätästyksessä ei ollut eroa hakkuutähteellisen ja hakkuutähteettömän alueen välillä. Suonenjoen Heinäselän sekä Pieksämäen mlk:n Kurkon ja Pöyhölänkankaan alueet laikkumätästettiin samalla koneella ja Pieksämäen mlk:n koekentillä myös kuljettaja oli sama. Alueet olivat maastollisesti samankaltaisia. Näillä koekentillä hakkuutähteettömien ruutujen laikkumätästystyön tuottavuus oli lähes 20 % parempi kuin hakkuutähteellisillä ruuduilla.



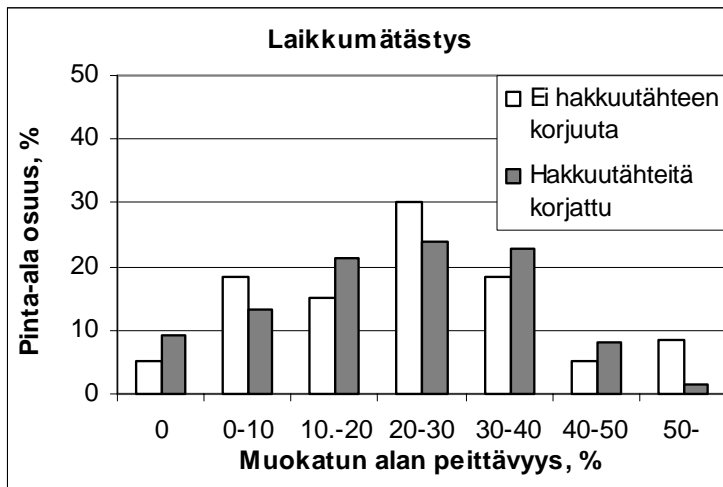
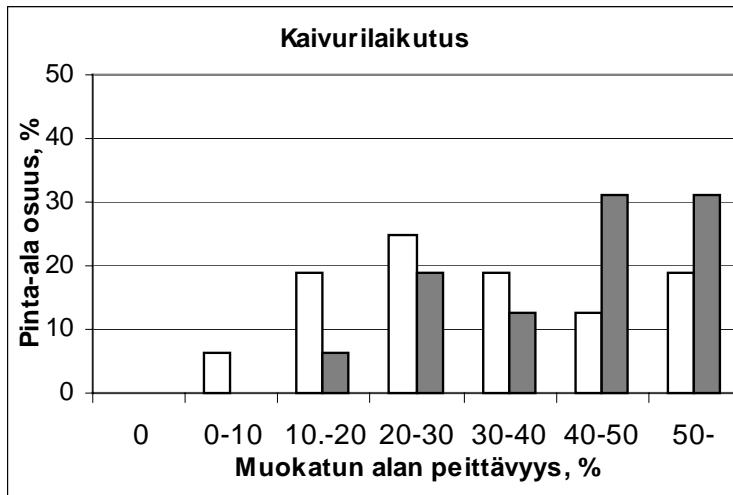
Kuva 2. Muokkaustyön tuotos (mättäitä tehotunnissa) koekentittäin hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömällä ruuduilla.

Työajan jakaumatulosten mukaan hakkuutähteiden siirron osuus oli 3–16 %. Tämä selittää osan muokkaustyon tuotoserosta. Koneen siirtymistyövaiheen osuus vaihteli 5–14 %:iin kokonaistehoajasta. Siirtymisen osuus oli pienin Suomenjoella olevalla hakkuutähteellisellä koalueella.

Maanmuokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuus ei eronnut hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien koalojen välillä. Mätästysaloilla muokattua pinta-alaa oli keskimäärin 23–27 % ja äestetyllä alalla 28–31 %. Kaivurilaikutetulla kohteella muokkauksen peittävyys nousi hakkuutähteen korjuuruudulla 42 %:iin, kun se hakkuutähteellisellä alalla jäi 33 %:iin, mutta tämäkään ero ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi.

Muokkausjäljen havaintojakaumakin oli laikku- ja kääntömätästyksessä hyvin samankaltainen niin hakkuutähteellisillä kuin hakkuutähteettömillä kohteilla. Kaivurilaikutuksessa hakkuutähteen korjuuruudulla voimakkaasti muokattua pinta-alaa (yli 40 % muokattua pintaa) oli selvästi enemmän kuin hakkuutähteellisellä ruudulla (kuva 3). Äestysjälki näyttää hakkuutähteen korjuuruudulla muodostuvan tasaisemmaksi (pienempi vaihteluväli) kuin hakkuutähteellisellä ruudulla. Sekä kaivurilaikutuksen että äestyksen tulosten yleistettävyyttä heikentää havaintojen vähyys (vain yhdet koeruudut).

Hakkuutähteen määrän noustessa muokkausjäljen peittävyys aleni kaikissa muokkaustavoissa. Laikkumätästyksessä hakkuutähteen määrän ja muokkausjäljen peittävyyden välinen negatiivinen korrelaatio oli heikoin, -0,049 (p-arvo 0,625). Kääntömätästyksessä vastaava korrelaatio oli -0,273 (p-arvo 0,107) ja kaivurilaikutuksessa hakkuutähteet heikensivät muokkausjälkeä voimakkaimmin (korrelaatio -0,405, p-arvo 0,022).



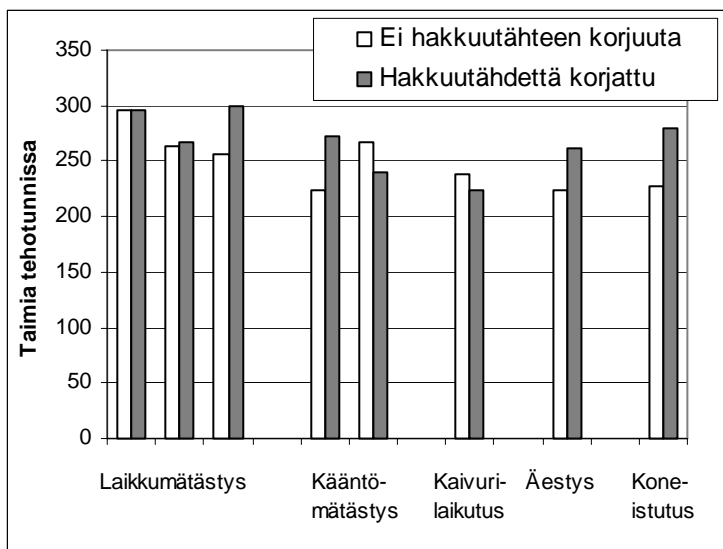
Kuva 3. Muokausjäljen peittävyyden havaintojakauma laikkumätästyksessä ja kaivurilaikutuksessa hakkuutähteellisillä ja -tähteettömillä ruuduilla.

5.2 Hakkuutähteen vaikutus istutustyöhön ja sen laatuun

Istutustiheys vaihteli mätästetyillä alueilla 1 550–2 306 taimeen hehtaarilla (keskimäärin 1 800 tainta hehtaarilla). Keskimääräinen taimitiheys hehtaarilla oli n. 300 kpl suurempi kuin mättäiden lukumäärä. Poikkeuksena oli Suonenjoen koealue, jossa hehtaarikohtainen mättäiden lukumäärä ja taimitiheys olivat sa-

maa suuruusluokkaa. Äestetyllä alueella taimitiheys oli hakkuutähteellisellä alueella 1 957 ja tähteettömällä 1 850 tainta/ha. Kaivurilaukutetulla koekentällä istutustiheys jäi keskimäärin hieman yli 1 400 taimeen hehtaarilla. Istutustiheydet olivat yhtäläiset niin hakkuutähteellisillä kuin hakkuutähteettömällä koeruduilla.

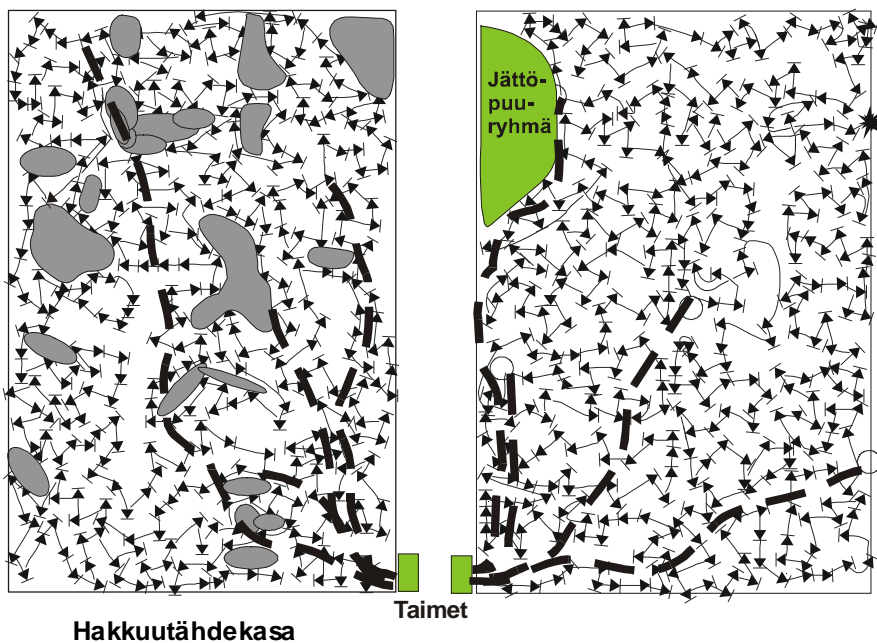
Käsinistutuksen tuotos vaihteli hakkuutähteellisillä alueilla 223–295 tainta/tehotunti ja hakkuutähteettömällä alueilla 223–300 tainta/tehotunti (kuva 4). Keskimääräinen tuotos oli hakkuutähteellisellä 253 ja hakkuutähteettömällä 266 tainta/tehotunti. Istutustyön ero oli vain 5 % hakkuutähteettömän eduksi, eikä keskiarvojen ero osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi (p-arvo 0,373). Siirtymisen osuus oli keskimäärin 3 %-yksikköä suurempi hakkuutähteellisellä kuin hakkuutähteettömällä alueella.



Kuva 4. Käsin ja koneistutuksen tuotos (taimia tehotunnissa) koekentittäin hakkuutähteellisillä ja -tähteettömällä ruuduilla.

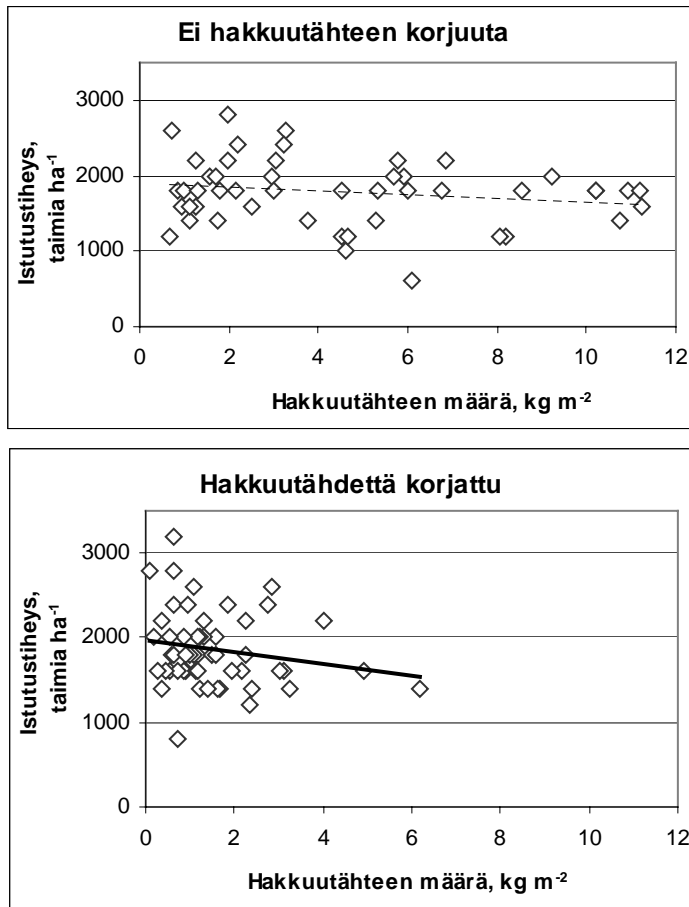
Käsinistutusaloilta piirrettiin kartta (kuva 5), josta näkyy taimien istutuspaikat ja istuttajan kulkema todellinen reitti (kulkemista haittaavien esteiden kiertely). Istuttajan kulkeman matkan keskimääräinen ero hakkuutähteellisen ja -tähteettömän alueen välillä oli 10 cm tainta kohti. Matka sisältää vain varsinaisessa istutustyössä (ei taimien hakua ja kulkemista taimilaatikon kanssa istutuksen

aloituspaikkaan) kuljetun matkan. Tulosta voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavana, koska Mikkelin koalueella istutusmatkassa ei ollut eroa hakkuutähteellisen ja -tähteettömän alueen välillä ja Suonenjoella ero oli hakkuutähteellisen eduksi. Suonenjoen tulokseen lienee vaikuttanut mätästykseen systemaattinen työtapa, jossa hakkuutähteistä muodostui pitkiä yhtenäisiä juotteja. Nämä 'ohjasivat' istuttajaa ja vähensivät turhaa kävelyä. Istuttajan kokonaisuudessa kulke-
man matkan optimointi ja työn kannalta tarkoituksenmukainen taimimäärä istutusvakkaa kohti vaikuttaa työn tuottavuuteen. Myös taimivaraston tai -varastojen sijoittelulla on merkitystä.



Kuva 5. Istuttajan kulkema reitti hakkuutähteellisellä (vasen) ja -tähteettömällä (oikea) ruudulla. Esimerkkinä Pieksämäen mlk:n Kurkon koekenttä ja muokausmenetelmänä on mätästys (ruudut 40 m x 60 m).

Istutustaimien tiheys pieneni hieman hakkuutähteen määrän kasvaessa laikkumätästyksessä (korrelaatio -0,192, p-arvo 0,056) ja kaivurilaikutuksessa (korrelaatio -0,263, p-arvo 0,145, kuva 6). Hakkuutähteen vaikutus istutustiheyteen näyttää tulevan muokkausjäljen 'kautta'. Lähes poikkeuksetta hakkuutähteen vaikutus oli suurempi muokkausjälkeen kuin istutustiheyteen.



Kuva 6. Istutusitiheys suhteessa hakkuutähteen määrään. Kyseessä laikkumätätetyt hakkuutähteelliset ja -tähteettömät koealat.

Istutustaimien tilajärjestystä kuvaava ryhmittäisyysindeksi I_c (Cox 1971) osoitti kaikilla kartoitetuilla koekentillä taimikon olevan satunnaista tasaisempi (I_c arvot vaihtelivat välillä 2,9–8,2). Neljällä koekentällä kuudesta taimikko oli hakkuutähteen korjuuruuduilla tasaisempi (I_c suurempi) kuin hakkuutähteellisellä alalla.

Käsinistutuksessa istutuspaikan valintaa ja istutustyön laatua kuvaavissa muutujissa ei havaittu suuria eroja hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien koeruujujen välillä. Muokkausjäljestä johtuen joka kolmas taimi oli äestyksellä ja kaivurilaikutuksessa keskimäärin ympäröivää maanpintaa alempana. Mätästykissä vastaavia tapauksia oli vain muutamia. Samoin liian märäksi arvioituihin

kohtiin istutettuja taimia oli pääasiassa vain äestysalalla, jossa hakkuutähteen korjuun jälkeen muokkausjälki näyttää olevan tarpeettomankin 'syvä' hyviä istutuskohtia ajatellen.

Automaattisyötöllä varustetun Bräcke-istutuskoneen tehotuntituotos oli hakkuutähteellisellä alueella 228 tainta ja hakkuutähteettömällä alueella 279 tainta (kuva 4). Aikatutkimuksesta on poistettu prototyypistä johtuneet keskeytykset. Työajan jakaumissa hakkuutähteellisellä ja hakkuutähteettömällä alueella koneen siirtymisen ja taimitäydennyksen osuudet olivat lähes samat. Hakkuutähteellisellä alueella tähteiden siirron osuus oli 6 %.

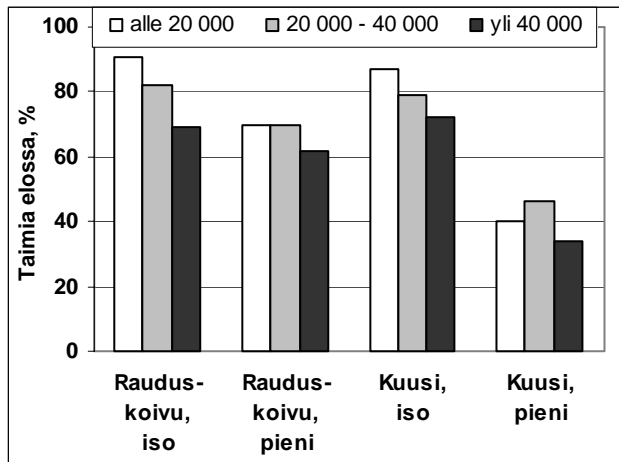
Koneistutustaimista oli hakkuutähteettömällä koeruuduilla kasvualustastaan irti 19 % ja hakkuutähteellisillä 14 %. Hyvin kasvualustassaan kiinni olevien taimien osuus oli molemmilla menetelmillä 57 %. Hakkuutähteettömällä ruuduilla taimista oli suorassa 44 % ja 20 % taimista oli yli 30° vinossa, kun hakkuutähteellisillä vastaavat luvut olivat 26 % ja 30 %. Hyvin istutettujen taimien (taimi hyvin kiinni kasvualustassa ja suorassa) osuus oli hakkuutähteettömällä ruuduilla 27 % ja hakkuutähteellisillä 13 %. Vastaavasti kasvualustasta irti tai yli 30° kallellaan olevien taimien osuudet olivat 31 % ja 38 %.

5.3 Taimien alkukehitys ja luontainen taimettuminen

Tutkimuksessa perustetuilla kenttäkokeilla istutustaimet olivat lähes poikkeuksetta elossa ensimmäisen kasvukauden jälkeen. Ensimmäisen kasvukauden pituuskasvu oli sekä hakkuutähteellisillä että hakkuutähteettömällä aloilla keskimäärin sama, 8,9 cm (taimien kokonaispituudet vastaavasti 20,4 ja 21,3 cm).

Neljä vuotta vanhalla koekentällä (Oijala ym. 1999) oli rauduskoivun taimista elossa keskimäärin 70–80 %. Vastaavana ajankohtana kuusen isoista taimista (mediaanipituus istutettaessa 27 cm) oli elossa 80 %, mutta pienistä kuusista (mediaanipituus istutettaessa 9 cm) vain alle 40 %.

Hakkuutähteen määrä vaikutti taimien elossaoloon (kuva 7). Puulajista ja taimen koosta riippumatta kuolleisuus oli suurinta koealoilla, joilla oli eniten (yli 40 000 kg ha⁻¹) hakkuutähteitä. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.



Kuva 7. Neljännen kasvukauden jälkeen elossa olleiden istutustaimien osuus hakkuutähdemäärän mukaan luokiteltuna (äestäen muokattu koekenttä).

Neljän ensimmäisen kasvukauden aikana rauduskoivut olivat saavuttaneet keskimäärin lähes rinnankorkeuden tason, kun kuusten keskipituus samaan aikaan ylsi 40–50 cm:iin. Taimien pituuskehitykseen hakkuutähteen määrällä ei ollut kovin suurta vaikutusta. Keskimäärin pisimmät rauduskoivun taimet löytyivät niiltä koelohjoilta, joilla hakkuutähteitä oli kohtalaisesti (20 000–40 000 kg ha⁻¹). Pienet rauduskoivut olivat kasvaneet näillä koelohjoilla lähes merkitsevästi paremmin kuin vähän tai runsaasti hakkuutähteitä sisältäneillä koelohjoilla. Kuusen taimien pituuteen hakkuutähteen määrällä ei ollut vaikutusta. Samoin ensimmäisten vuosien pituuskasvuun hakkuutähteen määrällä ei kummallakaan puulajilla ollut vaikutusta.

Kärsäkätuhoja oli etenkin kookkaimmissa kuusen taimissa, joista 15 % oli syöty vuonna 1999 ja 32 % vuonna 2000. Pienemmissä taimissa vastaavat luvut olivat 5 % ja 17 %. Tässä aineistossa hakkuutähdemäärän kasvaessa kärsäkäden syönnit eivät lisääntyneet, vaan kärsäkätuhojen ja hakkuutähteen määrän välillä vallitsi lievä negatiivinen korrelaatio.

Luontaisia havupuita löytyi koekentiltä keskimäärin hieman alle 2 000 kpl ha⁻¹ ja siemensyntyisiä koivuja yli 40 000 kpl ha⁻¹. Luontaisten havu- ja lehtipuiden taimettumiseen hakkuutähteen määrällä ei ollut selvää vaikutusta. Havupuuttojen koelohjojen osuus oli runsaasti hakkuutähteitä (yli 40 000 kg ha⁻¹) sisältä-

neillä koealoilla yli 40 %, kun se vähemmän hakkuutähteitä käsittäneillä aloilla oli hieman yli 30 %. Koivujen kohdalla ei voitu havaita mitään säännönmukaisuutta taimettumisen ja hakkuutähteen määrän välillä, vaan niitä oli kaikilla koealoilla runsaasti.

6. Tulosten tarkastelu

Aikaisempien metsänviljelytutkimusten perusteella tiedetään, että runsas hakkuutähdemäärä heikentää maan muokkauksen tehokkuutta (esim. Hämäläinen & Kaila 1987, Tynkkynen 1974). Sekä laikutuksessa että laikkumätästyksessä hakkuutähteet aiheuttavat ylimääräisiä työvaiheita alentaen muokkaustyön tuotavuutta. Erityisesti laikkumätästyksessä hakkuutähteet joudutaan poistamaan mättään alta ennen mättään tekoa (Metsäteho 2000). Hakkuutähteitä jouduttiin siirtämään vain hakkuutähteellisillä ruuduilla ja se vei työajasta 3–15 %. Tämä selittää osaltaan hakkuutähteettömällä alueella saavutettua parempaa (15 %) muokkaustyön tuotosta. Lisäksi kuljettajan kannalta työ on hakkuutähteettömällä alueella selkeämpää kuin hakkuutähteellisellä, koska siirtyminen ja istutuspaikkojen valinta ja työ helpottuu. Hakkuutähteiden alla saattaa olla työtä haittaavia kantoja ja kiviä. Usein mättään paikka pystytään valitsemaan vasta hakkuutähteiden siirtämisen jälkeen. Ojitusmätästyksessä hakkuutähdettä voidaan jättää isojen kivennäismaamättäiden alle, jolloin hakkuutähteiden vaikutus tuotokseen jäänee vähäiseksi.

Maanmuokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuus ei eronnut hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien koealojen välillä missään muokkausmenetelmässä. Samaan tulokseen päädyttiin käytännön äestysaloilla tehdyssä vertailussa (Saksa 2000). Nykyisten hydraulipainotteisten äkeiden työjälkeen hakkuutähteiden haittaava vaikutus on huomattavasti vähäisempi kuin mekaanisten äkeiden työjälkeen. Vaikka keskimääräinen muokkausjälki ei eronnutkaan hakkuutähteen korjuun suhteen niin muokkausjälki heikkeni hakkuutähteen määrän kasvaessa etenkin kaivurilaikutuksessa.

Käsinistutuksen keskimääräinen tuotos oli hakkuutähteellisellä 253 ja hakkuutähteettömällä 266 tainta tehotuntia kohti. Istutustyön tuotosero oli 5 % hakkuutähteettömän alan eduksi. Tästä tuotoserosta valtaosa selittyy pienemmällä siirtymisten osuutena hakkuutähteettömällä alalla. Nyt saavutettu istutustyön tuotos

jäi selvästi pienemmäksi kuin Arin j& Korhosen (1993) tekemässä tutkimuksessa. Ero selittyy osaltaan erilaisista taimimateriaaleista.

Automaattisyötöllä varustetun Bräcke-istutuskoneen tehotuntituotos oli hakkuutähteellisellä alueella 228 tainta ja hakkuutähteettömällä alueella 279 tainta. Tuotosero (noin 20 %) johtui osaksi hakkuutähteen siirrosta, joka vei 6 % työajasta hakkuutähteellisellä alueella. Sen lisäksi koneen kuljettajan on helpompi valita istutuspaikka hakkuutähteettömällä alueella kuin hakkuutähteellisellä.

Ilman automaattista syöttölaitetta olevan Bräcke-istutuskoneen tuotos on ollut hakkuutähteellisillä alueilla 133–168 tainta/käyttötunti (Arnkil & Hämäläinen 1995) ja 130–147 tainta tehotuntia kohti (Rummukainen ym. 2002). Ruotsissa Bräcke-istutuskoneen tuottavuus on ollut 210–260 tainta tehotuntia kohti (von Hofsten 1993, Engquist & Moretoft 1993). Rummukaisen ym. (2002) tutkimuksessa taimipöydän täytön osuus oli 24–29 % tehoajasta (ilman automaattisyöttöä). Tässä tutkimuksessa automaattisyötöllä varustetulla Bräcke-istutuskoneella taimilaatikoiden laitton osuus syöttölaitteeseen oli 3 % tehoajasta. Tuotos oli hakkuutähteellisillä alueilla 228 tainta/tehotunti, mikä on yli 50 % parempi kuin esim. Rummukaisen ym. (2002) ja samaa suuruusluokkaa kuin ruotsalaisten tutkimuksissa (von Hofsten 1993, Engquist & Moretoft 1993) esittämät Bräcke-istutuskoneen (ilman automaattisyöttöä) tuotokset. On kuitenkin huomioitava, että nyt kerätty työntutkimusaineisto käsitti vain 1,26 ha istutuksen ja aineistosta on poistettu prototyypistä johtuvat keskeytykset.

Istutustiheys pieneni hieman hakkuutähteen määrän kasvaessa muokkaustavasta riippumatta. Laikkumätästystä lukuunottamatta muokkausjäljen ja hakkuutähteen määrän välinen korrelaatio oli suurempi kuin muokkausjäljen ja istutustiheyden välinen korrelaatio. Istutustiheyden aleneminen näyttää johtuvan runsaamman hakkuutähteen määrän myötä heikkenevästä muokkausjäljestä. Aiemminkin istutustiheyden on havaittu riippuvan muokkausjäljen laadusta (Saksa 1998).

Hyvän muokkausjäljen tuomat edut näkyivät myös istutustaimien elossaolossa. Neljäntenä kasvukautena sekä rauduskoivun että kuusen elossaolosadannes oli vähän hakkuutähteitä sisältäneillä ruuduilla suurempi kuin paljon hakkuutähteitä sisältäneillä kohdilla. Myös ruotsalaisten tulosten mukaan hakkuutähteen tal-

teenotto parantaa havupuiden istutustaimien elossaoloa (Sinclair et al. 1992, Egnell & Leijon 1996).

Ilmeisesti istutustaimien parempi menestyminen vähän hakkuutähteitä sisältäneillä koealoilla johtuu pääosin paremmista kasvuolosuhteista. Kuusen taimilla tukkimiehentäin tuhot eivät selittäneet taimien kuolleisuudessa havaittua eroa, vaikka hyönteistuhojen onkin arveltu vähenevän hakkuutähteen korjuun myötä (Kytö & Korhonen 2001).

Istutustaimien pituuskehitykseen hakkuutähteellä ei tässä aineistossa ollut vaikutusta. Samoin luontainen taimettuminen ja hakkuutähteen määrän välillä ei ollut selvää trendiä. Ruotsalaisten selvitysten (Berquist ym. 1999) mukaan hakkuutähteen talteenotto lisää luontaisesti syntyvien lehtipuun taimien määrää.

Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2001. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10. Abstract: Effects of slash removal on forest regeneration. Teoksessa: Alakangas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari, Jyväskylä, 5.–6.9.2001. VTT Symposium 216. S. 359–377.

Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähte ja metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 851. 41 s. Abstract: Forest regeneration and slash.

Lähteet

Ari, T. & Korhonen, P. 1993. Istutuksen ajanmenekki Bräcke-mättääseen. Metsähallitus. Kehittämisyksikkö, Tiedote 10/1993. 3 s.

Arnkil, R. & Hämäläinen, J. 1995. Bräcke planter- ja Ilves-istutuskoneiden tuottavuus ja työjälki. Review: Bräcke planter and Ilves tree planting machines. Metsätehon katsaus 1, s. 1–8.

Berquist, J., Örlander, G. & Nilsson, U. 1999. Deer browsing and slash removal affect field vegetation on south Swedish clearcuts. *Forest Ecology & Management* 115(2–3), s. 171–82.

Cox, F. 1971. Dichebestimmung und Sykturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandmessungen. *Mitt. Bundeforsch. Anst. Forst- und Holzwirtschaft. Reibek b. Hamburg* 87. 184 s.

Egnell, G. & Leijon, B. 1996. Kortsiktiga effekter på skogsproduktionen av helträdsuttag i gallring och slutavverkning. Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien, den 5 juni 1996. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 13, s. 73–82.

Engquist, M. & Moretoft, M. 1993. Tidsstudie och productionsuppföljning på Öje-Planter sommaren 1993. Fördjupningsuppgift. Sveriges lantbruksuniversitet, Norra Skogsinstitutet. Teoksen Åhlund 1995 mukaan.

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

von Hofsten, H. 1993. Hög kvalitet även på högkvaliteten med Öje-Planter. Summary: The Öje-Planter machine – good performance at a competitive cost. *Skogforsk Resultat nr 3*, s. 1–4.

Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Maaston vaikutus maanmuokkauslaitteiden työpöjälkeen. *Metsätehon tiedotus* 399.

Kytö, M. & Korhonen, K. 2001. Energiapuun korjuu ja metsätuhot. Teoksessa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). *Biomassa tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816, s. 59–65.

Metsäteho 2000. Maanmuokkauksen koulutusaineisto. Helsinki 2000. 20 s.

Pohtila, E. 1977. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Abstract: Accuracy of regeneration surveys. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 92:2. 43 s.

Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 27. 83 s.

Rummukainen, A., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Ilves- ja Bräcke-istutuskoneet – Tuottavuus, työnjälki ja kustannukset. Käsikirjoitus.

Saksa, T. 1998. Männyn istutustaimien menestyminen äestetyllä uudistusalalla. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1/1998, s. 15–31.

Saksa, T. 2000. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen. Abstract: Effects of slash removal on forest regeneration. Julkaisussa: Alakan-gas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205. S. 267–279.

Sinclair, E., Leijon, B. & Albrektson, A. 1992. Plantöverlevnad och tillväxt efter helträdsutnyttjande – sammanställning av fältförsök. Rapport från Vattenfall Utveckling AB, Projekt Bioenergi. Nr 7. 113 s.

Tynkkynen, M. 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. Metsätehon tiedotus 330.

Åhlund, J. 1995. Mekaniserad plantering med ECO-Planter 2000 – en prestationstudie samt systemjämförelse med Silva Nova och manuell plantering. Summary: Mechanised forest planting – a study of ECO-Planter 2000 planting machine and a comparison with Silva Nova planting machine and manual planting system. Sveriges Lantbruksuniversitet, Studentuppsatser nr 29. S. 1–71.

Puuenergian käyttö ja kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen – PUUT22

Sampo Soimakallio & Margareta Wihersaari

VTT Prosessit

PL 1606, 02044 VTT

Puh (09) 4561, faksi (09) 456 6538

e-mail: Sampo.Soimakallio@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Wood energy and greenhouse gases.

This project concerns greenhouse gas emissions coming from wood fuel production chains and the role of wood fuels in the control of greenhouse gas emissions in Finland. The direct and indirect greenhouse gas emissions resulting from five different fuel production chains of wood chips were modeled in the first part of the study (1999–2000): 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 were completed with production chain of manual thinning and of wood pellets. Regional as well as economical aspects were considered from a point of view of reducing greenhouse gas emissions. Calculations concerning the use of wood fuels on a national level in Finland when reducing greenhouse gas emissions were also made.

1. Tausta

Puuenergian ympäristönäkökohtia on selvitetty vuosina 1999–2001 Tekesin Puuenergian 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 jatkohankkeeseen. Tämä projekti on jatko projekti em. osahankkeelle ”Puuenergia ja kasvihuonekaasut”.

Puupolttoaineilla tuotetaan Suomessa tällä hetkellä n. 76 TWh energiaa vuodessa, joka vastaa n. 20 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Kiinteitä puupolttoaineita (pois lukien pienkäyttö) käytetään tällä hetkellä n. 23 TWh/a. Ensimmäisistä käytetään metsäteollisuuden sivutuotteina syntyvää edullista kuorta ja purua. Hakkuutähteiden käyttö on usein ollut taloudellisesti kannattavaa vain, mikäli kuljetusetäisyydet ovat lyhyitä (alle 50 km). Ensiharvennuksista ja taimikonhoitokohteista saatavan rankahakkeen käyttö suurmittakaavaisessa energiantuotannossa ei toistaiseksi ole ollut kilpailukykyistä.

Puupolttoaineiden käytön lisäämistä puoltavat muun muassa hiilidioksidipäästöjen vähentämistarve sekä kotimaisen energian osuuden lisääminen. Koska puupolttoaineiden poltto ei aiheuta laskennallisia hiilidioksidipäästöjä, voidaan niiden avulla saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä korvattaessa fossiilisten polttoaineiden tai turpeen käyttöä. Tilanteeseen liittyy kuitenkin useita tekijöitä, joiden huomiotta jättäminen saattaa vaikuttaa oleellisesti päästövähennysajatuksiin. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi Suomessa käytettävien ulkomailta tuotettujen polttoaineiden tuotantoketjujen päästöjen huomioiminen, päästöjen allokointikäytäntö, tuotantoprosesseissa käytettävät energialähteet, varastoinnista aiheutuvat tappiot ja päästöt, alueelliset erot tuotanto- ja käyttöpotentiaaleissa sekä puupolttoaineiden saatavuuden epävarmuustekijät.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena oli tutkia puuenergian käyttövaihtoehtojen merkitystä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa. Pääasiallisena tavoitteena oli saada käsitys puupolttoaineiden tuotantoketjujen ominaispäästöistä sekä niiden muuttumisesta tuotannon lisäämisen myötä. Tavoitteena oli myös arvioida puupolttoaineiden käyttöä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa koko maan tasolla. Erityisesti keskityttiin metsätähteisiin.

3. Toteutus

Tutkimus toteutettiin VTT Prosessien nykyisiä laskentamenetelmiä ja malleja käyttäen. Aluksi täydennettiin edellisessä projektissa (PUUT11) kehitettyä haketuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöjen laskentamallia ensiharvennusketjun ja puupellettituotannon osalta. Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden ja pyrolyysiöljyn sekä puupolttoaineilla korvattavien polttoaineiden (turve ja fossiiliset polttoaineet) tuotannon päästöjä analysoitiin karkealla tasolla. Tämän jälkeen tarkasteltiin puupolttoaineiden (erityisesti metsätähteiden) alueellisia tuotanto- ja käyttömahdollisuuksia sekä arvioitiin tuotantoketjujen ominaispäästöjen mahdollisia muutoksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Alueellisten tuotanto- ja käyttömahdollisuuksien arvioinnissa hyödynnettiin Tekesin Climech-tekniologiaohjelmaan kuuluvan bioenergiaselvityksen tuloksia (Helynen et al. 2002). Lopuksi arvioitiin puupolttoaineiden käytön lisääntymisen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin ja niiden rajoittamiseen koko maan tasolla. Tutkimus ja sen tulokset esitetään yksityiskohtaisemmin raportissa (Soimakallio & Wihersaari 2002).

4. Tulokset

4.1 Puupolttoaineiden tuotannon päästöt

Hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen energiankulutuksesta peräisin olevat kasvihuonekaasupäästöt hakkeen energiasisältöä kohden ovat tyypillisesti 4–14 kg CO₂-ekv./MWh_{PA}, kun kaukokuljetusetaisyys on n. 50 km (Wihersaari & Palosuo 2000). Manuaalisessa harvennushakkuussa lisäksi tarvittavien moottori- ja raivaussahojen bensiinistä aiheutuvat päästöt tuotetun puupolttoaineen energiasisältöä kohden ovat vähäisiä, eivätkä päästöt siten juurikaan poikkea hakkuutähdehakkeen tuotannon päästöistä.

Puupellettien tuotannon päästöt riippuvat paljolti käytettävän raaka-aineen kosteudesta sekä prosessissa tarvittavan energian tuotantoon käytettävästä polttoaineesta. Jos käytetään kuivaa raaka-ainetta (esim. kutterinlastua) ja prosessin tarvitsema energia tuotetaan puupolttoaineilla, saattavat tuotantoketjun päästöt olla alle 10 kg CO₂-ekv./MWh_{PA}. Käytettäessä raaka-aineena kosteaa sahanpurua, muodostaa kuivausenergian tarve suurimman osan prosessin energiankulu-

tuksesta. Jos lisäksi energia tuotetaan fossiilisilla polttoaineella tai turpeella, saattavat tuotantoketjun päästöt olla jopa 120 kg CO₂-ekv./MWh_{PA}. Tuotantoketjun energiatarve suhteessa tuotettuun puupolttoaineeseen on kuivasta raaka-aineesta tehdyllä pelletillä n. 5 %, määstä raaka-aineesta tehdyllä pelletillä n. 30–35 %. Tilanne on lähes vastaava myös muilla puupolttoainelasteilla, kuten pyrolyysiöljyllä.

Puupolttoaineiden poltossa ei synny laskennallisia hiilidioksidipäästöjä, jos vastaava hiilimäärä sitoutuu uuden biomassan kasvuun. Näin ollen puupolttoaineiden tuotannon ja polton yhteenlasketut päästöt ovat tyypillisesti selvästi pienemmät kuin fossiilisilla polttoaineilla tai turpeella. Puupolttoaineiden tuotannon päästöt saattavat kuitenkin olla huomattavasti suuremmat kuin polton laskennalliset päästöt, joten pelkkien polton päästökertoimien vertailu eri polttoaineiden välillä saattaa johtaa päästövähennysajatuksissa varsin vääriin lopputulokseen. Puupolttoaineiden tuotannon päästöjä nostavia tekijöitä ovat muun muassa laadun parantamiseksi tai jalostamisessa mahdollisesti käytettävä fossiilista alkuperää oleva energia ja varastoinnissa mikrobitoiminnan seurauksena syntyvät mahdolliset kuiva-ainetappiot ja päästöt. Taloudelliset tekijät rajoittavat usein jalostamattomien polttoaineiden kuljetusetäisyyksien kasvua tehokkaasti. Kuljetusten päästövaikutukset ovat verrattain vähäisiä esimerkiksi jalostamisessa tai varastoinnissa aiheutuvien päästöjen epävarmuuksiin verrattuna. Hakkuutähdehakkien kuljetusten päästöt kasvavat n. 0,02–0,04 kg CO₂-ekv./MWh_{PA} jokaista kaukokuljetusetäisyyden lisäkilometriä kohden.

4.2 Puupolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaali sekä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen

Metsäteollisuuden sivutuotteiden määrä on riippuvainen metsäteollisuuden tuotannosta ja tuotantorakenteesta. Sivutuotteiden määrän lisääntyminen tarkoittaa metsäteollisuuden energiakäytön ja päästöjen kasvua, mutta näitä päästöjä ei voida kohdentaa sivutuotteille. Suomen kokonaispäästötaseessa tämä metsäteollisuuden tuotantovolyymin kasvu aiheuttanee kuitenkin lisäpaineita päästöjen vähentämiselle. Sivutuotteiden tuotannon päästöt aiheutuvat ainoastaan mahdollisesta kuljetuksesta ja laadunparantamistoimenpiteistä. Kuljetus aiheuttaa päästöjä tyypillisesti n. 25–30 g CO₂-ekv./MWh_{PA} kuljetusetäisyyden jokaista lisäkilometriä kohden (esim. 100 km:n etäisyydellä 2,5–3 kg CO₂-

ekv./MWh_{PA}). Laadunparantamistoimenpiteet (esim. murskaus, kuivaus) saattavat myös nostaa ketjun päästöjä riippuen energialähteestä ja toimenpiteistä. Sivutuotteiden määrän arvioidaan voivan kasvaa lähitulevaisuudessa n. 3 TWh/a kotimaisen puuraaka-aineen käytön lisäämisellä. Lisäksi vastaava määrä energiaa arvioidaan voitavan saada käyttöön parantamalla sivutuotteiden energiasäilytystä kuivauksella. Jos oletetaan, että sivutuotteiden tuotannon päästöt ovat n. 1–10 kg CO₂-ekv./MWh_{PA}, aiheuttaa edellä mainittujen polttoainemäärien (3 tai 6 TWh) tuottaminen päästöjä 3–30 tai 6–60 kt CO₂-ekv. Varastoinnissa aiheutuvat kuiva-ainetappiot saattavat lisäksi pienentää hyödynnettävissä olevaa energiamäärää.

Valtakunnallisesti puupolttoaineiden tuotannon merkittävimmät lisäämiskohteet koostuvat uudistushakkuualueiden hakkuutähteistä, joiden tuotantomahdollisuudet ovat arviolta 7,7–10,5 TWh/a (vrt. nykykäyttö n. 1 TWh). 10 TWh:n tuottaminen aiheuttaa päästöjä arviolta 10–140 kt CO₂-ekv. Erilaisista tekijöistä johdun todellinen käyttöpotentiaali saattaa kuitenkin jäädä arvioitua tuotantopotentiaalia alhaisemmaksi. Alueelliset erot laitojen puunkäyttömahdollisuuksissa aiheuttavat paineita polttoaineen kuljetusmatkojen pidentymiselle. Tällöin kuljetusten tuotantokustannukset ja päästöt kasvavat. Päästöjen kasvun nopeus on kuitenkin hyvin vähäinen kustannusten nousuun verrattuna, eli pidentyneissä kuljetusmatkoissa ei käytännössä piile vaaraa päästöjen merkittävästä kasvusta. Tuotantokustannukset muodostuvat pullonkaulaksi suhteellisen nopeasti, jolloin käyttöpotentiaali jää arvioitua alhaisemmaksi, on rakennettava uusia pieniä laitoksia tai jalostettava polttoainetta taloudellisemmin siirrettävään tai käytettävään muotoon (pelletit, biopolttonesteet yms.). Hakkuutähteitä varastoidaan usein palstalla, välivarastoissa tai käyttöpaikalla. Aiheutuvat kuiva-ainetappiot saattavat pienentää hyödynnettävissä olevaa energiamäärää jopa useita prosenttiyksikköjä, koska kuivumista seuraavalla tehollisen lämpöarvon nousulla ei yleensä saada kompensoitua kuiva-ainetappioita, mikä johtuu erityisesti tähteidän uudelleen kostumisesta varastoinnin aikana. Lisäksi kuiva-ainetappiot lisäävät tuotantoketjun ominaispäästöjä (energian panos-tuotossuhdetta) riippuen siitä, missä ketjun vaiheessa tappiot tapahtuvat. Päästölisyys ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi puupolttoaineiden käytöllä saavutettavaan päästövähennykseen fossiilisia polttoaineita tai turvetta korvattaessa. Sen sijaan valmiin hakkeen varastoinnissa saattaa aiheutua merkittäviäkin päästömääriä ja polttoaineen laatu huonontua, jos varastointiaikaa joudutaan jostain syystä pidentämään viikkoja kestäväksi.

Ensiharvennus- ja taimikonhoitokohteista saatavan rankahakkeen taloudellinen tuotantopotentiaali on riippuvainen harvennushakkuille maksettavista tuista. Jos tukia parannetaan merkittävästi, voisi tuotantopotentiaali nousta jopa 8 TWh/a nykyisestä n. 1,4 TWh/a:sta. Manuaalinen harvennus nostaa hieman ketjun päästöjä metsätähdehakeeseen verrattuna, mutta pienpuun varastoinnissa aiheutuvat kuiva-ainetappiot jäävät vastaavasti vähäisemmäksi, joten ketjun ominaispäästöjen voidaan olettaa olevan samaa suuruusluokkaa kuin metsätähdehakeketjujenkin ominaispäästöt. Pienpuuhakkeen kalliit tuotantokustannukset rajoittavat kaukokuljetusetaisyyksien kasvua tehokkaasti. Jos pienpuuhaketta tuotetaan 9 TWh, aiheutuu tuotantoketjussa kulutetusta energiasta päästöjä n. 36–126 kt CO₂-ekv.

Puupolttoaineiden käytön lisäämisellä voidaan korvata lähinnä turpeen, mutta vähäisemmissä määrin myös kevyen polttoöljyn ja hiilen energiakäyttöä. Saatutettavat päästövähennykset ovat merkittäviä, sillä puupolttoaineiden tuotannossa ja poltossa syntyvät kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat tyypillisesti muutaman ja muutaman kymmenen kg CO₂-ekv./MWh_{PA} välillä, kun taas fossiilisten polttoaineiden ja turpeen vastaavat päästöt ovat n. 300–400 kg CO₂-ekv./MWh_{PA} (taulukko 1). Päästövähennyksien arvioimiseen liittyy kuitenkin erinäisiä ongelmia, kuten polton hyötysuhteen muutokset, puupolttoaineen varastoinnin päästöt ja alueellinen polttoainesiirtymä. Näiden tekijöiden laskennallinen huomioiminen järjestelmätarkasteluissa on hankalaa.

Taulukko 1. Karkeita arvioita eri polttoaineiden tuotannon ja polton yhteenlasketuista päästöistä polttoaineen energiasisältöä kohden.

Polttoaine	Päästöt (tuotanto ^{*)} + poltto [kg CO ₂ -ekv./MWh _{PA}]
metsähake	5–20
sahanpuru, kuori	5–15
pelletti	10–120
pyrolyysiöljy	45–55
hiili	340
turve	400
kevyt polttoöljy (POK)	285

^{*)} tuotantoketjun päästöt huomioitu vain Suomen osalta.

Mikäli hakkeen käytön taloudellinen lisäys on n. 8 TWh/a, joka korvaisi pelkätään turvetta, olisivat hakkeen tuotannon ja polton yhteenlasketut päästöt luokkaa 40–160 kt CO₂-ekv./a. Vastaava määrä turvetta aiheuttaa nykyisen laskentamenetelmän mukaan päästöjä n. 3 200 kt CO₂-ekv./a. Saavutettava päästövähennelmä olisi siis n. 3 050–3 150 kt CO₂-ekv./a. Määrä vastaa n. 4 %:a Suomen kokonaispäästöistä vuonna 1990.

Turpeen tuotantoa vähennettäessä, alenevat turpeen tuotantokentiltä aiheutuvat haihtuvat päästöt lyhyellä aikavälillä kuitenkin vain hieman. Lisäksi turvetta on tuotettava ja varastoitava tasoittamaan puupolttoaineiden saatavuuden vaihteluista aiheutuvia muutoksia kotimaisessa polttoainetarjonnassa. Näin ollen esimerkiksi Kioton ensimmäisen velvoitekauden tavoitteita ajatellen, saattaa metsätähteiden käytön lisäämisellä kaavailtu laskennallinen päästövähennelmä olla jopa kolmasosan pienempi, kuin mitä se olisi, jos turpeen tuotannon haihtuvia päästöjä ei huomioitaisi. Turpeen tuotantokenttien haihtuvilla päästöillä saattaa siis lyhyellä aikavälillä olla merkittävä negatiivinen vaikutus puupolttoaineiden lisäämisellä kaavailtuun päästövähennämään. Tuotantokenttien haihtuvat päästöt ja niiden muuttuminen tuotantokenttien ennallistamisessa sekä turvetuotantokenttien nieluvaikutukset pitäisi tuntea paremmin, jotta turpeen käytön vähentämisen vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin saataisiin selvitettyä. Jos turpeen hidas uusiutuvuus ja turvetuotannon nieluvaikutukset kasvihuonekaasutaseeseen huomioidaan, on mahdollista, että turpeen ominaispäästökerroin alenee oleellisesti. Tämän asian perusteelliseksi selvittämiseksi on juuri käynnistynyt KTM:n, YM:n ja MMM:n yhteinen nelivuotinen tutkimusohjelma.

5. Projektin tuloksien hyödyntäminen

Työn tuloksia voidaan käyttää etsittäessä ja arvioitaessa vaihtoehtoja Suomen kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseksi Kioton sopimuksen velvoitteiden mukaan. Projektin kautta laitevalmistajat ja tuotekehittäjät saavat tietoa ympäristölähtöisistä tuotekehitystarpeista ja energiapuun tuottajat saavat tietoa, josta on hyötyä toimenpiteiden ajoittamisessa ja tuotantotekniikan valinnassa. Puuenergiaa välittävät ja jalostavat yritykset saavat tietoja, jotka helpottavat ympäristöasioiden raportointia energiantuotantolaitoksille ja laitokset voivat hyödyntää tietoja tuotetun energian ympäristövaikutusten arvioinnissa (mm. vihreä sähkö) ja laitosten ympäristöraporteissa.

6. Jatkosuunnitelmat

Projektin loppuraportti julkaistiin kesällä 2002 ja projekti päättyi siihen. Suomen Akatemian myöntämän rahoituksen turvin on meneillään hanke ”Biomass and Climate Change”, jota toteutetaan yhteistyössä Budapestin teknillisen korkeakoulun kanssa Unkarissa lukuvuonna 2001–2002. Hankkeessa käytetään tässä Tekes-projektissa kehitettyä laskentamallia sekä verrataan Suomen ja Unkarin biopolttoainetuotantoketjuja ja mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä bioenergian avulla.

Lähteet

Helynen, S., Flyktman, M., Mäkinen, T., Sipilä, K. & Vesterinen, P. 2002. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Tiedotteita 2145. Espoo 2002. 110 s. + liitt. 2 s.

Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Soimakallio, S., Wihersaari, M. 2002. Puupolttoaineiden tuotannon ja käytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ja niiden rajoittamiseen. VTT Prosessit. Tutkimusselostus PRO/XX/2002. Espoo 2002.

Aikaisemmassa Puuenergia ja kasvihuonekaasut -projektissa syntyneet julkaisut ja raportit:

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 löytyy 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 löytyy 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

Virve Vetikko, Tuomas Valmari, Aino Rantavaara,
Marko Oksanen, Seppo Klemola & Riitta Hänninen
Säteilyturvakeskus STUK
PL 14, 00881 Helsinki
Puh. (09) 759 881, faksi (09) 7598 8498
e-mail: etunimi.sukunimi@stuk.fi

Abstract

Project title in English: Radioactivity of wood fuels and ash, and implications for 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

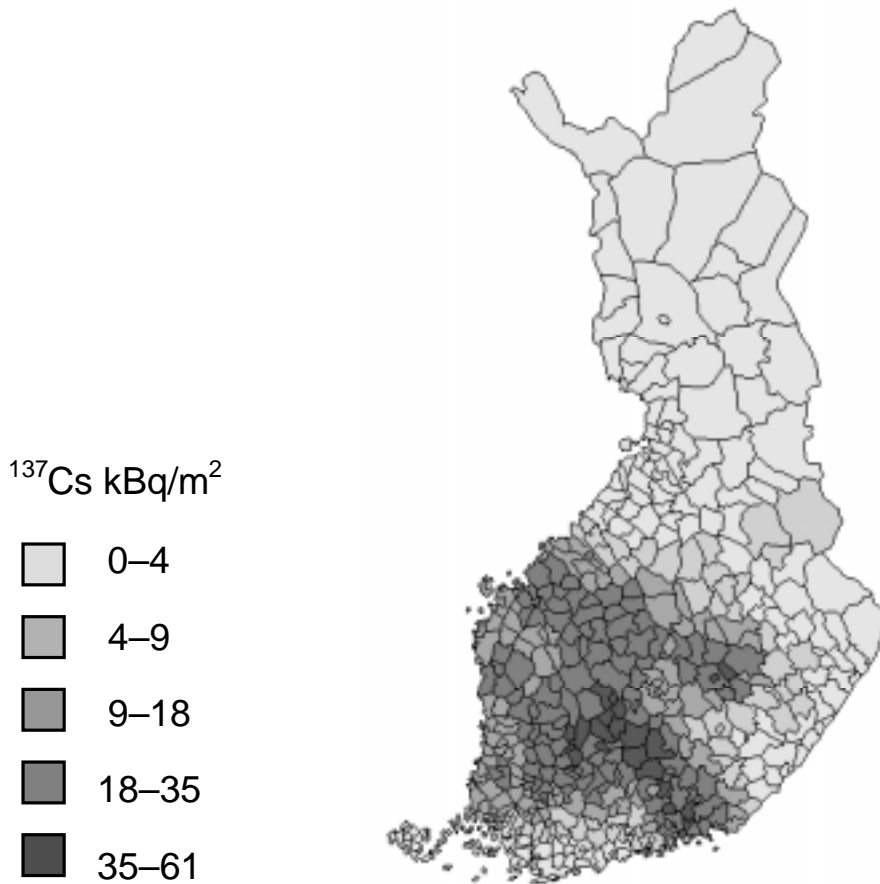
Elinympäristössä olevista radioaktiivisista aineista ihmisille koituvaa säteilyaltistusta rajoitetaan säteilyn aiheuttamien haittojen pitämiseksi niin vähäisinä kuin käytännön toimin on järkevää. Esimerkiksi talonrakennukseen käytettävät rakennusmateriaalit saavat aiheuttaa talossa asuvalle korkeintaan 1 millisievertin (mSv) lisäyksen maaperän radioaktiivisuudesta aiheutuvaan säteilyannokseen. Katujen, teiden ja piha-alueiden rakentamiseen sekä maantäyttöön ja maise-mointiin käytettäville materiaaleille vastaava luku on 0,1 mSv (ks. tarkemmin

liite 1). Jos rakennus- tms. materiaali sisältää puun tai turpeen tuhkaa, vaikuttaa tuhkan aktiivisuus osaltaan materiaalin kokonaisaktiivisuuteen.

Puun sisältämistä radioaktiivisista aineista säteilyaltistuksen kannalta oleellisin on cesiumin pitkäikäinen ^{137}Cs -isotooppi, joka on peräisin lähes yksinomaan Tsernobylin onnettomuudesta vuonna 1986. Suomessa cesium 137 -laskeumaa tuli eniten Keski-Suomeen (kuva 1). Toinen merkittävä puun radioaktiivinen aine on ^{40}K , jota on vakio-osuus 0,012 % kaikesta luonnon kaliumista. Yhden prosentin massaosuus kaliumia esim. kilossa tuhkaa aiheuttaa 300 Bq/kg suuruisen ^{40}K -aktiivisuuden (eli 300 ^{40}K -atomin radioaktiivista hajoamista kilossa tuhkaa sekunnin aikana). Muita puun radioaktiivisia aineita ovat kallioperän toriumista ja uraanista lähtöisin olevat ^{232}Th ja ^{226}Ra . Radionuklidien siirtymisnopeus maaperästä kasveihin vaihtelee alkuaineittain. Puun poltossa kaikki edellä mainitut aineet rikastuvat tuhkaan.

Maanrakentamiseen voidaan käyttää radioaktiivisuuden puolesta rajoituksetta materiaaleja, joiden ^{137}Cs -aktiivisuus on pienempi kuin 5000 Bq/kg (raja on tätä pienempi, jos materiaalissa on myös muita radioaktiivisia aineita, ks. liite 1). Tällöin saavutetaan materiaalin käytölle asetettu 0,1 mSv:in turvallisuustavoite. Jos materiaalin ^{137}Cs -aktiivisuus ylittää 5 000 Bq/kg, voidaan sitä silti käyttää maanrakentamiseen, mutta käyttö edellyttää erillisiä selvityksiä turvallisuustavoitteen toteutumisesta. Esimerkiksi käyttämällä pintakerroksessa vähemmän aktiivista materiaalia voidaan 0,1 mSv:in tavoitteeseen päästä, vaikka pintakerroksen alapuolella olevan materiaalin aktiivisuus ylittäisikin 5 000 Bq/kg.

Betonin seosaineena käytetyn tuhkan ^{137}Cs saa aiheuttaa betoniin korkeintaan aktiivisuuspitoisuuden $120\,000\text{ Bq/m}^3$. Suurin hyväksyttävä tuhkan määrä betonissa riippuu siis tuhkan aktiivisuudesta; jos tuhkan ^{137}Cs -aktiivisuus on 6 000 Bq/kg, saa sitä käyttää korkeintaan 20 kg kuutiometriin betonia.



Kuva 1. Tshernobylin ydinvoimalan onnettomuudesta Suomeen tullut cesium 137 -laskeuma (pitoisuudet esitetty radioaktiivisella hajoamisella korjattuna päivämäärään 1.10.1998; alkuperäinen aineisto Arvela H., Markkanen M., Lemmelä H. Radiation Protection Dosimetry 1990; 32, s. 177–184).

Tuhkan käyttö metsän lannoitteena yleensä vähentää marjojen, sienten ja riistanlihan cesium 137:stä aiheutuvaa säteilyannosta, koska tuhkan ravinteet vähentävät maassa ennestään olevien radionuklidien siirtymistä kasveihin. Lannoitusvaikutus kompensoi tuhkan mukana metsiin palautuvien radioaktiivisten aineiden lisäystä. Kasvillisuuden aktiivisuuspitoisuudet voivat tuhkalannoituksen jälkeen vuosien kuluessa pienentyä kymmeniä prosentteja siitä huolimatta, että maassa voi ennestään olla cesium 137:ää moninkertaisesti tuhkan mukana

lisättyyn cesiumiin verrattuna (Kaunisto et al. 2002, Rantavaara ja Moring 2001, Levula et al. 2000).

Voimalaitoksessa muodostuvan tuhkan radioaktiivisuutta ei yleensä kovin tarkasti tiedetä. Tämä voi tarpeettomasti hankaloittaa tuhkan hyötykäyttöä, jos riittävän alhainen aktiivisuus joudutaan aina osoittamaan näytemittauksin. Aktiivisuus myös vaihtelee ajan myötä polttoaineen koostumuksen ja hankintapaikkakunnan mukaan. Onkin epäselvää, kuinka usein ja millä tavalla mittauksia pitäisi tehdä, jotta tuloksia voitaisiin pitää edustavina.

Hankkeen tavoitteena on kehittää menettely, jolla puupolttoaineita käyttävät laitokset voivat arvioida polttoaineen alkuperä- ja koostumustietojen perusteella tuhkan radioaktiivisuutta ja tuhkan soveltuvuutta eri hyötykäyttötarkoituksiin. Tarvittaessa säteilyaltistus tuhkan käsittelyn ja varastoinnin yhteydessä tulee ottaa huomioon. Hankkeessa arvioidaan myös sitä, milloin puuenergian tuotannossa voidaan tarvita tuhkan aktiivisuusmittauksia ja miten ne tulisi tehdä. Lisäksi mitataan ja arvioidaan tuhkan kanssa tekemisissä olevien työntekijöiden säteilyaltistusta.

2. Toteutus ja tuloksia

Hankkeeseen osallistuvat Energia-alan keskusliitto ry Finergy ja Metsäteollisuus ry jäsenyrityksineen. Tuhka- ja polttoainenäytteiden hankinta on toteutettu yhteistyössä hankkeeseen osallistuvien laitosten ja polttoaineen toimittajien kanssa.

Hankkeeseen osallistui vuoden aikana neljä laitosta, joiden käyttämät puupolttoaineet ovat peräisin ns. päälaskeuma-alueelta (kuva 1). Laitokset toimittivat näytteitä polttoaineista sekä lento- ja pohjatuhkista laitoskohtaisten näyteenotto-suunnitelmien mukaisesti. Lisäksi kolme laitosta toimitti tuhkanäytteitä erityisesti tuhkalannoituksen säteilyvaikutusten tutkimista varten. Näytteistä on määritetty STUKin laboratoriossa gammaspektrometrisesti altistuksen kannalta tärkeimmät radionuklidit (cesium 137, kalium 40, torium 232, radium 226).

Hankkeen osatehtävät on esitetty seuraavasti:

Puupolttoaineiden radioaktiivisuus ja sen yhteys cesium 137 -laskeumaan

Cesium kulkeutuu ravinteiden mukana puun kasvaviin osiin, lähinnä neulasiin ja oksiin. Neulasia ja oksia sisältävässä metsähakkeessa sekä kuoressa, jossa nilakerros on mukana, on siten enemmän cesiumia kuin puuaineksesta koostuvassa purussa. Osatehtävässä määritetään puupolttoaineiden (metsähakkeet, kuori ja puru puulajeittain) radionuklidipitoisuuksien vaihtelua laskeuma-alueella. Pitoisuuksien alueellisia eroja verrataan cesium 137:n laskeumatietoihin. Valituista polttoainenyhteistä määritetään tuhkaprosentti.

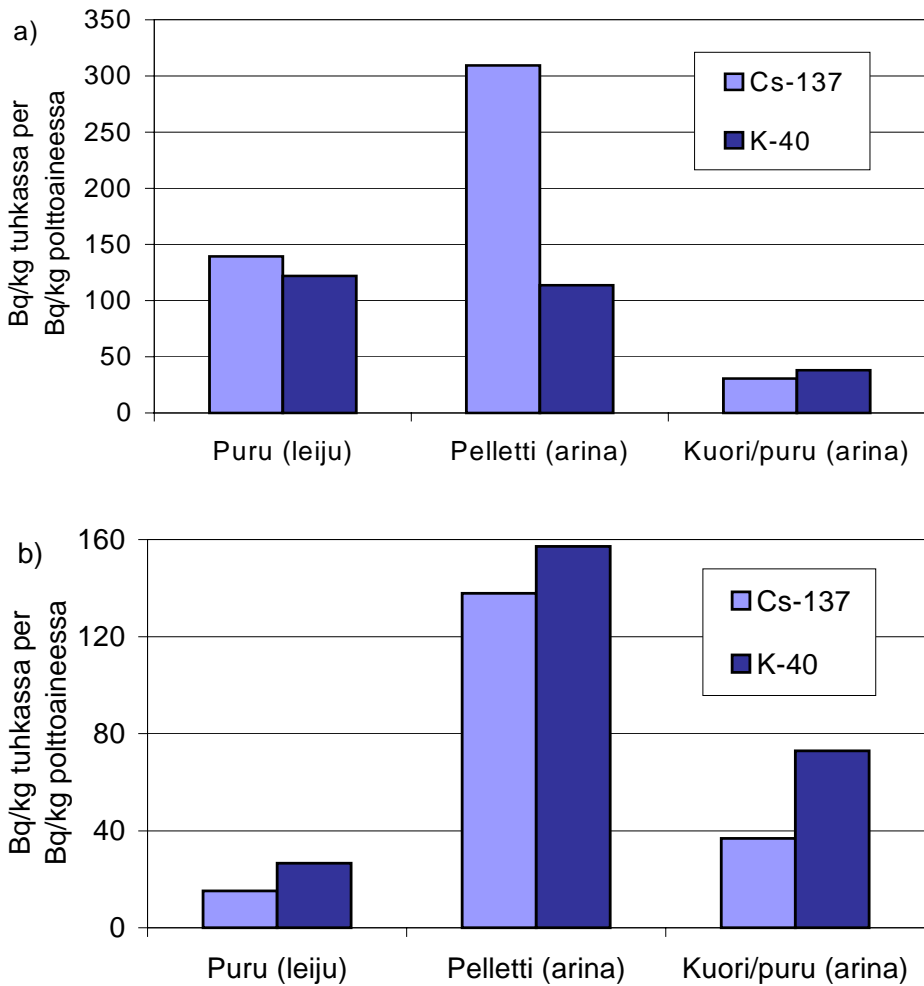
Radionuklidien jakautuminen eri tuhkafraktioihin palamisen ja tuhkan talteenoton yhteydessä

Polttoaineessa olevan cesium 137:n ja kalium 40:n jakaantumista lentotuhkaan ja pohjatuhkaan tutkitaan polttolaitoksilta hankituilla näytteillä, ja tätä verrataan kaliumin tunnettuun käyttäytymiseen palamisprosesseissa. Radionuklidien höyrystyvyyttä poltossa ja taipumusta reagoida petihiekan kanssa tutkitaan laitosolosuhteissa kerätyillä näytteillä. Näytemittausten ohella arvioidaan tuhkan aktiivisuutta polttoaineen koostumuksen ja alkuperän avulla, ja selvitetään mitä tietoja laitoksella tarvitaan polttoainevirrasta ja poltto-olosuhteista käyttökelpoisen aktiivisuusarvion tuottamiseen.

Tuhkaa muodostavan aineen kemiallinen käyttäytyminen poltossa määrää sen, kuinka suuri osa siitä päätyy toisaalta lentotuhkaan ja toisaalta pohja- tai arinatuhkaan sekä kuinka helppoliukoisessa muodossa se on. Puun radionuklideista ¹³⁷Cs on alkalimetalli, joka muistuttaa käyttäytymiseltään kaliumia. Kaliumista merkittävä osa höyrystyy, minkä vuoksi se poltossa yleensä rikastuu pieniin (alle 1 µm) lentotuhkahiukkasiin helppoliukoisena sulfaattina ja kloridina (esim. Valmari 2000). Osa kaliumista reagoi piipitoisen tuhkaa muodostavan aineen kanssa muodostaen ei-liukoisia silikaatteja. Tätä tapahtuu erityisesti leijupoltossa, jolloin kattilassa on petihiekan muodossa paljon piitä. Höyrystymätön osuus kaliumista käyttäytyy samankaltaisesti kuin muu höyrystymätön tuhkaa muodostava aine (esim. kalsium), eli päätyy osaksi pohja- tai arinatuhkaan ja osaksi lentotuhkaan karkeina (yli 1 µm) hiukkasina.

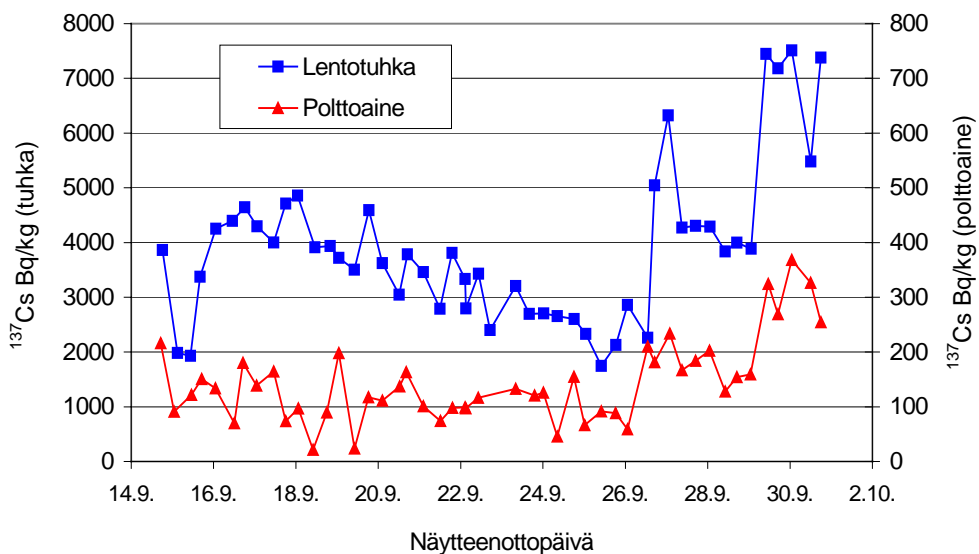
Tuhkan aktiivisuuden suhdetta polttoaineen aktiivisuuteen tutkittiin pienillä, alle 10 MW:n laitoksilla siten, että polttoaineen tyyppi ei vaihdellut mittausjakson aikana. Näin pystyttiin tuhkan aktiivisuutta vertaamaan polttoaineen aktiivisuuteen ilman polttoainetyypin vaihtelun aiheuttamaa epätarkkuutta. Havaittiin, että ^{137}Cs :stä päätyy lentotuhkaan suurempi tai suunnilleen yhtä suuri osuus kuin kaliumista (kuva 2). Pellettien arinapoltossa ei kattilassa ole kovin paljon piipitoista materiaalia, millä saattaa olla vaikutusta siihen, että juuri tässä prosessissa ^{137}Cs rikastui kaliumia voimakkaammin lentotuhkaan. Leijupoltossa merkittävä osa kaliumista (päinvastoin kuin ^{137}Cs :stä) on peräisin petihiekasta. Tämän vuoksi cesiumin hiekan kanssa reagoivaa osuutta ei voida suoraan verrata kaliumiin. Jatkossa selvitetään cesiumin taipumusta reagoida hiekan kanssa analysoimalla yhden laitoksen tuhkanäytteistä pääalkuaineiden (lähinnä Ca ja K) ja ^{137}Cs :n pitoisuudet liukoisessa ja ei-liukoisessa fraktiossa.

Prosessiolosuhteista alkalimetallien käyttäytymiseen vaikuttavat mm. polttoaineen tuhkan koostumus (erityisesti S-, Cl- ja Si-pitoisuudet), polttolämpötila ja leijupoltossa petihiekan määrä. Selvittämällä ^{137}Cs :n käyttäytymistä nimenomaan suhteessa kaliumiin pyrimme siihen, että tuloksista voitaisiin arvioida ^{137}Cs :n käyttäytymistä myös muunlaisissa prosesseissa kuin niissä, joita tämän projektin puitteissa tutkitaan (edellyttäen että kaliumin käyttäytyminen arvioitavassa prosessissa tunnetaan riittävällä tarkkuudella).



Kuva 2. ¹³⁷Cs:n ja ⁴⁰K:n pitoisuudet a) lentotuhkassa ja b) pohjatuhkassa suhteutettuna niiden pitoisuuteen polttoaineessa. ⁴⁰K-pitoisuus on suoraan verrannollinen kaliumin kokonaispitoisuuteen.

Kuvassa 3 esitetään turpeen ja puun polttoaineseoksen ja lentotuhkan ^{137}Cs -pitoisuuden vaihtelu voimalaitoksella kahden viikon aikana, jolloin näytteitä otettiin kolme kertaa vuorokaudessa. Laitoksen polttoaineen syötössä oli vuorokausivaihtelua, niin että turpeen osuus polttoaineessa oli yöllä suurempi kuin päivällä. Lentotuhkanäytteiden aktiivisuuden vaihtelu yhden vuorokauden aikana oli kuitenkin lähes aina alle 50 %. Tuhkassa vaihtelu on pienempää kuin polttoaineinäytteissä. Tuhkan aktiivisuuden pitkäaikaista keskiarvoa määrittäessä vuorokautisen vaihtelun merkitys lienee pienempi kuin pitemmällä aikavälillä esiintyvä vaihtelu.



Kuva 3. Kattilaan syötettävän polttoaineen (turpeen ja puun seosta) ja lentotuhkan ^{137}Cs -pitoisuuden vaihtelu voimalaitoksella kahden viikon näytteenottojakson aikana.

Tuhkaa käsittelevien työntekijöiden altistuminen säteilylle

Arvioidaan tuhkaa käsittelevien työntekijöiden säteilyannoksia erilaisissa altistusolosuhteissa. Altistusarviointeja varten selvitetään esimerkkitapauksilla tuhkan kanssa tekemisissä olevien työntekijöiden työolosuhteita ja työaikoja eri tehtävissä. Hankkeeseen osallistuvilla laitoksilla tehdään säteilymittauksia, joiden perusteella arvioidaan työntekijän säteilyannosta työn keston mukaan. Selvitetään säteilyaltistusta myös kattiloiden huoltotöissä ja tuhkan kuljetuksessa. Säteilylähteen ominaisuuksien, peittävien maakerrosten ja etäisyyden vaiku-

tusta työntekijän saamaan säteilyannokseen tutkitaan laskentaohjelmalla (varioitavia parametreja mm. tuhkan aktiivisuus, tiheys ja määrä tietyssä kohteessa).

Ensimmäisten laitospaikoilla tehtyjen säteilymittausten mukaan laitosten työntekijöiden altistuminen tuhkan säteilylle on vähäistä. Laitoksilla mitattiin yleistä taustasäteilytasoa sekä paikkakohtainen säteilytaso työkohteissa, joiden läheisyydessä oli runsaasti tuhkaa ja joissa käytetään paljon työaika. Samoin suoritettiin vertailumittauksia annoslaskentaohjelmien käyttökelpoisuuden arviointia varten.

Taustasäteily laitospaikoilla oli noin 0,10 $\mu\text{Sv/h}$. Polttokattilarakennuksessa säteilytaso tausta mukaan lukien oli korkeimmillaan 0,20 $\mu\text{Sv/h}$, mutta yleisesti 0,10–0,15 $\mu\text{Sv/h}$. Peittämättömällä läjitysalueella rinnan korkeudella säteilytaso vaihteli 0,20–0,30 $\mu\text{Sv/h}$ välillä. Suuren tuhkakasan pinnalla oli noin 1,0 $\mu\text{Sv/h}$. Tuhkaa kuljettavan urakoitsijan auton kontin pinnalla oli 0,30 $\mu\text{Sv/h}$.

Työpistekohtainen vuosiannos saadaan kertomalla taustasäteilyllä vähennetty säteilyn annosnopeus työpisteessä vuosittain käytettävällä tuntimäärällä. Esimerkiksi jos polttokattilan läheisyydessä tuhkan aiheuttama säteilytason lisäys on 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ ja työaika rakennuksessa 1 600 tuntia, on vuosiannos tällöin 0,16 mSv. Mikäli tuhkan aiheuttama annosnopeuden lisäys on 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ ja vuosittainen työaika läjitysalueella 500 tuntia, on vuosiannos 0,1 mSv.

Nämä mitattujen säteilytasojen perusteella arvioidut vuosiannokset eivät ole työsuojelun kannalta merkittäviä. Jatkossa selvitetään tuhkan kuljetuksen ja kattilan huoltotoimien työoloja sekä säteilytasoa kyseisissä tehtävissä. Tuhkalannoituksen yhteydessä selvitetään tuhkan esikäsittelyyn ja metsään levitykseen liittyvää säteilyaltistusta. Lisäksi tutkitaan peittämättömän tuhkakasan aiheuttaman säteilyn vähenemistä ajan myötä, mistä on saatu viitteitä mittauksissa. Laitospaikoilla tehtyjä säteilymittauksia verrataan eri laskentatavoilla saatuihin säteilyannoksiin.

Tuhkalannoituksen aiheuttama muutos ulkoiseen säteilyyn ja metsistä saatavien elintarvikkeiden radioaktiivisuuteen

Metsien tuhkalannoituksesta aiheutuvaa ulkoista ja sisäistä säteilyaltistusta arvioidaan ottaen huomioon tuhkan aktiivisuus lannoitettua pinta-alaa kohti,

tuhkan laatu ja lannoitettavan alueen cesium 137:n määrä. Marjojen, sienten ja riistanlihan cesiumista tulevaa sisäistä säteilyaltistusta arvioidaan käytettävissä olevien, muissa hankkeissa saatujen tulosten perusteella. Tutkitaan rakeistuksen vaikutusta cesium 137:n liukoisuuteen tuhkassa. Tehdään yhteenveto tuhkanlannoituksen altistusvaikutuksista väestölle metsien monikäytön yhteydessä, työntekijöille tuhkan kuljetuksen ja levityksen aikana sekä metsätyöntekijöille lannoitetulla alueella.

Radioaktiivisuuden vaikutus tuhkan hyötykäyttöön ja sijoitukseen

Tehdään yhteenveto tuhkan hyötykäytön ja sijoituksen säteilyvaikutuksista. Arvioidaan tuhkan aktiivisuustilannetta tutkimusajankohtana koko maassa. Määritellään polttoaineyhdistelmät, joiden radioaktiivisuus voi vaikuttaa tuotetun tuhkan jatkokäyttöön. Esitetään myös arvio siitä, milloin puuenergian tuotannossa voidaan tarvita säteilyn johdosta lisäselvityksiä tai näytemittauksia.

Hanke jatkuu helmikuun 2003 loppuun. Loppuraportti valmistuu 30.6.2003 mennessä.

Kirjallisuus

Kaunisto, S., Aro, L. & Rantavaara, A. 2002. Effect of fertilisation on the potassium and radiocaesium distribution in tree stands (*Pinus sylvestris* L.) and peat on a pine mire. *Environmental Pollution* 117, s. 111–119.

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, s. 269–279.

Paile, W. 2002. ICRP:n näkemys säteilyn riskeistä ja suojeluperiaatteista. Teoksessa: Paile, W (toim.). *Säteilyn terveysvaikutukset*. Säteilyturvakeskus. S. 153–163.

Rantavaara, A. & Moring, M. 2001. Puun tuhkan radioaktiivisuus. STUK-A177. Säteilyturvakeskus. 41 s.

ST-ohje 12.2. Rakennusmateriaalien, polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus. Säteilyturvakeskus. Helsinki 1993. 6 s.

Valmari, T. 2000. Potassium behaviour during combustion of wood in circulating fluidised bed power plants. Väitöskirja. VTT Publications 414. 88 s. + liitt. 75 s.

Liite 1

Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuudesta aiheutuvan säteilyaltistuksen rajoittaminen

Rakennusmateriaalien ja turvetuhkan radioaktiivisuudesta aiheutuvalla säteilyaltistukselle on asetettu turvallisuustavoitteet, joilla on määritelty materiaaleista aiheutuvan säteilyaltistuksen enimmäismäärä (ST-ohje 12.2. Rakennusmateriaalien, polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus. Säteilyturvakeskus. Helsinki 1993. 6 s.). Säteilyaltistuksen rajoittaminen on puun tuhkalle samanlaista kuin turpeen tuhkalle, jos niiden käsittely- ja käyttötavat ovat samanlaisia. Lähtökohta säteilyaltistuksen rajoittamisessa on, että työntekijälle aiheutuva säteilyannos tuhkan käsittelystä saa olla korkeintaan 1 mSv vuodessa ja väestölle korkeintaan 0,1 mSv vuodessa tuhkan käytöstä ympäristörakentamisessa. Toiminnan harjoittaja vastaa siitä, että turvallisuustavoitteet saavutetaan.

Turvallisuustavoitteiden mukaan talonrakennustuotantoon käytettävien rakennusmateriaalien gammasäteilystä aiheutuva efektiivisen säteilyannoksen lisäys maaperän radioaktiivisuudesta aiheutuvaan annokseen saa olla enintään 1 mSv vuodessa.

Katujen, teiden, piha-alueiden ja näitä vastaavien kohteiden rakentamiseen sekä maantäyttöön ja maisemarakentamiseen käytettävien materiaalien gammasäteilystä aiheutuva efektiivisen annoksen lisäys maaperän radioaktiivisuuden aiheuttamaan annokseen saa olla enintään 0,1 mSv vuodessa.

Polttoturpeen tai turvetuhkan käsittelystä työntekijälle aiheutuva efektiivinen annos saa olla enintään 1 mSv vuodessa.

Turvetuhkan läjityksessä, maantäytössä ja maisemoinnissa turvetuhkan gammasäteilystä aiheutuva efektiivisen annoksen lisäys maaperän radioaktiivisuuden aiheuttamaan annokseen saa olla enintään 0,1 mSv vuodessa.

Käytettäessä turvetuhkaa talonrakennustuotantoon tarkoitettun materiaalin seosaineena turvetuhkassa olevan cesiumin (^{137}Cs) gammasäteilystä aiheutuva efektiivisen annoksen lisäksi rakennusmateriaalin muun radioaktiivisuuden aiheuttamaan annokseen saa olla enintään 0,1 mSv vuodessa.

Edellä esitettyjen turvallisuustavoitteiden toteutumista arvioidaan aktiivisuusindekseillä, jotka lasketaan materiaalista mitatuista aktiivisuuspitoisuuksista. Aktiivisuusindeksiä määritettäessä otetaan huomioon torium 232:n, radium 226:n, kalium 40:n ja cesium 137:n aktiivisuuspitoisuudet materiaalissa ilmaistuna yksikössä Bq/kg (alla olevissa kaavoissa pitoisuudet ovat merkinnöillä C_{Th} , C_{Ra} , C_{K} ja C_{Cs}). Seuraavassa esitetään aktiivisuusindeksit rakennusmateriaaleille ja tuhkan käsittelylle:

Talonrakennustuotantoon käytettävät materiaalit (sovelletaan myös täyttömateriaaleihin rakennuksen alla ja sen välittömässä läheisyydessä):

$$I_1 = C_{\text{Th}}/200 + C_{\text{Ra}}/300 + C_{\text{K}}/3000$$

Katujen, teiden ja vastaavien kohteiden rakentamiseen käytettävät materiaalit:

$$I_2 = C_{\text{Th}}/500 + C_{\text{Ra}}/700 + C_{\text{K}}/8000 + C_{\text{Cs}}/2000$$

Maantäyttöön ja maisemarakentamiseen käytettävät materiaalit:

$$I_3 = C_{\text{Th}}/1500 + C_{\text{Ra}}/2000 + C_{\text{K}}/20000 + C_{\text{Cs}}/5000$$

Tuhkan käsittely:

$$I_4 = C_{\text{Th}}/3000 + C_{\text{Ra}}/4000 + C_{\text{K}}/50000 + C_{\text{Cs}}/10000.$$

Jos aktiivisuusindeksin arvo on suurempi kuin 1, toiminnan harjoittajan on selvityksin osoitettava, että kyseiselle materiaalille asetetut turvallisuustavoitteet saavutetaan. Jos aktiivisuusindeksi on 1 tai pienempi, materiaalille ei aseteta radioaktiivisuuden johdosta käyttörajoituksia.

Tuhkaa, jonka aktiivisuusindeksi katujen, teiden ja vastaavien kohteiden rakentamiselle on suurempi kuin 1, voidaan käyttää tähän tarkoitukseen sillä edelly-

tyksellä, että sen päälle tulee riittävän paksu gammasäteilyä vaimentava materiaalikerros.

Jos tuhkan aktiivisuusindeksi maantäytölle ja maisemarakentamiselle on suurempi kuin 1, tulee tuhkan sijoittamisesta tehdä erillinen selvitys. Tuhkaa voidaan radioaktiivisuuden puolesta sijoittaa valvotulle kaatopaikalle ilman erillistä selvitystä, jos tuhkan käsittelyn aktiivisuusindeksi on pienempi kuin 1.

Säteilyaltistuksen terveysvaikutuksista

Ihmisryhmässä, jonka jäsenet ovat saaneet yhteensä tuhannen millisievertin (mSv) suuruisen säteilyannoksen, on arviolta 5 %:n todennäköisyydellä odotettavissa yhden kuolemaan johtavan syövän ilmaantuminen säteilyn johdosta (ks. esim. Paile 2002). Suomalaisten vuosittainen säteilyannos on keskimäärin 4 mSv henkeä kohti (yhteensä 20 000 000 mSv). Jos keskimääräinen vuosiannos pienentyisi tai lisääntyisi 0,1 mSv, olisi edellä mainitun arvion mukaan laskettu muutos suomalaisten syöpäkuolemista 25 tapausta vuodessa. Arvioon sisältyy kuitenkin huomattavaa epävarmuutta, koska tieto säteilyannoksen ja syöpäkuolemien määrän yhteydestä (1 syöpäkuolema / 20 000 mSv) perustuu suurilla kertamäärillä koskeviin tutkimuksiin, joiden soveltuvuutta pienten annosten aiheuttaman syöpäriskin arviointiin ei voida tilastollisesti varmentaa. Syöpään sairastuu vuosittain yli 20 000 suomalaista, näistä vain pieni osa säteilyn vaikutuksesta.

Säteilyn aiheuttamia terveyshaittoja ehkäistään asettamalla annosrajoja ja soveltamalla periaatetta, jonka mukaan säteilyaltistus on aina pidettävä niin alhaisena kuin käytännön toimin on järkevää.

Hakkuutähteiden ja kantojen korjuun vaikutus maanmuokkaukseen ja metsänviljelyyn – PUUT32

Pertti Harstela & Veli-Matti Saarinen
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Puh. (017) 5138, faksi (017) 513 068
email: pertti.harstela@metla.fi

Abstract

Project title in English: Effect of slash and stump removal on soil preparation and planting

The aim is to study the effect of slash and stump removal on soil preparation by excavators and actual mounders and on mechanized planting. Work productivity, costs and work quality will be studied by work studies. In addition, simulation will be applied to study the timing and programming of operations in order to find basis for estimating indirect effects on the future yield of a stand. A synthesis will be made of current empirical studies and literature to compose a general view of the effects on forest regeneration.

1. Tausta

Aikaisemmissä tutkimuksissa on tutkittu muun muassa hakkuutähteiden korjuun vaikutusta äestykseen, kaivinkonemätästykseen ja manuaaliseen istutukseen sekä taimien alkukehitykseen (Saksa ym. 2001). Teknologia alalla kehittyi kokoajan ja uusia vaihtoehtoja kustannustehokkaaseen työhön ovat muun muassa jatkuvatoimiset mätästäjät ja istutuskoneet. Lisäksi voidaan yhdistää maanmuokkaus ja hakkuutähteiden kuljetus. Tältä osin on tutkimusta tehty äestyksen ja kuljetuksen (Hartikainen 2001), mutta ei mätästykseen ja kuljetuksen yhdistämisestä.

Uusista vaihtoehtoista tarvitaan tutkimusta paitsi työn tuottavuuden ja kustannusten myös työn laadun ja taimien menestymisen osalta.

Hakkuutähteiden korjuu voi vaikuttaa myös töiden organisointiin ja ajoitukseen, uudistamisen nopeuteen, taimien alkukehitykseen ja ravinnetalouteen ja siten metsikön tulevaan tuottoon. Tutkimustuloksia on lähinnä taimien alkukehityksestä ja ravinnetaloudesta (ks. Nurmi ja Kokko 2001), joskaan niitäkään ei voi pitää vielä riittävinä tai yksiselitteisinä.

Kantojen korjuun on todettu vähentävän merkittävästi juurikäävän leviämiseriskiä ja kantojen soveltuvan hyvin energian tuotantoon. Sen sijaan kantojen korjuun vaikutuksia metsänviljelyyn ei ole tutkittu.

2. Tavoite

Tavoitteena on työntutkimuksen ja logistiikan keinoin tutkia tiedon aukkoja hakkuutähteiden ja kantojen korjuun vaikutuksesta metsänviljelyyn. Lopullisena tavoitteena on kokonaisvaltainen ja myös aikaisempaa tietoa hyödyntävä synteesi.

Tutkimusraportin lisäksi tuotetaan toimintaohjeita, logististen järjestelmien suosituksia ja koneiden jatkokehittelyehdotuksia.

3. Toteutus

Hanke toteutetaan vuosina 2002–2003 ja sen osatutkimukset ovat:

- empiirinen tutkimus mätästyksestä erilaisella kaivinkonevarustuksella ja jatkuvatoimisilla mätästäjillä sekä yhdistelmäkoneilla
- empiirinen tutkimus Bräcke- ja EcoPlanter-istutuskoneista ja manuaalisesta istutuksesta
- empiirinen tutkimus erilaisista koneista kantojen nostossa ja maanmuokkauksessa

- logistinen simulointi toimintojen ajoituksesta ja sen vaikutuksista
- synteesi kirjallisuudesta ja osatutkimuksista.

Empiirisissä kokeissa verrataan työtä tilastollisena kokeena ja vertailevina työntutkimuksina koealoilla, joista osasta ovat kannot ja/tai hakkuutähteet poistettu ja osasta ei. Koealat sijoitetaan seuraavia olosuhteita edustaville työmaille:

- vähäkivinen moreenimaa
- kivinen moreenimaa
- hienojakoinen maaperä.

Mitataan työn tuottavuutta, kustannuksia ja työn välitöntä laatua sekä perustetaan kokeet taimien kasvun ja menestymisen seurantaan varten. Kokeet perustetaan kesän 2002 aikana eikä tutkimustuloksia näin ollen ole vielä esitettävänä.

Lähteet

Hartikainen, T. 2001. Hakkuutähteen hankinnan ja maanmuokkauksen yhdistävä menetelmä. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. S. 247–253.

Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). 2001. Biomassan tehostetun talteenoton seurausvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816. 80 s.

Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2001. Hakkuutähteen vaikutus metsänuudistamiseen. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. VTT, Espoo. S. 359–377.

Suopohjien metsitys hiilinieluiksi ympäristövaikutukset halliten – PUUY17

¹Veijo Leiviskä, ²Pirkko Selin ja ²Veijo Klemetti

¹Oulun yliopisto, Thule-instituutti
PL 7300, 90014 OULUN YLIOPISTO
Puh. (08) 553 3560, faksi (08) 553 3564
e-mail: etunimi.sukunimi@oulu.fi

²Vapo Oy Energia
PL 22, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 623 623, faksi (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

A project on the afforestation of cut-away peat production fields in order to create a new carbon sink was initiated in autumn 2000 and completed in May 2002. The project was carried out in co-operation with Vapo Oy Energy, Muhos Research Station of the Finnish Forest Research Institute, and Thule Institute of the University of Oulu. The aim was to develop a technically and economically feasible method for the afforestation of cut-away peat production fields. Site factors, available measuring methods of carbon balance data in cut-away peatlands, and effects of afforestation on watercourses were surveyed, the forest growth of two new ash-fertilized afforestation sites was followed, and afforestation methods were studied. Data related to the project was also acquired by organizing two seminars for invited specialists.

1. Projektin tausta

Turvetuotannosta on Vapo Oy:ssä vapautunut yli 12 000 hehtaaria suopohjaa. Merkittävä osa näistä alueista tulee siirtymään metsätalousmaaksi. Tavoitteena olikin kehittää nopeasti kasvipeitettä muodostava metsitysmenetelmä. Suopohjien soveltuvuuteen metsitettäväksi vaikuttaa oleellisesti maaperän ravinteisuus ja raekoko sekä vesitalous. Sen vuoksi projektiin liittyi kasvupaikkanäytteiden tutkimusta.

Ilmastovaikutusten kannalta vapautuneen suopohjan kasvipeitteen kehittyminen on tärkeä asia. Tarkoituksena oli tutkia, voidaanko osaa alueista käyttää tehokkaasti hiilidioksidia sitovina puutiheikköinä. Niiden nopeaa kasvua hyödynnettäisiin energiapuun hankinnassa. Kasvuston hyödyntäminen ja kantoa myöten haketus ajoittuisi noin 20 vuoden päähän. Tämän jälkeen tehtäisiin alueen täydennyslannoitus ja kasvusto voisi uudistua vesomalla.

Metsitettyjen suopohjien vesistökuormituksesta on vähän tietoa. Turvetuottajilla on valtioneuvoston antaman vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaisesti velvollisuus vuoteen 2005 mennessä vähentää elinkeinosta aiheutuvaa ravinnekuormitusta merkittävästi. Suopohjien metsittäminen siirtää alueen teollisesta turvetuotannosta metsätalousmaaksi.

2. Projektin tavoitteet

Projektin tavoitteena on selvittää, mitä metsitysmenetelmiä käyttäen suopohjien puukasvuston kehittyminen tapahtuu nopeasti ja samalla voidaan vähentää huuhtoutumisriskiä ja vesistökuormitusta. Tavoitteena on saavuttaa metsätalouden yleinen kuormitustaso metsitetyillä suopohjilla.

Projektin tavoitteena oli hankkia turvetuotantoelinkeinoon ja turvetuotantoon maa-alueita vuokranneiden maanomistajien käyttöön uutta käytännön tietoa ja osaamista suopohjien metsittämisestä. Tarkoituksena oli kehittää tehokas ja nopea, mutta myös taloudellisesti sopiva menetelmä suopohjien metsitykseen talousmetsäksi ja puutiheikköksi. Menetelmän etsimiseksi tutkittiin metsätaloudessa jo kokeiltuja tapoja, puutiheikköjen kasvua sekä koeajettiin kylvölaitteita. Projektissa selvitettiin myös suopohjien metsittämiseen soveltuvan konekaluston

tarve olemassa olevan kaluston pohjalta ja siihen liittyvät kehitystarpeet sekä kasvupaikan esivalmistelutarvetta. Projektin tuloksena syntyi alustavia tietoja menetelmistä sekä suopohjien luokitustarpeesta. Kasivuotinen projekti oli kuitenkin asiaan liian lyhytaikainen ja siksi tutkimusta on tarkoitus jatkaa edelleen.

Projektin tavoitteena oli myös selvittää turvetuotannosta vapautuvien suopohjien hiilitaseen määrittämismenettelmät ja niiden kehittämistarpeet.

3. Projektin toteutus

3.1 Suopohjien metsityksen vesistövaikutukset

Vesistökuormitusta seurattiin metsitysalueiden yhteyteen sijoitettujen kuormitustarkkailupisteiden avulla. Näytteistä selvitettiin suopohjilta tulevien valumavesien laatu ja määrä (mittapadot, veden virtaamamittauslaitteet) sekä em. tietojen pohjalta seuranta-ajan kuormitustasoa. Vesinäytteet otti ja analysoi Metlan Muhoksen tutkimusasema. Tuloksia verrataan muiden maankäyttömuotojen kuormitustietoihin sekä turvetuotannon aikaiseen kuormitukseen.

3.2 Metsityksen menetelmäkehitys

Limingan Hirvinevalla on tehty jo aikaisemmin Metlan metsitystutkimuksia. Sen vuoksi alue valittiin tämän tutkimuksen pääkohteeksi. Lisäksi selvitettiin metsityskohteiden tila maastotarkastelun ja aikaisempien koealueiden tietojen läpikäynnin perusteella. Luontaisesta puutiheikön muodostumisesta oli havaintoja. Näiden alueiden kasvupaikkatekijöitä selvitettiin maaperänäytteiden avulla.

Maanäytteet analysoitiin Metlan Muhoksen tutkimusaseman laboratoriossa. Näytteistä analysoitiin maalaji sekä puun kasvun kannalta oleelliset ravinteet. Lisäksi koealueilta mitattiin jäljelle jääneen turvekerroksen paksuus.

Pyöreäsuolle Yli-Iihin perustettiin noin 17 hehtaarin laajuinen metsitysalue. Siellä koekäytettiin maanmuokkaus- ja kylvökoneita ja seurattiin niiden työajan käyttöä sekä syntyneitä kustannuksia. Alueella oli myös valumavesien tarkkailu.

3.3 Seminaarit

Tutkimuksen aikana on olemassa olevan tiedon kokoamiseksi järjestetty seminaareja, joissa on käyty läpi aiheeseen liittyvää 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 on laadittu raportti ja alan kirjallisuusluettelo Metlan tiedonantoja-sarjassa.

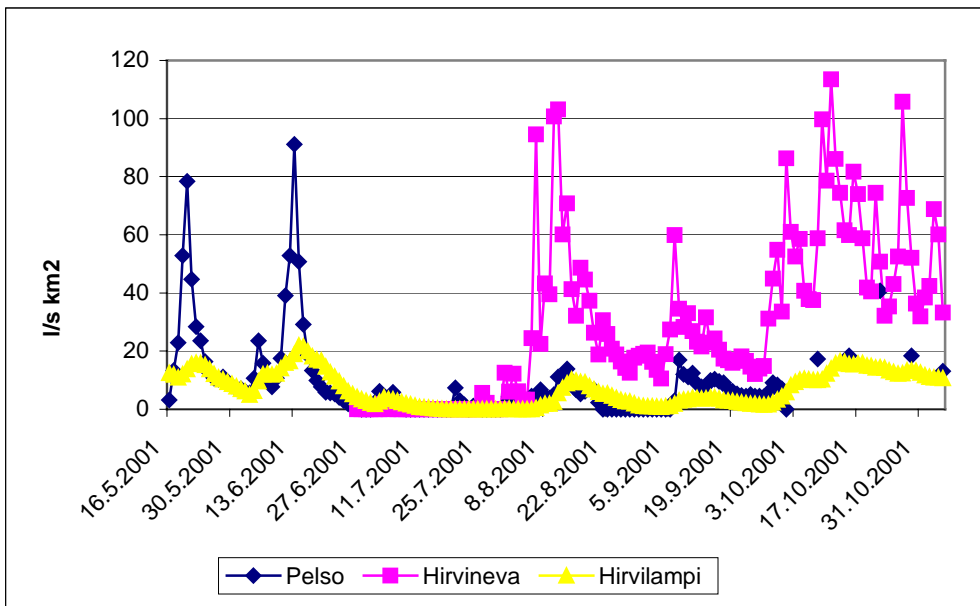
4. Projektin tulokset

4.1 Metsitysalueilta lähtevän veden laatutuloksia

Kahden ”vanhan” metsitysalueen veden laatua ja ainekuormitusta seurattiin kesä-lokakuussa vuonna 2000. Molemmat alueet ovat tutkimustarkoituksiin perustettuja kenttiä, joissa on runsaasti erilaisilla ojitus-, viljely- ja lannoitustavoilla perustettuja koeruutuja toistoineen.

Suopohjien metsittämiseen liittyvää mitattua vedenlaatu tietoa on olemassa vähän. Tässä tutkimuksessa on aloitettu seuranta, jonka avulla on tarkoitus 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 koealueilla alhaisempi kuin vertailuaineistossa jopa luonnontilainen Joutensuo huomioiden. Rautapitoisuudet olivat samaa tasoa kuin turvevaltaisilla metsätalousmailla ja samalla alhaisempia kuin turvetuotantoalueilla. Hirvinevan suopohjan valumaveden korkea sulfaattipitoisuus johtuu alueella esiintyvien sulfidipitoisten savimaiden vaikutuksesta. Alueiden kasvipeitteen kehittyminen sitoo ravinteita ja siten vähitellen myös vesistökuormitus sekä maa-aineksen kulkeutuminen sadeveden mukana vähenee.

Veden laadun tarkkailussa oli sekä vanhoja metsitysalueita (Pelsonsuo, perustettu 1995, Hirvineva, perustettu 1987) että uusia (Hirvineva 2/2000, Pyöreäsuo 1/2001) alueita. Tarkkailu aloitettiin kesällä 2000. 17.4.–5.11.2001 välisenä aikana näytteitä otettiin yhteensä 18 kertaa. Vaalan ja Muhoksen rajalla sijaitsevalla Pelsonsuolla on Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 1995 perustettu 17,5 hehtaarin laajuinen suopohjan metsityskoealue, jolle asennettiin 14.7.2000 mittapato ja jatkuvatoiminen Telog-virtaamanmittauslaite. Vuonna 2001 23.4.–5.11. välisenä aikana otettiin vesinäytteitä 19 kertaa. Näytteet analysoitiin Metlan Muhoksen aseman laboratoriossa. Hirvinevan uudelle 3,2 hehtaarin metsityskoealueelle (2/2000) asennettiin mittapato ja Telog-virtaamanmittauslaite 27.6.2001. Vesinäytteiden otto koealueelta käynnistyi jo keväällä ennen alueen lannoitusta. Vesinäytteitä otettiin yhteensä 17 kertaa.



Kuva 1. Pelson vuoden 1995 metsitysalueen, Hirvinevan koealueen 2/2000 (mittapato asennettiin 27.6.2001) ja vertailuna olevan Hirvilammen valumaha-vainnot vuonna 2001.

Turvetuotantosoiden valumavesi voi poiketa toisistaan huomattavasti. Myös saman suon vedenlaatu vaihtelee vuosittain hydrologisista olosuhteista riippuen. Lisäksi vesiensuojelurakenteet vaikuttavat suolta lähtevän veden laatuun. Pel-

sonsuo metsitysalueen vedenlaadun erot vuosien 2000 ja 2001 välillä olivat suhteellisen pienet, mutta laatu poikkesi selvästi tuotantosoiden vedenlaadusta. Metsitysalueen kiintoaine-, kokonais- ja fosfaattifosfori-, COD_{Mn}- ja rautapitoisuudet olivat alhaisemmat vuonna 2001 kuin edellisenä vuotena. Typen ja sulfaatin osalta pitoisuudet olivat sitä vastoin korkeammat vuonna 2001. Tarkkailujakso alkoi vuonna 2001 jo huhtikuun lopussa, mikä osaltaan voi vaikuttaa tuloksiin. Kiintoaine-, kokonaisfosfori-, fosfaattifosforipitoisuudet olivat metsitysalueella selvästi korkeammat ja rauta- sekä COD_{Mn}-pitoisuudet alhaisemmat kuin tuotantosoilla.

Hirvinevan vanhan metsitysalueen valumaveden laatu oli lähes samanlaista molempina vuosina. Hirvinevan uudella metsityskoealueella vedenlaadun tarkkailu aloitettiin 22.5.2001. Korkein kiintoainehuuhtouma koealueelta tapahtui ilmeisesti jo talvella ennen tarkkailun aloittamista, koska alue ojitettiin joulukuussa 2000. Uudella koealueella kokonaistyyppi- ja nitraattityyppipitoisuudet ovat jonkin verran korkeammat ja väri sekä alkaliniteetti selvästi korkeammat kuin vanhalla metsitysalueella. Kokonaisfosfori-, fosfaattifosfori- ja sulfaattipitoisuus ovat taas selvästi alhaisemmat uudella koealueella. Ilmeisesti toukokuussa annettu tuhkalannoitus ei vielä näy kohonneena fosforipitoisuutena, mutta kylläkin kohonneena alkaliniteettina.

Taulukko 1. Valumaveden ainespitoisuuksien keskiarvot Pelsonsuon ja Hirvinevan vanhoilla metsitysalueilla vuosina 2000 ja 2001, Pyöreäsuon ja Hirvinevan uusilla metsitysalueilla vuonna 2001 sekä vertailuna Pohjois-Pohjanmaan turvetuotannon tarkkailusoiden ja luonnontilaisen Vitmaojan ja Joutensuon tuloksia vuonna 2000. Vertailuna on myös turvevaltaisen metsätalousmaan (Saukkonen & Kortelainen 1995) ja avohakatus metsämaan (Lepistö ym. 1995) valumaveden laatutiedot.

	Tarkkailu- jakso	k. valuma l/s/km ²	k-aine mg/l	P-kok ug/l	PO ₄ -P ug/l	N-kok ug/l	NH ₄ -N ug/l	NO ₃ -N ug/l	COD _{Mn} mg/l	Fe mg/l	SO ₄ -S mg/l
Pelsonsuo	7.6.–31.10.2000	7,3	17	114	95	1149	297	101	13	1,63	1,11
Pelsonsuo	23.4.–5.11.2001	8,9	11	105	84	1320	391	180	10	1,34	2,01
Hirvineva 1/87	7.6.–16.10.2000	6,2	14	64	39	1559	132	490	18	1,17	33,5
Hirvineva 1/87	17.4.–5.11.2001	10,1	16	68	44	1588	157	497	17	1,83	23,1
Hirvineva 2/2000	22.5.–5.11.2001	29,2	15	35	19	1649	132	530	18	2,47	3,67
Pyöreäsuo 1/2001	9.9.–5.11.2001	13,5	167	16	10	2469	486	1390	12	0,47	4,23
Pyöreäsuo vertailualue	4.6.–5.11.2001	13,5	2	37	20	722	19	117	13	0,61	0,56
PPo:n tarkkailusuot (n=20)	15.5.–18.9.2000	10,0	6	62	29	1400	320	96*	33	4,2	–
Vitmaoja, luonnontilainen	16.5.–21.9.2000	36,9	18	48	28	680	26	7*	40	8,9	–
Joutensuo, luonnontilainen	22.5.–21.9.2000	5,2	3	15	3	510	62	–	21	2,1	–
Turvevaltainen metsämaa ¹	–	–	4	28	9	630	84	49	27	1,9	3,2
Avohakattu metsä ²	–	–	33	61	13	1500	11	960	17	2,3	–

Taulukko 3. Ominaisuushuhtoumat Pelson, Hirvinevan vanhoilla metsityskoealueilla vuosina 2000 ja 2001, Hirvinevan ja Pyöreäsuon uusilla metsityskoealueilla vuonna 2001, Pohjois-Pohjanmaan turvetuotannon tarkkailusoilla tuotantokaudella vuosina 1999 ja 2000, Vitmaojan ja Joutensuon luonnontilaisilla suoalueilla sekä vanhalla metsäojitusalueella (Joensuu et al. 1999). (Hirvinevan vanhan metsitysalueen valumat on laskettu Hirvilammen valuman perusteella).

	Tarkkailu- jakso	k-valuma l/s/km ²	ka g/ha d	P-kok g/ha d	PO ₄ -P g/ha d	N-kok g/ha d	NH ₄ -N g/ha d	NO ₃ -N g/ha d	COD _{Mn} g/ha d	Fe g/ha d	SO ₄ -S g/ha d
Pelsonsuo	7.6.–31.10.2000	7,3	84	0,71	0,61	6,2	1,4	0,9	70	9,3	8
Pelsonsuo	16.5.–31.10.2001	8,9	90	0,89	0,77	9,4	2,3	0,9	94	11,0	14
Hirvineva 1/87	7.6.–16.10.2000	6,2	58	0,31	0,17	8,8	0,7	3,1	99	6,2	153
Hirvineva 1/87	17.4.–31.10.2001	10,1	123	0,48	0,36	12,7	1,0	3,8	136	12,9	219
Hirvineva 2/2000	27.6.–31.10.2001	29,9	358	1,10	0,54	39,1	3,4	11,9	470	49,0	125
Pyöreäsuu 1/2001	18.9.–31.10.2001	13,5	1308	0,22	0,24	26,7	4,8	16,8	101	6,7	61
Pyöreäsuu vertailualue	18.9.–31.10.2001	13,5	31	0,50	0,13	11,5	0,1	21,0	181	7,2	9
PPo:n tarkkailusuot (n=20)	15.5.–30.9.1999	13,6	144	0,92	0,24	18,0	5,7	1,7	349	58	–
PPo:n tarkkailusuot (n=20)	15.5.–18.9.2000	10,0	56	0,49	0,27	11,0	3,0	1,2*	230	39,0	–
Vitmaoja, luonnontilainen	16.5.–21.9.2000	36,9	424	1,53	0,65	21,5	0,2	0,43*	1143	168,2	–
Joutensuo, luonnontilainen	22.5.–21.9.2000	5,2	14	0,07	0,014	2,3	0,3	–	100	9,0	–
Vanhat metsäojitusalueet	1.5.–31.10.2001	9,2	32	0,42	–	5,8	0,3	0,4	–	12,1	–

Huom. *analyysi NO₂₃-N

Turvetuotannon kohdalla ollaan siirtymässä vuosihuuhtoumien laskemiseen. Tämän tutkimuksen yhteydessä ei analysointi tai veden määrän mittausta voitu järjestää ympäri vuoden.

Taulukko 4. Vuosihuuhtoumat (kg/ha). Hakasuon turvetuotantoalue vuonna 2000, Pelson ja Hirvinevan vanhat metsitysalueet vuosina 2000 ja 2001 sekä Hirvinevan (2/2000) uusi koalue vuonna 2001. Pyöreäsuon koalueen ja vertailualueen huuhtouma syksyllä 2001. Vertailuna metsätalousmaa (Saukkonen & Kenttämies 1993) ja vanha metsäojitusalue (Joensuu et al. 1999).

	Kiintoaine	COD _{Mn}	Kok. P	Kok. N
Hakasuo v. 2000	16,2	89,2	0,13	3,6
Pelso v. 2000	19,2	19,0	0,19	2,0
Pelso v. 2001	15,5	18,7	0,18	2,6
Hirvineva 1/87 v. 2000	13,0	26,1	0,08	3,3
Hirvineva 1/87 v. 2001	18,3	22,2	0,07	3,5
Hirvineva 2/2000 v. 2001	41,3	62,6	0,14	5,9
Pyöreäsuon koalue syksy 2001	56,3	4,3	0,01	1,2
Pyöreäsuon vertailualue syksy 2001	1,3	7,8	0,02	0,5
Metsätalousmaa	8,5–29,0	-	0,09–0,15	1,8–2,5
Vanha metsäojitusalue	9,7	-	0,14	1,9
Vitmaoja v. 2000	64,1	253,4	0,27	4,6
Vitmaoja v 1999	25,4	136,9	0,10	1,8

Seurantajakson lyhyiden vuoksi tulokset ovat vasta suuntaa antavia.

4.2 Metsitys- ja maa-analyysituloksia

Hirvinevan koalueilta analysoitiin jäljelle jääneen turpeen alla olevan pohjamaan laatu. Se oli hiekka- ja hietamoreenia, jota peitti ohut lajittuneiden maalaajien kerros. Lähes kaikki näytteet olivat tästä lajittuneesta kerroksesta. Kaksi

kolmasosaa näytteistä oli hienoa hiekkaa, loput keskikarkeaa hiekkaa tai vuorokerroksellista maalajia, jossa vuorottelivat hiekka, hieta ja hiesu yleensä alle yhden sentin paksuisina kerroksina. Vain yhdessä näytteessä oli hienoainesta alle 15 %.

Raekokotulosten mukaan uudet koalueet soveltuvat hyvin metsitykseen. Lajituneiden maalajien kerros suoraan turpeen alla on niin ohut, että hienoainesta sisältävää moreenia nousi sen alta suon pinnalle ojitustöiden yhteydessä, mikä edelleen parantaa ravinnetaloutta ja tuo pinnalla olevaan turvekerrokseen puun kasvun kannalta tärkeitä hivenaineita.

Metsityskoealueilta analysoitiin 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.

Hirvinevan metsityskoealueille tehtiin lannoitus ja kasvillisuusinventointi. Lannoitteena käytettiin puun ja turpeen tuhkaa erikseen, puu-turvetuhkaa seoksena, turvetuhkaa + biotiittia sekä vertailuna Metsän PK-lannoitetta ja ilman lannoitusta.

Pyöreäsuon koalueelle (ojitus-mätätys-luontainen metsittyminen) tehtiin lannoitus toukokuussa 2001 suunnitelman mukaisesti puun tuhalla sekä biotiittilannoitteella. Pyöreäsuon ojitus-mätätys-koneellinen kylvö tehtiin 21.8.–11.9.2001. Sarkaojien päihin tehtiin lietetaskut ja asennettiin päisteputket.

Koalueille on merkitty inventointipisteet, joilla seurataan kasvillisuuden kehittymistä. Lisäksi koalueelle asennettiin pohjavesikaivot pohjaveden korkeuden seurantaan varten elokuussa 2001. Kasvillisuuden ensimmäinen inventointi tehtiin elokuussa 2001.

Pyöreäsuon metsitysaluetta perustettaessa tehtiin työaika- ja työtapamittauksia kustannuslaskennan pohjaksi. Pyöreäsuon pohjamaan laatu (kivisyys ja kovuus) hidasti kaivinkoneen työskentelyä huomattavasti. Maanmuokkaus tehtiin levittämällä eristys- ja sarkaojien ojamaat kentälle kaivurilla ja tekemällä lisämätätys sarkojen keskelle. Sarkaojat tehtiin 40 metrin välein. Hieskoivun kylvö tehtiin samanaikaisesti ojamaiden levityksen ja mätätysten (= ojitus-mätätys-kylvö) yhteydessä kaivuriin yhdistetyllä SeedGun kylvölaitteella. Menetelmän

työtehoa mitattiin kolme kertaa. Tehokkuus riippui kaivettavan ojan suuruudesta (eristysoja, sarkaoja) ja maaperän laadusta (kivisyys ja kovuus).

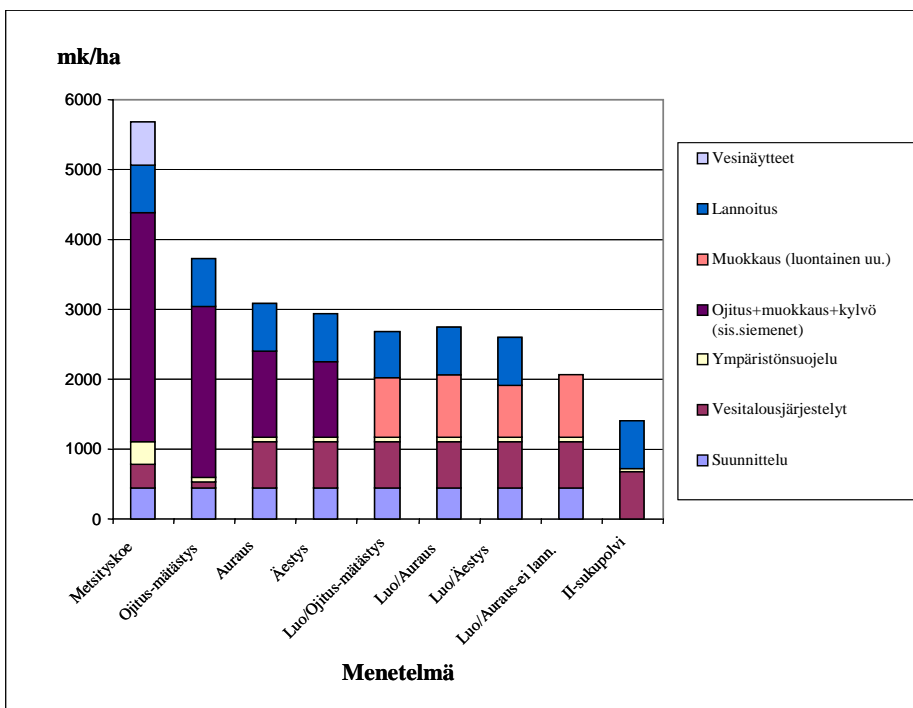
Työtehot olivat seuraavat:

- ojitus-mätästys-kylvö eristysojan kaivuna 0,09 ha/tunti (ojamaata 1,1 m³/jm)
- ojitus-mätästys-kylvö sarkaojan kaivuna 0,17 ha/tunti (ojamaata 0,85 m³/jm)
- mätästys-kylvö (turvekerros keskimäärin 0,4 m) 0,15 ha/tunti.

Hirvinevalta otettiin pintaturvenäytteitä ja kivennäismaanäytteitä turvekerroksen alta. Pyöreäsuon koalueelta otettiin pohjamaanäytettä ennen ojitus-mätästystä lapionäytteinä, mutta myöhemmin näyteenottoa täydennettiin ojanpenkka- tai kivennäismaamätäs-näytteellä.

Turvenäytteistä on määritetty Metlan Muhoksen tutkimusosaston laboratoriossa kosteus, tuhka, pH, johtokyky sekä kokonaisravinteet N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, ja B. Lisäksi tehtiin asetaattiuutolla P, K, Ca, Mg, Fe, Zn ja Cu. Kivennäismaanäytteistä on määritetty kuiva-aine, hehkutushäviö, pH ja johtokyky sekä ravinteet P, K, Ca, Mg, Fe (asetattiuutto), NH₄-N ja NO₃-N (KCl-uuhto) sekä rakeisuus. Pyöreäsuon pohjamaanäytteet on analysoitu Vapo Oy:n laboratoriossa Jyväskylässä. Analyysituloksia hyödynnetään kasvupaikkatekijöiden inventoinnissa ja jatkossa alueen taimettumisen onnistumisen, taimien kasvun ja kuolleisuuden selvittämisessä.

Suopohjan metsityskustannuksia varten laadittiin laskentaohjelma, jonka pohjana käytettiin Pyöreäsuon metsityskoealueen tietoja. Pyöreäsuon metsityskustannukset olivat noin 959 €/ha. Käytännössä ei kuitenkaan tarvita kaikkia niitä ympäristönsuojeluratkaisuja (eristysoja, mittapatoja), mitä koejärjestelyissä jouduttiin tekemään. Ojitus-mätästys-koneellinen kylvö -menetelmän metsityskustannukset ovat noin 622,3 €/ha. Auruksella ja äestyksellä kustannukset ovat 100,9–117,7 €/ha halvemmat. Aoraus ja äestys eivät kuitenkaan sovellu kaikille suopohjille (esim. paksuturpeiset, kiviset suopohjat).



Kuva 2. Suopohjan metsityskustannukset.

Ojitus-mätästys-koneellinen kylvö soveltuu kaikkein ongelmallisimmille suopohjille (vaihteleva, paksu turvekerros, kivinen ja kova pohjamaalaji). Luontaisessa uudistuksessa ojitus-mätästysten kustannukset ovat 1 000 mk/ha alhaisemmat kuin vastaavassa koneellisessa kylvössä. Auruksen ja äestysten kohdalla luontaisessa uudistuksessa kustannussäästöä tulee noin 67,3 €/ha. Lannoituksen kustannukset ovat näissä kaikissa tapauksissa noin 117,7 €/ha (turvetuhkaa 5 500 kg/ha + biotiitti 1 500 kg/ha).

Energiapuun tuotannon kustannukset koneellisena kylvönä tuotettua MWh kohden vaihtelevat metsitystavasta riippuen (ojitus-mätästys, aurauus ja äestys) 1,68–1,35 €/MWh. Oletuksena on tällöin, että lannoituksella saadaan 20 vuoden kiertoaajalla 180 m³/ha biomassatuotos ja hakkeen energiasisältö on 0,8 MWh/i-m³. Lannoituksella saadaan huomattava lisäkasvu, jopa 3,5 m³/ha vuodessa. Luontaisessa metsityksessä syntyy kustannussäästöä 0,17–0,25 €/MWh. Toisen sukupolven tuotantokustannukset tulisivat olemaan noin 0,67 €/MWh, kun kustannuksia syntyy jatkolannoituksesta ja ojen kunnostuksesta.

Kuitupuun tuotannossa kannattaa kasvatustiheytenä suopohjien hieskoivikoissa käyttää Pohjois-Suomessa 2 000 kpl/ha ja harventaa koivikko 15 metrin valta-
pituudella tiheyteen 800–1 000 kpl/ha. Harvennettuna hieskoivikon taloudellinen
kiertoaika on 60–70 vuotta. Ilman harvennuksia hieskoivikon taloudellinen
kiertoaika on 40–50 vuotta (Niemistö 1991). Ravinteisilla suopohjilla on saavu-
tettu samoja hehtaari tuotoksia hieskoivulla kuin mineraalimaallakin. Jos lannoit-
tetun 40-vuotiaan hieskoivikon runkopuun määrä olisi 290 m³/ha ja kuitupuun
osuus siitä 73 %, olisi hieskoivikon nettotuotot nykyisellä koivukuiden kanto-
hinnalla metsitystavasta riippuen 2 237–2 422 €/ha. Lisäksi saadaan energia-
puuta noin 155 MWh/ha. Hieskoivun kasvattaminen tukkipuiksi Pohjois-
Suomen suopohjilla ei onnistu.

5. Projektin tulosten hyödyntäminen

Projektin tuloksia voivat hyödyntää turvetuotantoa harjoittavat yritykset, joilla
on tuotannosta poistuvia alueita ja niitä on tarkoitus hyödyntää muussa maan-
käytössä. Alueiden kasvipeitteen nopea kehittäminen vähentää vesistökuormitus-
riskiä sekä vaikuttaa myönteisesti kentän hiilitaseeseen. Projektilla on vaikutusta
myös pk-yrityksien toimintaan ja laitekehitykseen.

Projektilla on yhteys turvevarojen käyttöön liittyvään kansalliseen ilmasto-
ohjelmaan. Tämän tutkimuksen yhteydessä hiilitase on voitu analysoida vain
perinteisen kasvuun sisältyvän hiilen määrän laskennan avulla. Koealueiden
hiilimittauksia on tarkoitus lisätä kauppa- ja teollisuusministeriön käynnistämän
ilmastoasioihin liittyvän turvemaiden tutkimuksen yhteydessä. Tämä tutkimus
on tuottanut hyödynnettävää taustatietoa alueista. Tutkimuksen tietoja voidaan
hyödyntää myös valtioneuvoston antaman vesiensuojelun tavoiteohjelman to-
teutuksen seurannassa.

Yksityisen maanomistajan on mahdollista saada metsänparannusvaroja metsän
uudistamiseen ja myös ennestään puuttoman alueen metsittämiseen. Suopohjan
metsittämiseen on mahdollista saada metsänparannusvaroja, mikäli alue on
yksityisomistuksessa. Edellytyksenä on, että alue on metsänkasvatukseen sovel-
tuva ja ravinteisuus on kuivaa kangasta vastaava.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

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. Tulokset edistivät kyseisen kasvupaikkaluokituksen kehittämistä, vaikka asiaa ei vielä saatu valmiiksi. Työ tarvitsee jatkossa analyysien tilastollisen tarkastelun sekä jonkin verran lisänäytteitä. Niitä on tarkoitus kerätä vuoden 2002 aikana.

Eri ikäisten sekä eri käyttötarkoituksia (talousmetsä, puupelto) varten metsitettyjen suopohjien hiilensidontakyvystä saatiin perustietoa biomassamääritysten avulla. Nykyiset tiedon tarpeet vaativat kuitenkin perusteellisempaa hiilimitausta, joka huomioi kasvin biomassan lisäksi myös maahengityksen. Jatkossa näiden tulosten ja muodostuvan kasvipeitteen vaikutusta suopohjan hiilen sidontaan selvitetään lisää yhteistyössä alan asiantuntijoiden kanssa (Helsingin yliopisto, Metla, kauppa- ja teollisuusministeriö).

Kirjallisuus

Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suopohjien metsitys. Hankeraportti 1986–1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 634. S. 51.

Hytönen, J. & Kaunisto, S. 1999. Effect of fertilization on biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. *Biomass and Bioenergy* 17, s. 455–469.

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1998. Quality of runoff water from old ditch networks in Finnish peatland forests. In: Sopo, R. (ed.). *Proceedings of the International Peat Symposium The Spirits of Peatlands- 30 Years of the International Peat Society*, Jyväskylä, Finland, 7–9 September, 1998. S. 70–72.

Lepistö, A., Seuna, P., Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Hakkuun vaikutus hydrologiaan ja ravinteiden huuhtoutumiseen rehevältä metsävaluma-alueelta

Etelä-Suomessa. In: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 – ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. S. 199–211.

Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla. Folia Forestalia 782. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki. S. 36.

Piirainen, S. 2000. Huuhtoumat tuhkalannoitetulta alueelta. Metsätehon raportti 90.

Saukkonen, S. & Kenttämies, P. 1993 (toim.) Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta. METVE-projektin väliraportti. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 455.

Selin, P. 1999. Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science 79, Jyväskylän yliopisto. 239 s.

Pientuotanto ja -käyttö

Puun pienkäytön T&K:n tarpeiden kartoitus – PUUT26

Heikki Oravainen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 532 tai 0400 619 263, faksi (014) 672 597
e-mail: heikki.oravainen@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Survey of the R&D needs of small scale wood use.

VTT has, in co-operation with a number of organisations operating on small-scale production and use of firewood, carried out a survey of research and development needs in this field. Ten information seminars were organised in different locations of Finland, to which enterprises as well as research and development organisations in this field were invited. Local polytechnics, TTS Institute, Satakunta Polytechnic, Elomatic Papertech Engineering Oy, JP Management Consulting Oy, and Jyväskylä Science Park Ltd carried out surveys in specific fields. This report includes the most essential results. The specific surveys concerned small wood production techniques, development needs in pellet technique, development work in district heating sector, export potentials, and applications of ICT technologies.

As results, the most important development needs for each sub-field are presented. The competitiveness and export potential of technology are also evaluated and the level of Finnish technology is compared with that of potential export countries.

The increasing small-scale use of wood will contribute to the reduction of carbon dioxide emissions in Finland. The aim of the Action Plan for Renewable Energy Sources launched by Ministry of Trade and Industry is to increase the use by 45% from 12.8 TWh in 1995 by the year 2010. However, this increase

involves a possible increase of other emissions to the environment. If the small-scale use of wood is increased in Finland by employing the present technology, carbon monoxide, hydrocarbon and particle emissions will increase. Emissions from wood combustion should be reduced from the present level especially in densely populated areas.

Emissions can essentially be reduced by developing both batch-type fireplaces and boilers and continuous-burning stoker and pellet burners. The greatest challenge is related to the development of batch-type wood-combustion appliances. The control of the combustion process can be improved, i.a., with the aid of modern measuring and control technics. Use of catalysts may also be possible in future wood-burning equipment.

Significant new innovations are needed to reach targets of wood small-scale use. Small changes in present equipment are insufficient for this target. After developing new-generation technology, nearly unlimited export markets will be opened in the neighbouring areas of Finland and in the whole area of Europe. Significant growth targets have been set for the use of wood nearly in all countries.

It is anticipated that the share of self-driven wood supply will reduce, even if its share will further be significant. In addition to increasing fuel sales, the sales of heat from wood are also estimated to increase. The market of wood products is significant in Europe, and the exports are estimated to grow. The total volume of this business in 2010 is estimated to be € 800 million, the largest part being equipment manufacture. The total fuel and heat business is expected to exceed the limit of €170 million

Small-scale use of wood has traditionally involved households and farms, where the users themselves acquire the major part (about 70%) of wood or do not pay any price for the fuel. This situation is changing, and there are wood fuels of different type on the consumer market. The selection of products expanded, when pellets and briquettes were launched on the market.

If the market volume continues to increase up to about €235 million by the year 2010, the employment may increase as much as to 9000 man-years. Fairly many operators engaged in small-scale wood production work part-time to get addi-

tional income, and hence this sector will employ a significantly higher number of workers.

Small-scale production and use of wood fuels involve many development needs, to reach the targets set. This will involve, i.a., creation of operation rules for fuel and energy business, standardisation of fuel quality, further development of equipment and systems, etc. The fuel should be economically competitive with other energy forms.

As regards the development of combustion equipment, the greatest challenge is to reduce emissions and simultaneously keep a competitive price level of equipment. Training and information activities are also required alongside technology development (Helynen & Oravainen 2002).

1. Johdanto

Teknologian kehittämiskeskus, Tekes järjesti keväällä 2001 tarjouskilpailun Polttopuun pientuotannon ja -käytön t&k-toiminnan aktivointiselvityksen tekemisestä. VTT Prosessit osallistui kilpailuun muodostamalla konsortion yhdessä Työtehoseura ry:n (Jouko Mäkelä), Jyväskylän Teknologiakeskus Oy:n (Veli-Pekka Heikkinen), Elomatic Papertech Engineering Oy:n (Asko Ojaniemi), Satakunnan ammattikorkeakoulun (Martti Honkasalo ja Jukka Yrjölä) sekä JP Management Consulting Oy:n (Hannu Kivelä) kanssa ja voitti tarjouskilpailun. Lisäksi aluetilaisuuksien järjestelyavusta sovittiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun (Markku Huhtinen), Mikkelin ammattikorkeakoulun (Marja Jallinoja), Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun (Asko Puhakka) sekä Svenska Yrkeshögskolanin (Mikael Ventin) kanssa.

Projektin koordinoitavastuu oli VTT:lla. Projektin vastuullinen johtaja oli tutkimuspäällikkö Satu Helynen ja projektipäällikkö erikoistutkija Heikki Oravainen. Erikoistutkija Veli Linna osallistui aktiivisesti aluetilaisuuksien organisointiin ja Eija Alakangas julkaisun laadintaan.

VTT tilasi konsortion jäseniltä seuraavat alihankintakokonaisuudet:

Työteho-seura ry	Polttopuun pientuotannon t&k-tarpeet Pelletteihin liittyvät t&k-tarpeet
Elomatic Papertech Engineering Oy	Aluelämpölaitoksiin liittyvät t&k-tarpeet
Satakunnan ammattikorkeakoulu	Lämpörittäjyyteen liittyvät kehittämistarpeet
JP Management Consulting Oy	Vientipotentiaali, kilpailukyky ja kansainvälinen aspekti polttopuun pientuotannon ja -käytön tutkimus- ja kehitystyön aktiivoinnissa
Jyväskylän Teknologiakeskus Oy	ITC-tekniikan kehittämistarpeet

Lisäksi Jyväskylän teknologiakeskus Oy toimitti projektin käyttöön FINBIO ry:llä teettämänsä selvityksen – Polttopuun pientuotannon ja -käytön yritysten t&k-tarpeet 2001–2005 – Yritys- ja asiantuntijahaastattelun tulokset, jonka on tehnyt FINBIO ry:n puheenjohtaja Keijo Mutanen.

Projektiin liittyi oleellisena osana alueellisten aktivointitilaisuuksien järjestäminen kymmenellä paikkakunnalla. Tilaisuudet järjestettiin Porissa, Mikkelissä, Kuopiossa, Joensuussa, Vaasassa, Tampereella, Jyväskylässä, Kuopiossa, Rajamäellä sekä Oulussa. Tilaisuuksien tarkoituksena oli kutsua koolle tämän aihepiiriin yritys- ja t&k-toimijoita keskustelemaan aihealueen t&k-tarpeista. Jokaisessa tilaisuudessa alueen t&k-toimijat esittelivät omia valmiuksiaan tämän alan tarpeisiin. TE-keskukset esittelivät rahoitusmahdollisuuksiaan. Tilaisuudet oli kohdennettu alan toimijoille, ei suurelle yleisölle. Tilaisuuksiin lähetettiin kirjalliset kutsut. Osoitteisto kerättiin aluetilaisuuksien järjestämisessä mukana olevien organisaatioiden olemassa olevista rekistereistä, jota täydennettiin VTT:n osoitteistolla. Kaikkiaan Tekes postitti tilaisuuksiin n. 2000 kutsukirjettä. Osallistujia aluetilaisuuksissa oli yhteensä n. 200.

Projektiryhmä, johon kuului Tekesin edustajia, VTT:n edustajia sekä alihankintaselvitysten tekijöiden edustajat ovat järjestäneet työkokouksia, joissa on käsitelty projektin sisältöä.

Puuenergian teknologiaohjelman seminaarissa Jyväskylässä 6.9.2001 esiteltiin projektin tulokset.

2. Tulokset

Projektin tuloksena syntyi selvitys polttopuun pientuotannon ja -käytön kehitystarpeista. Tulokset on raportoitu Tekesin teknologiakatsauksena 124/2002, jota on saatavana sekä painettuna raporttina että sähköisessä muodossa. Kirjallisen raportin tilaukset ja pdf-muodossa olevan sähköisen raportin imuroinnin omalle tietokoneelle voi tehdä Tekesin www-sivuilta osoitteesta: www.tekes.fi/julkaisut.

Lähteet

Helynen, S. & Oravainen, H. Polttopuun pientuotannon ja -käytön kehitystarpeet. Teknologiakatsaus 124/2002. Tekes. 27 s.

Puupolttoaineiden jakelu, käsittely ja laadun parantaminen pienkäytössä – PUUT30

Ari Erkkilä, Kari Hillebrand, Tapio Ranta,
Markku Kallio & Heikki Oravainen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh.(014) 672 684, faksi (014) 672 597
e-mail: etunimi.sukunimi@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Distribution, handling and quality improvement of wood fuels in small-scale use

The purpose of developing the production and handling of wood fuel for small-scale use is to improve the production and delivery methods as well as the technology so that the fuel quality is adequate and the costs are competitive. The project includes four sub-projects, which concentrate on more efficient wood fuel drying, fuel handling at the storage site, handling technique for pellets and wood chips, and the impacts of wood pellet raw materials and structure on the mechanical durability and combustion emissions. In the project, experimental studies are carried out in laboratory and field tests, and calculatory models are developed e.g. for wood fuel drying.

1. Tausta

Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteen saavuttamiseen vaikuttaa myös polttopuun pientuotanto- ja käyttösektori, sillä kyseessä on noin 6 milj. m³ vuosittain polttopuuta, nykyisin lähinnä pilkettä tuottava ja käytävä sektori. Päätöksentekijöitä piensektorilla on noin miljoona, jotka voivat edelleen lisätä polttopuun käyttöä halkona, pilkkeenä, hakkeena, pellettinä ja brikettinä.

Myös lämpöyrittämistoiminnan voimakas lisääntyminen edellyttää haketuotantoteknologian kehittämistä näistä lähtökohdista. Lämpöyrittäjien yrityskohtaiset tuotantomäärät ovat moninkertaiset perinteiseen kiinteistölämmitykseen verrattuna, mutta jäävät silti yrittäjien pienen lukumäärän vuoksi murto-osaan suurtuotantoketjujen toimitusmäärästä.

2. Tavoite

Puupolttoaineen pientuotannon kehittämistavoitteena on uusien tuotanto- ja jakelumenetelmien sekä teknologioiden kehittäminen niin, että polttoaineen laatu on hyvä ja kustannuksiltaan kilpailukykyinen. Menetelmien ja laitteiden on sovelluttava Euroopan pääpuulajeille ja markkinoille.

3. Toteutus

Tutkimushanke jakaantuu neljään osaprojektiin, jotka ovat:

1. polttopuun keinokuivauksen tehostaminen
2. puupolttoaineen priimaus varastolla
3. pellettien ja hakkeen uudet syöttötekniikat ja
4. pellettien raaka-aineiden ja rakenteen vaikutus käsittelylujuuteen ja polton päästöihin.

Tutkimuksesta vastaa VTT Prosessit, ja tutkimuksen vastuullisena johtajana toimii tekn. lis. Ari Erkkilä. Osaprojektien projektipäälliköinä toimivat fil. lis. Kari Hillebrand, tekn.lis. Tapio Ranta ja dipl.ins. Markku Kallio. Tutkimuksessa ovat mukana myös Metlan Joensuun toimipiste, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu ja Jyväskylän yliopisto.

Tutkimus toteutetaan 1.10.2001–31.12.2003.

Tutkimukseen rahoitukseen osallistuvia yrityksiä ovat Jyväskylän Teknologia-keskus Oy, Antti-Teollisuus Oy, Arskametalli Oy, Biowatti Oy sekä Ylistaron Terästakomo Oy.

Tutkimushankkeessa tehdään yhteistyötä Työtehoseura ry:n *Puupelletin laadunhallinta pienjakeudessa ja käsittelyssä* -projektin ja *Pilkkeen tuotantoprosessin hallinta ja kehittäminen* -projektin kanssa.

3.1 Polttopuun keinokuivauksen tehostaminen

Polttopuuta käytetään Suomessa vuosittain 10–15 milj. i-m³, suurin osa pilkkeinä sekä osa myös hakkeena. Käyttäjän kannalta merkittävin polttopuun laatuun vaikuttava tekijä on polttopuun kosteus. Perinteinen tapa alentaa esim. pilkkeiden kosteutta on kuivata niitä ulkona katetuissa pinoissa tai kasoissa 1–2 vuotta. Kaupallisessa pilketuotannossa kyseisen kuivausmuodon haittana on kuitenkin varaston hidas kierto ja siitä aiheutuvat kustannukset. Lisäksi ongelmia aiheuttavat pilkkeiden laadun vaihtelu, home- ja ulkonäköhaitat sekä tuotannon kausiluontoisuus. Vastaavia epäkohtia – homehtumista, epätasaista kuivumista ja kuivumisen hitautta – esiintyy myös hakkeen kuivauksessa. Polttopuun keinokuivauksella ja kunnollisella varastoinnilla polttopuun laatu voidaan varmistaa ja varaston kiertoa nopeuttaa.

Osaprojektin tavoitteena on tehostaa polttopuun (hake ja pilke) keinokuivausta tutkimalla kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden merkitystä polttopuun kuivumisen tehokkuuteen laskennallisesti mallintamalla ja kokeellisesti sääsimulaattoria hyväksikäyttäen.

Osaprojekti koostuu neljästä osatehtävästä:

1. Kirjallisuuskatsaus maailmalla tehdyistä ko. aiheeseen liittyvistä tutkimuksista ja saaduista tuloksista sekä vallitsevista käytännöistä. Tehtävään liittyy opinnäytetyö.
2. Polttopuun kuivauksen matemaattinen mallintaminen. Tehtävässä kehitetään hakkeen ja pilkkeiden kuivumisen matemaattiset kuivausmallit. Osatehtävässä hyödynnetään VTT Prosesseissa aiemmin tehtyjä polttoaineen kuivaukseen

liittyviä osamalleja ja kehitetään ja sovelletaan niitä hakkeen ja pilkkeiden kuivumisen tutkimiseen.

3. Polttopuun kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden kokeellinen tutkiminen laboratoriossa sääsimulaattorin avulla. Tehtävässä tutkitaan osatehtävän 2 pohjalta polttopuun palakoon (hake, palahake, pilke, ranka), alkukosteuden, ilman lämpötilan, ilmavirran nopeuden sekä ilman suhteellisen kosteuden merkitys kuivumiseen.

4. Kirjallisuuskatsauksen sekä mallinnuksen ja sääsimulaattorikokeiden tulosten perusteella tarkastellaan erilaisia mahdollisuuksia tehostaa polttopuun kuivausta.

3.2 Puupolttoaineen priimaus varastolla

Puupolttoaineen käyttö pienen kokoluokan käytössä tulisijoissa ja kattiloissa asettaa puupolttoaineen laadulle (kosteus, puulaji, palakoko) suuria käyttökohteita tiukemmat vaatimukset. Hyvälaatuisen puupolttoaineen jalostaminen pienistä puupolttoaine-eristä taloudellisesti edellyttää rationalisoitua puuaineksen käsittelyä ja jalostamista taloudellisesti. Tämä on mahdollista tutkimalla ja kehittämällä keinoja käsitellä puupolttoaine-eriä pilkkeeksi ja hakkeeksi varastoalueella. Varaston toiminnasta voi vastata esimerkiksi puupolttoaineyrittäjä, lämpöyrittäjä tai haketusyrittäjä, joka ottaa vastaan maa- ja metsätiloilta harvennuspuuta ja hakkuutähdettä, hoitaa pilkkeiden teon lehtipuurangoista ja hakettaa oksat, latvat ym. hakkuutähteen. Mahdollista on myös lajitella hake ainakin kahteen laatuluokkaan. Pilkkeiden laatua on mahdollisuus edelleen parantaa esimerkiksi keinokuivauksella.

Osaprojektin tavoitteena on parantaa pienkäyttöön tarkoitettua puupolttoaineen -hakkeen ja pilkkeen- laatua ja tuotannon taloudellisuutta tutkimalla ja kehittämällä varastolla tapahtuvaa puupolttoaineen jalostamista laadullisesti ja taloudellisesti optimaaliseen käyttöön.

Projektissa tarkastellaan mm. edellytyksiä varaston sijainnille (esim. puupolttoaineen saatavuus, keskeinen sijainti käyttöpaikkoihin nähden, olemassa olevat sahojen kuivurien käyttömahdollisuudet) toiminnan logistiikkaa ja kustannuksia sekä valitaan toimintaan sopivia koneketjuvaihtoehtoja.

Osaprojektissa

- selvitetään teknisen toiminnan ja ympäristölainsäädännön vaatimukset prii-
mausvarastolle
- prii-
mausvaraston toiminnan logistiikan tutkiminen (materiaalivirrat, tiedon-
kulku, rahavirrat, sijainti raaka-aineen saatavuuteen ja tuotteiden käyttöpaik-
koihin sekä mahdollisiin keinokuivauskohteisiin, esim. sahoihin nähden)
- liiketoimintamallien muodostaminen (mahdollista täydentää toimituksia
pellettien välittämällä)
- toiminnassa tarvittavien koneketjujen ja varastointi- ja kuivausmenetelmien
tarkastelu
- prii-
mausvarastolla tapahtuvien toimintojen määrittäminen (pilkkeiden teko-
vaihtoehdot, hakkeen tekovaihtoehdot, mahdollinen ainespuun erottaminen,
seulonta, kuivaaminen, varastointi, toimituserät, pakkaus, laatumerkin-
nät)
- pienimuotoinen kokeellinen toiminta, esim. yksittäisten laitteiden ja eri
ketjun osien testaus.

Tutkimukseen osallistuu Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun yksikkö alihankki-
jana.

3.3 Pellettien ja hakkeen uudet syöttötekniikat

Pellettien ja hakkeen siirto ja syöttö polttolaitteisiin tapahtuu nykyisin pääasiassa
ruuvisyöttimillä. Ongelmiksi muodostuu pellettien jauhautuminen, ruuvien
kuluminen sekä etenkin tikkuisen hakkeen aiheuttamat tukkeutumiset.

Osaprojektin tavoitteena on tutkia ja kehittää nykyisiä ruuvisyöttimiä varmempia
ja monipuolisempia syöttötekniikoita pellettien ja hakkeen käsittelyyn ja syöt-
töön.

Osaprojektissa tutkitaan mahdollisuudet soveltaa pellettien ja hakkeen syöttöön
uusia siirto- ja syöttötekniikoita, kuten mm. erityyppisiä elevaattoreita ja lokero-

kuljettimia. Tutkitaan myös mahdollisuus kehittää ruuvisyöttöä materiaalivalinnan ja ruuvin optimaalisen muotoilun avulla sekä

- selvitetään muilla teollisuudenaloilla käytettävät nykyaikaiset kuljetin- ja syöttöratkaisut
- sovelletaan löydettyjä ratkaisuja ja ideoidaan niiden pohjalta uusia siirto-, syöttö- ja säätötapoja pellettien ja hakkeen käsittelyyn, erityisesti tarkastellaan pienten tilojen varastointiratkaisuja ja siilon täyttövaihtoehtoja
- tutkitaan ja kokeillaan yhdessä teollisuuden kanssa erilaisten pienkäyttöön soveltuvien vaihtoehtojen toimivuutta pellettien siilovarastoinnissa, siirrossa ja syötössä kattilaan
- suunnitellaan ja rakennetaan uuden syöttötavan koelaitte säästöineen ja verrataan saavutettua tulosta nykyisin käytössä olevaan tekniikkaan siirtokapasiteetin, käsittelyn hellävaraisuuden ja säädettävyyden suhteen. Koelaitteeseen kuuluu siilo purku- ja siirtolaitteineen, kattilaan syöttölaite (ruuvi- tai muu ratkaisu, esim. lokerosyötin), (kattila) ja tarvittavat säätölaitteet. Koelaitteella tutkitaan
 - siilon käyttäytymistä erilaisilla syöte- ja varastointimuutoksilla,
 - syöttölaitteiden toimintaa, niiden yhteiskäyttöä ja säädettävyyttä, kun syötteenä ovat puupelletit ja hake,
 - tutkitaan ja kehitetään syöttöruuvin toimintaa
- tutkitaan erilaisia pintamateriaaleja puupellettien liukumiskulman ja kitkakerroimen selvittämiseksi
- selvitetään sakkien hyödyntämismahdollisuudet pellettien varastoinnissa ja syötössä ja neuvotellaan mahdollisten teollisuusosapuolien kanssa yhteistyöstä.

3.4 Pellettien raaka-aineiden ja rakenteen vaikutus käsittelylujuuteen ja polton päästöihin

Pellettien lujuusominaisuudet riippuvat raaka-aineen koostumuksesta ja prosessointiooloista, mm. ligniinin käyttäytymisen tiedetään muuttuvan lämpötilan, paineen ja kosteuden vaikutuksesta. Sopivissa oloissa ligniini toimii liiman lailla lujittaen pelletin rakennetta. Perinteisesti pelletin lujuutta on tutkittu rummuttamalla tai puristamalla, johon on olemassa rehuteollisuuden standardeja. Nämä menetelmät eivät kuitenkaan kerro mitään niistä syistä, jotka johtavat esimerkiksi heikompaan lujuuteen. Pelletin sisäistä rakennetta ja toisaalta särkymistä iskujen vaikutuksesta ei ole tarkemmin tutkittu. Tässä projektissa pelletin rakennetta ja lujuutta tutkitaan tarkemmin käyttäen hyväksi mm. mikroskooppikuvausta, kuvankäsittelyä sekä suurnopeuskameraa.

Osaprojektin tavoitteena on selvittää puuraaka-aineen ja valmistusolosuhteiden vaikutus pelletin rakenteeseen, lujuuteen, poltto-ominaisuuksiin ja päästöihin. Lisäksi tavoitteena on oppia tuntemaan pelletin käyttäytyminen pneumaattisen kuljetuksen iskukuormitustilanteissa.

Osaprojektissa

- tutkitaan erilaisia pellettejä (mm. raaka-aine, tuotantotapa) analysoimalla pellettien sisäistä rakennetta mikroskooppisesti ja kemiallisten analyysien avulla. Tutkimusmateriaalina käytetään pellettivalmistajien pellettejä, mm. Työtehoseura toimittaa tehdasseurannoistaan pellettejä ja pellettien raaka-ainenäytteitä. Tarvittaessa tutkitaan laboratoriolaitteilla valmistettujen pellettien ominaisuudet ja pyritään selittämään pellettien lujuuteen vaikuttavat tekijät rakenneanalyysin perusteella
- tutkitaan pellettien käyttäytymistä törmäystilanteessa suurnopeus kuvausta hyödyntäen. VTT Energialla on erikoiskamera, jonka kuvausnopeus on jopa 10 000 kuvaa sekunnissa. Kokeissa käytetään erilaisia pellettejä, törmäyspintoja ja nopeuksia pelleteille. Kokeita varten suunnitellaan ja rakennetaan järjestelyt, jotka kuvaavat mm. pneumaattisessa käsittelyssä tapahtuvia iskuja ja hankauskulumista. Kokeissa käytettävien pellettien lujuus analysoidaan myös perinteisillä menetelmillä. Tutkimuksella tuotetaan perustietoa pneumaattisen siirron järjestelmien suunnittelua varten. Erityisen tärkeää se

on pneumaattisen jakelukaluston edelleen kehittämiseksi niin, että pellettien murskaantuminen on mahdollisimman vähäistä. Käytännön mittakaavassa tutkitaan Kärämäen pellettitehtaan pneumakuljetinlaitteiston toiminta

- tutkituille pellettierille tehdään polttokokeet ja mitataan päästöt. Poltossa hienoainesta sisältävä pelletti tuottaa oletettavasti enemmän hiukkaspäästöjä. Hallituissa olosuhteissa tehtävillä polttokokeilla selvitetään pelletin lujuuden todellinen vaikutus tyypillisen pellettipolttolaitteen hiukkaspäästöihin. Mitataan erikseen ns. pienhiukkasten päästöt, koska oletettavasti vaikutus on suurin juuri niihin. Pienhiukkaspäästöillä on suuri terveydellinen vaikutus. Samalla mitataan myös pyrolyysikaasujen palamisen täydellisyys mittaamalla hiilivetyjen päästöt ja muut normaalit päästöt.

Tutkimukseen liittyy Jyväskylän yliopiston ohjauksessa tehtävä opinnäytetyö.

4. Tulokset osaprojekteittain

4.1 Polttopuun keinokuivauksen tehostaminen

Olosuhdesimulaattorissa on tehty kuusi koeajoa, joissa on kuivattu vakio-oloissa koivupilkkeitä ja rankaa (kuva 1). Koeajoissa on kuivattu erikokoisia kuorellisia ja kuorettomia pilkkeitä ja rankoja. Kuivaustuloksia käytetään kuivumismallin lähtöparametreina. Kuivumiskokeita jatketaan vielä olosuhdesimulaattorin avulla muuttamalla kuivausoloja. Tämän jälkeen aloitetaan kuivumismallin testaus.



Kuva 1. Koivupilkkeitä kuivumassa olosuhdesimulaattorissa.

Sami Rinteen diplomityö "Puupolttoaineiden kuivausmenetelmien kartoitus" on valmistunut toukokuussa Lappeenrannan teknilliseen korkeakouluun.

Työssä kartoitettiin käytössä olevia pilkkeen ja hakkeen keinokuivausmenetelmiä. Lisäksi arvioitiin menetelmien energiankulutusta ja kustannuksia, sekä käytiin läpi kuivaajan suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja. Työn ohessa tehtiin Excel-laskentataulukko, jonka avulla voidaan arvioida lämpöryittäjyyden kannattavuutta koko tuotantoketju huomioon ottaen. Lopussa tutkittiin kolmen erityyppisen pilkekuivurin käyttöä ja arvioitiin laskentataulukon avulla niiden vaikutuksia pilkeyrittäjän talouteen.

Yleisin puupolttoaineiden keinokuivausmenetelmä on kylmäilmakuivaus. Säätöriippuvuudesta ja usein epätasaisesta kuivauslaadusta johtuen se soveltuu vain pienimuotoiseen ja sivutoimiseen polttoainetuotantoon. Lisälämmityksellä parannetaan ilman kuivauskykyä, jolloin kuivaus on nopeampaa, loppukosteudet

alhaisempia ja vuotuinen käyttöaika pitempi. Lämmitysratkaisun valinta riippuu kuivurin halutusta vuotuisesta käyttöajasta ja tuotantomääristä. Ammattimaiseen ja ympärivuotiseen pilketuotantoon soveltuu parhaiten korkeita, 70–90 °C:n lämpötiloja käyttävä kuivuri. Korkealämpötilakuivurissa on tärkeää huolehtia riittävästä eristyksestä ja säädelystä ilmanvaihdosta.

Suurilla polttopuun tuotantomäärillä kuljetuskustannukset korostuvat. Samalla kasvaa markkinoinnin tarve. Mainonnassa voidaan hyödyntää tehokasta kuivausmenetelmää.

4.2 Puupolttoaineen priimaus varastolla

Hyvälaatuisen klapin priimauskokeiden suunnittelu alueterminaalilla on tehty. Kokeet sisältävät klapinvalmistuksen järeillä klapikoneilla sekä termisen kuivauksen kamarikuivaamossa.

Klapinvalmistuksesta tarkastellaan tuotosta ja laatua (dimensiot). Kuivauksesta tarkastellaan kuivumisnopeutta ja kuivumistuloksen tasaisuutta sekä terminaalin sisälogistiikkaa klapinvalmistuksen ja kuivaamon välillä. Klapin kuivumista tutkitaan erilaisilla kuivausohjelmilla ja erilaisilla kamareiden täyttöjärjestelyillä. Kuivaamon koeajot tehdään kesä–elokuun aikana.

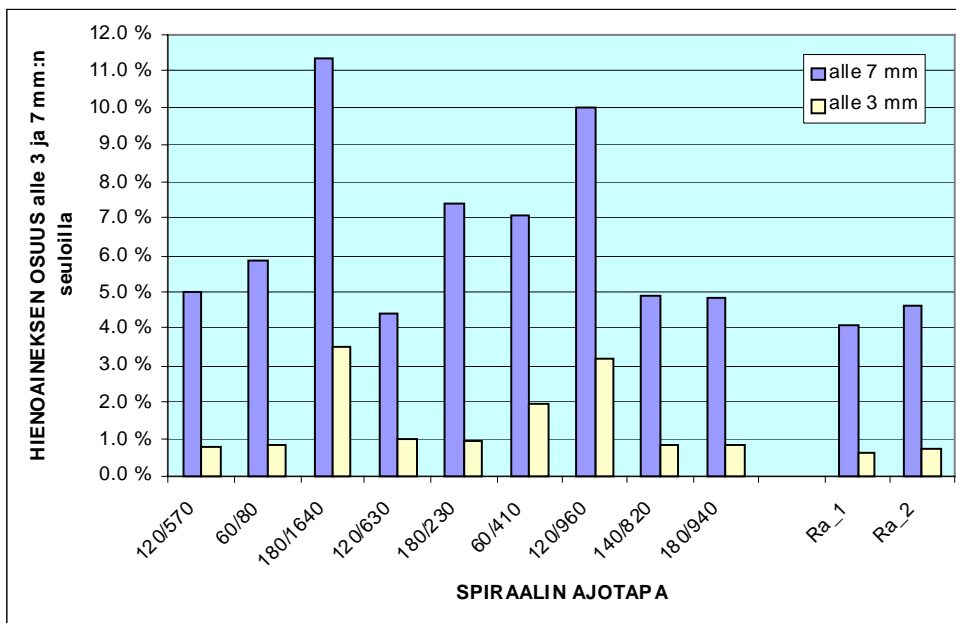
Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun yksikkö tekee projektiin alihankintana terminaalilogistiikkaa (raaka-aineen hankinta ja tuotteiden jakelu) koskevan simuloititarkastelun. Vertailtavina vaihtoehtoina on pienpuun valmistus klapeiksi/hakkeeksi hajautetusti metsäterminaaleilla vs. alueterminaalissa esimerkiksi kuivaamon tai kuivurin yhteydessä.

4.3 Pellettien ja hakkeen uudet syöttötekniikat

Pellettejä on ajettu pneumaattisesti Antti-Teollisuuden kolme metriä pitkään siiloon. Muuttujina oli mm. ilma- ja syötemäärät, pellettien laatu sekä siilon rakenne. Tulokseksi saadaan selville, kuinka pelletit käyttäytyvät pneumasiirroksa siiloon ja millä tavoin hienoainesta syntyy vähiten. Tutkimuksesta on tehty lyhyt väliraportti, joka on jaettu tutkimukseen osallistuneille yhteisöille: Antti-

Teollisuus Oy, Biowatti Oy ja Työtehoseura. Tutkimusta täydennetään yhteisvoimin touko-kesäkuussa ja tuloksilla pyritään selvittämään pitkälle pneumaattiseen purkuun liittyvät seikat.

Anti-Teollisuus Oy:n kanssa on tutkittu siilon asennettua spiraalipurkainta, sen tehontarvetta, kapasiteettiä ja pellettien rikkoutumista. Muuttujina ovat olleet spiraalin pyörimisnopeus, syötteen määrä, spiraalin asento ja pellettilaatu. Tutkimus on kesken ja ensimmäiset tulokset on saatu toukokuussa. Kuvassa 2 on kokeissa saatuja tuloksia. Kesän aikana Anti-Teollisuus Oy:ssä tutkitaan myös purkuruuvien toimintaa samassa siilossa. Ruuvikokeita varten siilon rakenteeseen tehdään toimivuutta parantavia muutoksia. Itävallassa yleisesti käytössä oleva pneumaattinen pellettienpurku siilosta ja siirto kattilasiilon on ollut esillä keskusteluissa, mutta tähän aihepiiriin ei ole toistaiseksi paneuduttu. Myös ketju- ja säkkisiirtovaihtoehdot pellettivarastosta kattilasiilon ovat olleet esillä.



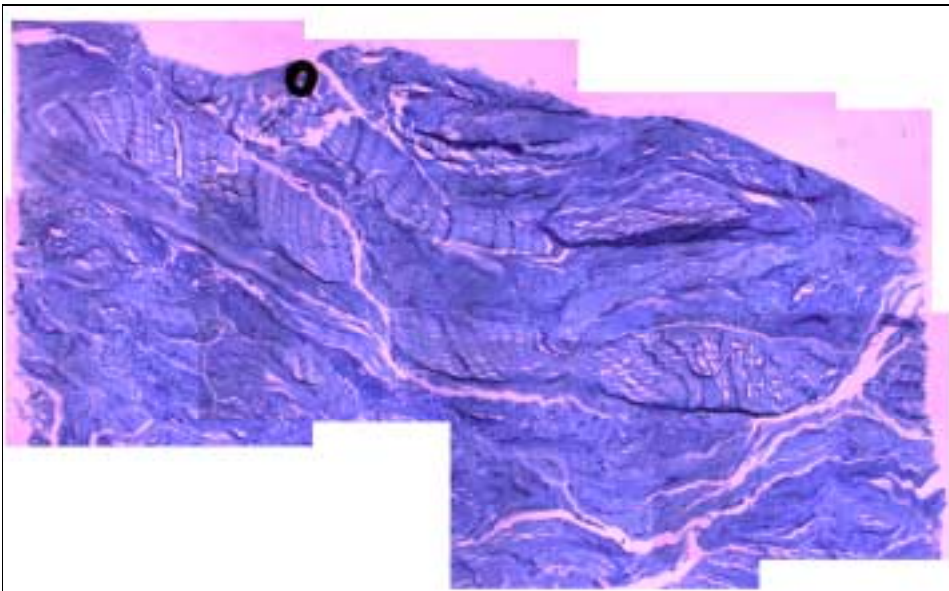
Kuva 2. Spiraalikuljettimen käyttötapa vaikuttaa pellettien siirrossa syntyvän hienoaineksen määrään.

4.4 Pellettien raaka-aineiden ja rakenteen vaikutus käsittelylujuuteen ja polton päästöihin

Tarja Tervo Jyväskylän yliopistosta aloitti maaliskuun alussa pro gradu -tutkielman, jossa hän tutkii pellettien sisäistä rakennetta, partikkelien välisiä sidoksia ja sidosaineita. Kokeellisessa puolessa hyödynnetään märkäseulontaa, mikroskopiaa ja kemiallisia testejä. Kirjallinen osa on tehty toukokuussa ja kesän aikana tehdään ja raportoidaan työn kokeellinen osuus. Pro gradu -tutkielman on suunniteltu valmistuvan syyskuussa 2002.

Pelletin sisäistä rakennetta on tutkittu mm. mikroskooppikuvien avulla (kuva 3). Toistaiseksi näytteen preparointi, mm. näytteiden leikkaaminen rotaatiomikrotomilla on tuottanut vaikeuksia.

Kärsämäen pellettitehdas on aloittelemassa toimintaansa ja sen laitteistoa tutkitaan kesäkuussa ole ollut vielä mielekästä mennä tutkimaan. Pellettien polttokoikeita ei ole vielä aloitettu.



Kuva 3. Mikroskooppikuva osasta pelletin poikkileikkausta. Kuvan yläosassa pelletin pinta.

5. Tulosten hyödyntäminen

Kuivaustutkimuksesta saatavan perustiedon avulla pystytään tehostamaan polttopuun keinokuivausta ja saatua tietoa voidaan hyödyntää käytännön kuivausratkaisujen kehittämisessä.

Puupolttoaineen käsittelystä varastolla saatavia tutkimustuloksia voivat hyödyntää esimerkiksi pilkkeen tuottajat, lämpöyrittäjät ja laitevalmistajat sekä ylimääräistä kuivauskapasiteettia omaavat puun jalostajat. Pilkkeiden ja hakkeen käyttäjät hyötyvät paremmasta polttoaineen laadusta. Tutkimus voi tuottaa uudenlaisia liiketoimintamalleja.

Pellettien ja hakkeen käsittelyn tutkimustuloksia voivat hyödyntää laitevalmistajat tuotekehitystyössään. Lisäksi saadaan runsaasti perustutkimustietoa pelletin ja hakkeen käyttäytymisestä erilaisissa käsittely- ja syöttöympäristöissä. Pellettien ja muiden biopolttoaineiden käyttö voi kasvaa parantuneiden tilaratkaisujen avulla ja toimivimpia laitteita hyödyntäen.

Mikroskooppianalyysillä ja kemiallisella määrittelyllä saadaan perinteisiä lujusmäärittämiä paremmin tietoa pellettien sisäisestä rakenteesta ja sen vaikutuksesta käsittelykestävyyteen. Suurnopeuskuvauksen avulla nähdään miten ja miksi pelletti särkyy. Tuloksia voidaan hyödyntää siilosuunnittelussa ja kehitettäessä pellettien pneumaattista siirtoa. Poltto- ja päästötutkimuksella saadaan tietoa raaka-aineiden ja pellettien lujuuden vaikutuksesta päästöihin. Tietoa voivat hyödyntää pellettien tuottajat raaka-aine- ja prosessivalinnoissaan. Päästömittaustieto hyödynnetään pellettien polttolaitteiden edelleen kehityksessä.

6. Jatkosuunnitelmat

Hankkeen osaprojekteja toteutetaan suunnitelman mukaisesti.

Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Rinne, Sami. 2002. Puupolttoaineiden kuivausmenetelmien kartoitus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, energiatekniikan osasto. 96 s. + liitt. 12 s.

Puupelletin laadunhallinta pienjakeudessa ja käsittelyssä – PUUY27

Seppo Tuomi
Työteho-seura ry
PL 13, 05201 Rajamäki
Puh. (09) 290 41280, faksi (09) 290 41285
e-mail: seppo.tuomi@tts.fi

Abstract

Project title in English: Quality control of wood pellets in small-scale distribution and handling

Quality control of wood pellets through the whole production, distribution and handling chain is of significance when trying to increase the small-scale use of wood pellets and to improve the competitiveness of the pellet branch. In order to improve the quality of pellets, the critical sites of different stages of production, distribution and handling, in which the pellet properties may change unfavourable for combustion, will be identified. The project will also produce data on physical and mechanical properties of pellets for the development of production, distribution and handling methods. The results will give basis for determination methods, and quality requirements and control for the needs of the Finnish market and for exports.

1. Tausta

Pelletit joutuvat matkallaan tehtaan varastosta lämmityslaitteen tulipesään erilaisille kuluttaville voimille alttiiksi. Näitä ovat lastaus- ja purkuvaiheen pudotukset, kuljetuksen aikana tärinä, käsittelylaitteiden aiheuttamat leikkaus- ja puristusvoimat sekä pellettien hankautuminen toisiaan vasten. Erityisen kovaan rasitukseen pelletit joutuvat puhallusautojakelussa. Voimien vaikutuksesta pelletit voivat murskautua ja jauhautua.

Työteho-seuran tekemien suppeiden pellettien laatu-kokeiden mukaan suomalais-ten pellettien käsittelykestävyydessä oli eroja (Tuomi 2001). Keski-Suomen Energiatoimiston pellettien käyttäjiltä keräämän seuranta-aineiston mukaan pellettien huonosta käsittelykestävyydestä syntynyt hienoaines oli aiheuttanut häiriöitä varastosii-lojen sekä kuljetin- ja lämmityslaitteiden toiminnalle (Ahonen et al. 2001).

Pelleteille ei ole Suomessa käytössä yleisesti hyväksytyjä laadun-määritysmenetelmiä. Myös yhtenäiset laatuvaatimukset ja sitä tukeva laadunval-vontajärjestelmä puuttuvat. Pellettien tuottajat eivät ole tämän vuoksi panosta-neet riittävästi laadunvalvontaan, mikä lienee osasyynä esiin tulleisiin pellettien laatuongelmiin. Erityisesti pellettien käsittelyominaisuuksista tarvitaan tutki-mustietoa, jotta tarvittava tuotekehitystyö osattaisiin kohdistaa oikein.

Puupellettien laatuohjeiden laadintaa varten Suomen Bioenergiayhdistys (FINBIO) on asettanut työryhmän. Työryhmän tehtävänä on laatia puupelleteille kansalliset laatuohjeet, jotka eivät ole ristiriidassa valmisteilla olevan eurooppa-laisen kiinteitä biopoltoaineita koskevan CEN-standardoinnin TC335-solid biofuels kanssa. Laatuohjeen pohjaksi tarvitaan tutkimustietoa, jotta ohje vastaisi mahdollisimman hyvin käytännön pellettikaupan tarpeita. Pellettien hyvän laa-dun varmistaminen koko tuotanto-, jakelu- ja käsittelyketjun läpi on tärkeää, jotta pellettien käyttö lisääntyisi ja kilpailukyky paranisi.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on

- tuottaa tietoa suomalaisten puupellettien ominaisuuksista tuotanto-, jakelu- ja käsittelymenetelmien kehittämistä varten
- parantaa suomalaisten puupellettien käsittelyominaisuuksia
- kehittää puupellettien laadun määritysmenetelmiä, näihin perustuvia laatu-vaatimuksia sekä laadunvalvontaa kotimaan ja vientimaiden pellettikaupan tarpeisiin.

3. Toteutus

Pellettien laadunhallintaa tutkitaan pellettien tuotanto-, jakelu- ja käsittelyketjujen eri vaiheissa. Tutkimus jaetaan seuraaviin osatehtäviin:

- pellettien laadunhallinta tehtaalla
- pellettien laadunhallinta jakelussa
- pellettien laadunhallinta käsittelyssä.

3.1 Pellettien laadunhallinta tehtaalla

Pellettien ominaisuuksien analysoimiseksi pellettitehtailta kerätään systemaattisesti aineistoa raaka-aineesta, prosessiolosuhteista sekä valmiista tuotteesta. Pellettien hienoaineksen määrä mitataan ja käsittelyssä muodostuvan hienoaineksen syntymisherkkyyttä arvioidaan pellettien raaka-aineen, palakoon, kosteuden, irtotiheyden ja käsittelykestävyyden mukaan.

Pellettien ominaisuuksien riippuvuutta arvioidaan pellettien raaka-aineen ja prosessiolosuhteiden mukaan. Analyysien perusteella määritetään pellettien tuotantoketjun kriittisimmät kohdat, joilla on merkitystä pellettien käsittelyominaisuuksiin ja hienoaineksen syntyyn. Aineiston perusteella luodaan perustietoa tehtaalla tapahtuvaa laadunvalvontaa varten.



Kuva 1. Pellettien sisältämä hienoaines voi haitata varastosiilojen sekä kuljetin- ja lämmityslaitteiden toimintaa. Pellettien hienoaines määritetään 3,15 mm:n verkkoseulalla (DIN ISO 3310-1) käsin seuloen.



Kuva 2. Käsittelykestävyys kuvaa pellettien mekaanista lujuutta kuluttavia voimia vastaan. Käsittelykestävyys määritetään laitteella (Lignotester), jossa pellettejä rasitetaan ilmasuihkuilla.

3.2 Pellettien laadunhallinta jakelussa

Pellettien laadunhallintaa tarkastellaan erikseen puhallusauto- ja säkkitavarana jakelussa.

Käyttökokeilla selvitetään jakelukaluston rakenteiden ja purkutapojen vaikutusta pellettien jauhautumiseen ja pölyn muodostukseen. Kokeilla selvitetään kantoilman määrän, puhalluspaineen, puhallusputken pituuden, syöttökapasiteetin sekä pellettisiilon täyttöyhteiden rakenteiden ja sijoituksen vaikutusta pellettien murskautumiseen.



Kuva 3. Käyttökokeilla selvitetään puhallusautokaluston rakenteen ja purkutapojen vaikutusta pellettien jauhautumiseen.

Pellettien murskaantumista, jauhautumista ja pölyn muodostumista tutkitaan suursäkkien jakelun ja käsittelyn eri vaiheissa. Hienoaineksen syntyä arvioidaan pellettien keskeisimpien ominaisuuksien (kosteus, irtotiheys, palakoko, käsitteilykestävyys) mukaan. Käytännön jakeluketjuista saatavia tietoja verrataan laboratorio-oloissa tehtäviin mittauksiin.

3.3 Pellettien laadunhallinta käsittelyssä

Pellettien käsittelylaitteiden rakenteiden sekä asennustapojen vaikutusta pellettien murskautumiseen ja hienoaineksen syntyyn tutkitaan pellettien syöttökokeilla laboratorio-oloissa. Kokeet tehdään ominaisuuksiltaan erilaisilla pelleteillä. Laboratoriokokeita täydennetään käyttökohteista kerätyllä aineistolla.



Kuva 4. Pellettien syöttökokeilla selvitetään kuljettimen rakenteen ja asennustavan vaikutusta pellettien murskautumiseen.

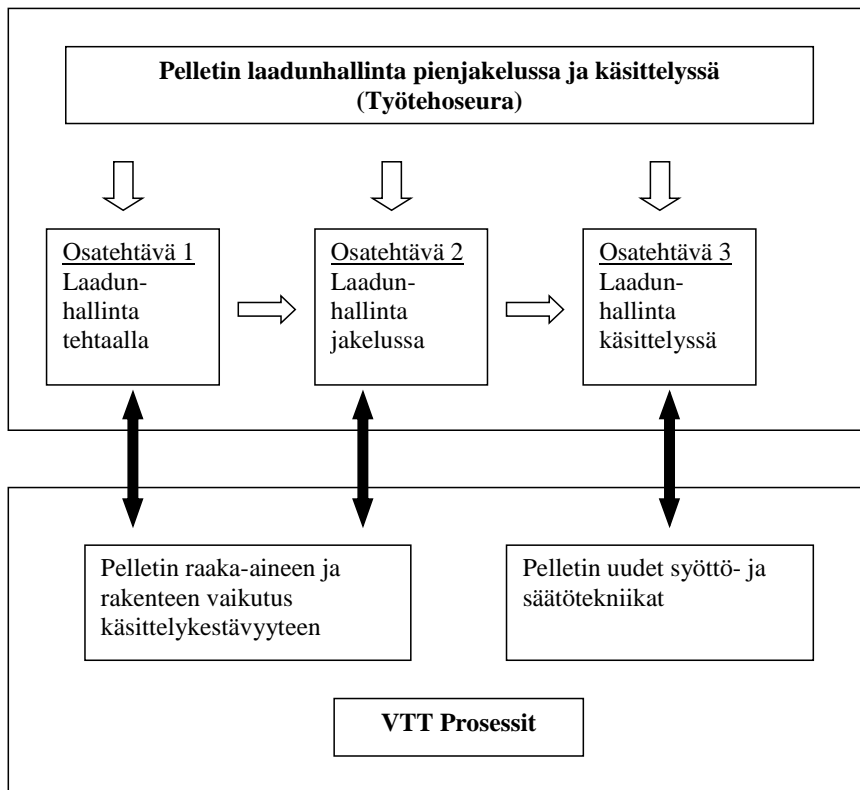
Hienoaineksen syntyä tutkitaan perinteisillä ruuvi- ja spiraalikuljettimilla. Kokeilla selvitetään ruuvin halkaisijan, nousun, pituuden, pyörimisnopeuden ja nousukulman sekä syöttöputken välyksen vaikutusta hienoaineksen syntyyn. Kokeilla selvitetään myös pellettien ominaisuuksien vaikutusta siirtoruuvien kapasiteettiin ja tehontarpeeseen. Siirtoruuvikokeita täydennetään pellettipoltinten kiinteiden syöttöruuvien ja sulkusyötinten toimintakokeilla.

3.4 Toteutusorganisaatio ja aikataulu

Projekti on yrityshanke ja siihen osallistuvat seuraavat yritykset: Biowatti Oy, Keurak Oy, Hehkupelletti Oy, Movere Oy, Kerustrans Oy, A.J.A Import Oy, Kari Nummela Oy ja Callidus Oy.

Tutkimuksen toteutuksen vastuuyksikkö on Työtehoseuran metsäosasto. Tutkimuksen vastuullinen johtaja on MMT, varatoimitusjohtaja Jouko Mäkelä. Projektipäällikkönä toimii dipl.ins., tutkimuspäällikkö Seppo Tuomi. Projektin käytännön toteutuksesta vastaavat insinööri, tutkija Jyrki Kouki ja insinööri, tutkija Kari Vuorio.

Projekti toteutetaan yhteistyössä VTT Prosessien kanssa. VTT Prosessien vastuhenkilö on tekn. lis., ryhmäpäällikkö Ari Erkkilä. Kuvassa 5 esitetään Työtehoseuran tutkimuksen liittyminen VTT Prosessien teknologiaohjelmassa käynnistämiin pellettitutkimuksiin (Puupolttoaineiden jakelu, käsittely ja laadun parantaminen pienkäytössä – PUUT30).



Kuva 5. Työteho-seuran projektiin osatehtävät ja niiden liittyminen VTT Prosessien teknologiaohjelman pellettitutkimuksiin.

Tutkimus valmistuu 31.12. 2003.

4. Tulokset

Tulokset raportoidaan myöhemmin.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Tutkimus antaa tietoa suomalaisten puupellettien ominaisuuksista pellettien tuotannon, jakelukuluston ja käsittelymenetelmien kehittämisen pohjaksi. Tutkimus lisää puupelletteihin liittyvää teoreettista ja käytännön osaamista Suomes-

sa sekä luo yhteistyökontaktit Suomen kannalta tärkeimpien pellettien vientimaiden, Tanskan ja Ruotsin tutkimuslaitoksiin.

Tulokset hyödyttävät pellettien tuottajia, jakelu- ja kuljetusyrityksiä sekä pellettien poltto- ja käsittelylaitteiden valmistajia. Tulosten pohjalta yritykset voivat kohdistaa tuotekehitystyönsä tehokkaammin kilpailukykyisempien tuotteiden saamiseksi koti- ja vientimaiden tarpeita varten. Tutkimuksella tuetaan Kansallisen ilmasto-ohjelman toteuttamista ja pellettiliiketoiminnan kasvua.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Tutkimusaineiston keräystä ja analysointia jatketaan. Tuloksista laaditaan väli-raportti vuoden 2002 loppuun mennessä.

Kirjallisuus

Ahonen, M., Liikanen, J. & Nalkki, J. 2001. Pellettilämmityksen käyttöseuran-tatutkimus. Tutkimusraportin lyhennelmä. Motivan julkaisu.

Tuomi, S. 2000. Puulämmitys pelleillä. Työtehoseuran metsätiedote 617.

Tuomi, S. 2000. Pelleteistä uutta kipinää puulämmitykseen. Teho 1, s. 13–14.

Tuomi, S. 2001. Kotimaisten puupellettien ominaisuudet. Työtehoseuran metsä-tiedote 639.

Tuomi, S. 2001. Kotimaisten puupellettien ominaisuudet vertailussa. Teho 4, s. 4–6.

Tuomi, S. 2001. Suomessa valmistettujen puupellettien laatu keväällä 2001. Koneviesti 11, s. 16–18.

Tuomi, S. 2001. Tarvitaanko puupelletille suomalaiset laatuohjeet?. Koneviesti 11, s. 16.

- Tuomi, S.* 2001. Puupellettien käsittelyominaisuudet. *Koneviesti* 12, s. 20–22.
- Tuomi, S.* 2002. Itävalta pellettien laadunhallinnan edelläkävijä. *Teho* 1, s. 41–43.
- Tuomi, S.* 2002. Pellettien tuotanto ja jakelu. *Oppia Itävallasta*, osa 1. *Koneviesti* 3, s. 38–39.
- Tuomi, S.* 2002. Pellettien varastointi ja käsittely. *Oppia Itävallasta*, osa 2. *Koneviesti* 4, s. 38.
- Tuomi, S.* 2002. Pellettien polttoteknologia. *Oppia Itävallasta*, osa 3. *Koneviesti* 5, s. 38–40.
- Tuomi, S.* 2002. Nuohoojista ja LVI-asentajista puulämmityksen asiantuntijoita. *Koneviesti* 5, s. 40.
- Tuomi, S.* 2002. Puupellettien raaka-aineet puhtaita. *Puuenergia* 1, s. 18–19.
- Tuomi, S.* 2002. Itävallassa kehitetään pellettilämmitystä. *Puuenergia* 1, s. 24–25.
- Tuomi, S.* 2002. Pientalojen pellettilämmitystä kehitetään Itävallassa. *Teho* 4.
- Tuomi, S. & Kouki, J.* 2001. Puupellettien käyttö kiinteistöjen lämmityksessä. *Työtehoseuran julkaisuja* 383. 69 s.
- Tuomi, S. & Alakangas, E.* 2002. Pellettien tuotanto ja käyttö Itävallassa. Tutustumismatka ja pellettiseminaari Salzburgissa 6.–11. marraskuuta 2001. *OPET matkaraportti* 2/2001. 34 s.

Pilkkeen tuotantoprosessin hallinta ja kehittäminen – PUUY30

Kalle Kärhä
Työteho-seura ry
PL 28, 00211 Helsinki
Puh. (09) 2904 1424, faksi (09) 6922 084
e-mail: kalle.karha@tts.fi

Abstract

Project title in English: The management and development of the chopped firewood production process

The main aim of the research project is to improve competitiveness by reducing the production and distribution costs of chopped firewood and raising the quality of chopped firewood, and also to increase the use of bioenergy to the target level of the Renewable Energy Sources promotion programme. The aim is to attain the goal through four subprojects: 1. The Productivity, Costs and Development Targets of New Firewood Machines, 2. The Artificial Drying and Storage Management of Chopped Firewood, 3. New Logistic Solutions for the Chopped Firewood Production Process, and 4. The Current Situation of the Firewood Trade in Europe.

The research project will cover the development of an automatic wood feeder for firewood sawing machines, an analysis of the productivity of new firewood machines and the costs and quality of produced chopped firewood. Suggestions will be made to firewood machine manufacturers for developing firewood machines, the drying process will be modelled for artificial drying, and the functionality of a theoretical drying programme will be tested under field conditions. Also, instructions will be prepared for building a chopped firewood drier, the cost-effectiveness of current chopped firewood distribution chains will be studied, and it will try to find cost saving methods in distribution chains through different kinds of logistic solutions. Furthermore, a survey will be carried out on

the volume of firewood sales and the firewood production equipment available for sale in Europe, and the European firewood merchants' methods of operation will be studied.

1. Tausta

Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman tavoitteena on lisätä bioenergian pienkäyttöä 45 % vuodesta 1995 vuoteen 2010 (Uusiutuvien energialähteiden... 1999). Polttopuun osalta ohjelman tavoitteet merkitsevät 8,1 miljoonan m³:n käyttöä vuonna 2010. Jotta ohjelman tavoitteet kyettäisiin toteuttamaan, polttopuun pienkäyttöä olisi lisättävä 2,5 miljoonaa m³ vuoteen 2010 mennessä. Jotta pienkäytön tärkeimmän polttopuulajin, pilkkeen, käyttöä pystyttäisiin lisäämään, pilkkeen tuotantokustannuksia on kyettävä laskemaan ja nostamaan pilkkeen laatua.

Vuonna 1995 yli 50 m³ vuodessa myyviä polttopuukauppiaita oli Suomessa 500–550 kappaletta (Salakari 1996). Kuluneen runsaan viiden vuoden aikana polttopuukauppioiden määrä lienee kasvanut, mutta tuoretta tietoa polttopuukauppioiden yleisyydestä ei ole. Samoin puuttuu uusi, tutkittu tieto polttopuukauppioiden toimintatavoista.

Niin ikään Suomessa on tehty varsin vähän kartoituksia myynnissä olevasta polttopuun tuotantokalustosta. Viimeisin kattava kartoitus on vuodelta 1994 (Mutikainen 1994). Yhtä vähän on tehty vertailuja eri konevalmistajien pilkekoneiden tuottavuudesta ja eri koneilla tuotetun pilkkeen laadusta. Vuonna 1982 Ryyänen ja Turkkila (1982) tekivät laajahkon selvityksen, jossa oli mukana viiden eri pilkekonevalmistajan koneita. Tämän jälkeen on tehty lähinnä suppeita pilkekoneiden tuottavuustutkimuksia.

Polttopuukauppiiaan tai pilkkeitä itse valmistavan maanviljelijän tai kesämökkiläisen tehdessä pilkekoneen hankintapäätöstä tutkittu tieto eri koneiden ominaisuuksista – esimerkiksi mikä on tuottavuus erilaisilla raaka-aineilla, mitkä ovat tuotetun pilkkeen kustannukset, miten turvallisuusnäkökohdat on otettu huomioon koneessa ja mikä on tuotetun pilkkeen laatu – auttaisi investointipäätöstä tehdessä. Mainittu tutkimus voisi tuoda esille myös potentiaalisia kehittämisskohteita nykyisissä pilkekoneissa.

Kymmenen viime vuoden aikana pilkekoneita on kehitetty voimakkaasti. Koneiden tuottavuutta on pyritty nostamaan mm. kehittämällä koneiden syöttölaitteita. Muutamassa markkinoilla olevassa viiltäväteräisessä pilkekoneessa on automaattinen puun syöttö. Sahaavissa koneissa automaattista puun syöttöä ei ole kuin Palax Monster -pilkekoneessa. Sahaavien pilkekoneiden varustaminen automaattisella syöttölaitteella nostaisi koneiden tuottavuutta merkittävästi ja helpottaisi huomattavasti niillä tehtävää työtä.

Luonnonkuivaus on ollut perinteinen pilkkeiden kuivaustapa. Sen haittana kaupallisessa pilketuotannossa on varaston kierron hitaudesta johtuvat suuret pääomakustannukset (Kouki 2001). Lisäksi ongelmia aiheuttavat pilkkeiden laadun vaihtelu, kuten epätasainen kuivuminen, home- ja ulkonäköhaitat sekä tuotannon joustamattomuus kysynnän vaihteluihin. Keinollisella kylmäilmakuivauksella ja kunnollisella varastoinnilla pilkkeen laatu voidaan varmistaa, varaston kiertoa nopeuttaa ja varastotilojen tarvetta vähentää. Mahdollinen lisälämmön käyttö tai terminen kuivaus tuovat joustavuutta tuotantoon ja mahdollistavat pilketuotannon ympärivuotisuuden kysyntätilanteiden mukaan. Pilkkeen tuottaminen vientiin edellyttää kuivureiden käyttöä korkean laadun varmistamiseksi.

Pilkkeen keinokuivausta on tutkittu hyvin vähän. Kesällä 2000 Työtehoseura tutki siirrettävän, kevytrakenteisen pilkekuivurin toimintaa (Kouki 2001). Laboratorio-olosuhteissa pilkkeen keinokuivausta ei ole tutkittu, ja eri tekijöiden (mm. ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, tuotetun pilkkeen kosteus ja raaka-aine, lisälämmön määrä sekä ilman kiertoratkaisut) vaikutusta pilkkeen kuivausprosessiin ei tunneta. Kustannustehokkaan keinokuivauksen järjestämiseksi pilkkeen keinokuivausprosessi pitäisi mallintaa ja laadittua keinokuivausohjelmaa testata kenttäolosuhteissa.

Valtaosa ostopilkkeestä menee kuluttajille irtotavarana. Pilkkeen tuotantoprosessin ja jakelun parempi integrointi voisi laskea tuotetun pilkkeen hintaa. Pisimmälle jalostettuna pilke menee kuluttajille pahvilaatikoihin tai rei'itettyihin muovipusseihin tai verkkopusseihin pakattuna. Nykyään pienpakkaukset tehdään käsin. Pilkkeen koneellinen pakkaus voisi tuoda kustannussäästöjä tuotantoprosessiin (Kärkkäinen 2000). Kolmas vaihtoehto pilkkeen tuotantoprosessin rationalisoimiseksi voisi olla polttopuuterminaali, johon polttopuukauppiat toimittavat raaka-aineen. Terminaalissa pilkkeen valmistus tehdään tehokkailla koneilla

(Härkönen 2001), ja terminaalista pilke toimitetaan asiakkaille keskitetyillä kuljetuksilla.

2. Tavoitteet

Tutkimushankkeen päämääränä on parantaa pilkkeen kilpailukykyä laskemalla pilkkeen tuotanto- ja jakelukustannuksia ja nostamalla valmistetun pilkkeen laatua sekä lisätä osaltaan pilkkeen käyttöä Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman mukaisesti. Päämäärä pyritään saavuttamaan neljällä osaprojektilla. Tutkimushankkeen eri osaprojektien tehtävät ovat:

1. Uusien pilkekoneiden tuottavuus, kustannukset ja kehittämiskohteet

- kehitetään sahaaviin pilkekoneisiin automaattista puun syöttömekanismia,
- tutkitaan työntutkimuksen keinoin uusien, ammattimaiseen ja omatoimiseen käyttöön soveltuvien pilkekoneiden tuottavuutta ja tuotetun pilkkeen kustannuksia,
- analysoidaan uusilla pilkekoneilla tehtävän pilkkeen laatua,
- analysoidaan uusien pilkekoneiden työturvallisuutta ja ergonomiaa ja
- tehdään konevalmistajille ehdotuksia pilkekoneiden kehittämiseksi.

2. Pilkkeen keinokuivauksen ja varastoinnin hallinta

- mallinnetaan pilkkeen kuivausprosessi keinokuivauksessa laboratorio-oloissa (VTT:n tietokoneohjattu sää- ja olosuhdesimulaattori, ks. PUUT30),
- tutkitaan käytössä olevien pilkekuivureiden toimintaa ja kustannustehokkuutta,
- testataan laaditun, teoreettisen kuivausohjelman toimivuutta kenttäoloissa ja
- laaditaan ohjeet mitoitukseltaan ja toiminnaltaan optimaalisten pilkekuivureiden rakentamiseen.

3. Uudet logistiset ratkaisut pilkkeen tuotantoprosessiin

- kartoitetaan mahdollisuuksia vähentää pilkkeen käsittelykertoja pilkkeen tuotantoprosessissa,
- selvitetään, miten nykyisin tehtävä käsin pakkaaminen voitaisiin tehdä koneellisesti,
- analysoidaan polttopuuterminaalien toimivuutta ja kannattavuutta ja
- selvitetään nykyisten pilkkeen jakeluketjujen kustannustehokkuutta ja pyritään löytämään keinoja kustannussäästöihin jakeluketjuissa.

4. Polttopuukaupan nykytila Euroopassa

- kartoitetaan polttopuukaupan volyymi Euroopassa,
- selvitetään myynnissä oleva polttopuun tuotantokalusto Euroopassa ja
- kartoitetaan eurooppalaisten polttopuukauppioiden toimintatapoja.

3. Toteutus

3.1 Yhteistyökumppanit

Uusien pilkekoneiden tuottavuus, kustannukset ja kehittämiskohteet -osatutkimus toteutetaan kiinteässä yhteistyössä pilkekonevalmistajien kanssa. Seuraavat pilkekonevalmistajat ovat mukana pilkekonetutkimuksessa: Agromaster Oy, Maaselän Kone Oy ja Terästäkomo Oy.

Pilkkeen keinokuivauksen ja varastoinnin hallinta -osaprojektissa pilkkeen keinokuivauksen laboratoriotutkimukset tekee VTT Prosesstit (PUUT30). Työtehoseura testaa kuivausohjelman toimivuutta kenttäoloissa ja laatii yhdessä VTT Proseskien kanssa ohjeet mitoitukseltaan ja toiminnaltaan optimaalisten pilkekuivureiden rakentamiseen.

Uudet logistiset ratkaisut pilkkeen tuotantoprosessiin -osatutkimus toteutetaan yhteistyössä polttopuukauppioiden ja Tulipuu Oy:n kanssa. Työteho-seura koordinoi par'aikaa Euroopan Unionin rahoittamaa Smallfore-yhteistyöprojektia, jossa tarkastellaan puunkorjuun pienteknologiaa kolmessatoista maassa (Suomi, Ruotsi, Norja, Tanska, Viro, Iso-Britannia, Saksa, Tsekki, Itävalta, Italia, Espanja, Ranska ja Belgia). *Polttopuukaupan nykytilaa Euroopassa* -osatutkimus toteutetaan yhteistyössä Smallfore-tutkimushankkeen partnereiden kanssa.

3.2 Aikataulu

Tutkimushanke toteutetaan 1.1.2002–30.6.2004. Polttopuukaupan nykytilaa Euroopassa -osatutkimus työstetään valmiiksi vuoden 2002 aikana. Muut osatutkimukset on suunniteltu jatkuvaksi vuosille 2003–2004.

Pilkekoneiden työntutkimukset tehtiin huhti-toukokuussa 2002 Vihdissä ja Ylistarossa. Tutkimuksissa oli mukana kaksi hydraulihalkojaa (Hakki Pilke Z-100, Palax Logsplit 60) ja kahdeksan katkonta-halkaisulaitetta (Hakki Pilke OH 60, Hakki Pilke 1X37, Hakki Pilke 2X, Palax 55, Palax Combi TSV E, Palax Monster 450, Pilkemaster, Superpilke 2000) (kuva 1). Pilkekonetutkimuksista raportoidaan syksyllä 2002. Katsaus polttopuun pilkontalaitteiden markkinatilanteeseen tehtiin toukokuussa 2002.



Kuva 1. Vihdissä tutkittiin yhteensä yhdeksää polttopuun pilkkomislaitetta, joista seitsemän oli katkaisu-halkaisulaitteita ja kaksi halkaisulaitteita. Kuvassa Maa-selän Kone Oy:n valmistama katkaisu-halkaisulaite. Kuva: Arto Mutikainen.

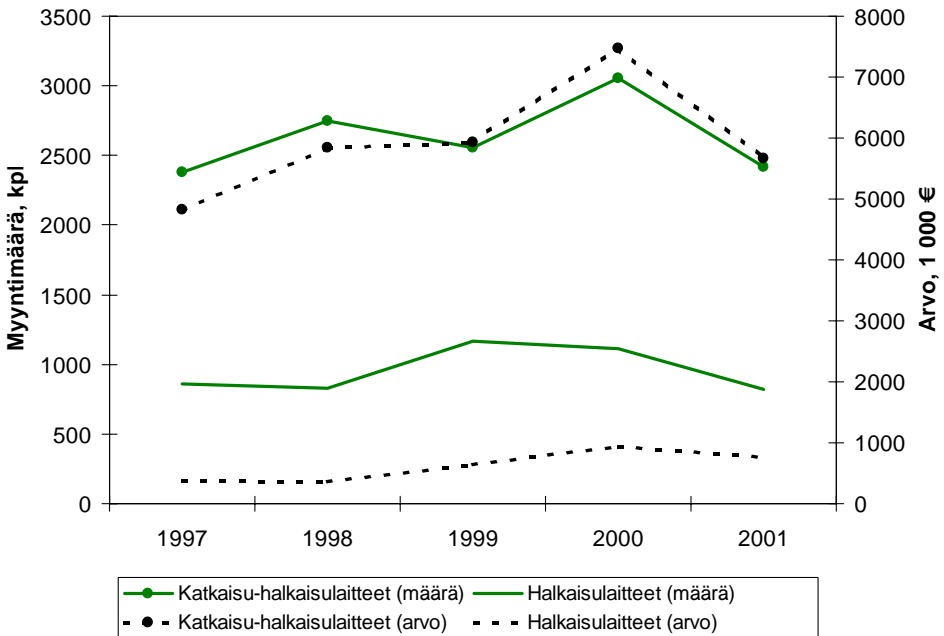
Metsälehti ja Koneviesti-lehdissä olleiden artikkelien avulla koottiin tietoa käytössä olevista pilkekuivureita ja kokemuksia kuivureiden käytöstä. Saaduista kontakteista valittiin kuusi tarkempaan tarkasteluun. Yhteen pilkekuivuriin asennettiin kosteusmittarit toukokuussa 2002. Muut viisi kuivuria tullaan tutkimaan vuoden 2002 ja alkuvuoden 2003 aikana.

Pilkkeen jakelukustannuksia tutkitaan kesällä 2002 polttopuukauppiaille lähettävällä kirjekyselyllä sekä myöhemmin syksyllä tehtävillä henkilökohtaisilla haastatteluilla. Polttopuukauppaa Euroopassa kartoitetaan kesän ja syksyn 2002 aikana. Aineistoa kootaan tilastoista sekä asiantuntijahaastatteluin.

4. Tulokset

Tehdyn polttopuun pilkotalaitetekatsauksen mukaan Suomessa on markkinoilla 14 konevalmistajan pilkkomislaitteita. Laitemalleja oli yli 80. Katkaisulaitteita oli vain kolme, halkaisulaitteita kolmisenkymmentä ja katkaisu-halkaisulaitteita nelisenkymmentä. Laitteiden hintahaarukka oli 500–66 000 euroa.

Pilkotalaitteita myytiin MTT/Vakolan tilaston mukaan vuonna 2001 runsaat 3 200 kappaletta, josta kolme neljäsosaa oli katkaisu-halkaisulaitteita, ja myynnin arvo oli 6,6 miljoonaa euroa (kuva 2). Viiden viime vuoden aikana pilkotalaitteita on myyty keskimäärin 3 600 laitetta/vuosi.



Kuva 2. Polttopuun pilkotalaitteiden myyntimäärät ja myynnin arvo vuosina 1997–2001 (Maatalous- ja metsäkoneiden... 2002).

Ilmestyneet julkaisut

Kärhä, K. & Kouki, J. 2002. Pilkkeen keinokuivausta aletaan tutkia. Koneviesti 50(7), s. 21.

Mutikainen, A. & Kärhä, K. 2002. Polttopuun pilkontalaitteet vuonna 2002. Summary: Firewood processing devices in Finland 2002. Työtehoseuran metsätiedote 649.

Kirjallisuus

Härkönen, H. 2001. Palax Monster -klapitehdas. Harrastelusta tositoimiin. Koneviesti 49(16), s. 24–25.

Kouki, J. 2001. Pilkekuivurilla hyvälaatuista polttopuuta. Teho 4, s. 29–30.

Kärkkäinen, M. 2000. Haasteita koneiden valmistajille. Käytännön Maamies 6, s. 64.

Maatalous- ja metsäkoneiden myynti vuosina 1997–2001. 2002. MTT/Vakolan tilastot.

Mutikainen, A. 1994. Polttopuun pilkontalaitteet vuonna 1994. Summary: Firewood preparation devices in 1994. Työtehoseuran metsätiedote 529.

Ryynänen, S. & Turkkila, K. 1982. Halkojen ja rankojen pilkontakoneet. Summary: The chopping machines for firewood billets and long logs. Työtehoseuran metsätiedote 357.

Salakari, M. 1996. Metsänhoitoyhdistykset polttopuukaupan arvioijina. Summary: The local forest associations as estimators of the fuelwood market in Finland. Työtehoseuran metsätiedote 560.

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. 1999. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisu 4.

Kansainväliset projektit

Cofiring of biomass and coal – PUUT21

Veli-Pekka Heiskanen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 611, faksi (014) 672 596
e-mail: veli-pekka.heiskanen@vtt.fi

Tiivistelmä

Projektissa tutkitaan biopolttoaineen ja hiilen seospoltoa sekä siihen liittyviä tekijöitä ja niiden vaikutuksia. Suomessa seospoltosta ollaan kiinnostuneita mm. Kioton sopimuksen Suomelle asettamien velvoitteiden vuoksi. Lisäksi Suomessa on vielä paljon hyödyntämätöntä biopolttoainepotentiaalia, jota voitaisiin käyttää niissä yli kymmenessä voimalaitoksessa, jotka tällä hetkellä käyttävät pelkästään hiiltä polttoaineena. Seospolto tarjoaa myös muita etuja, mm. lähes kaikkia päästöjä voidaan vähentää pelkän hiilen polttoon verrattuna sekä korvata tuontipolttoaineita kotimaisilla.

Projektin tavoitteena on selvittää biopolttoaineen hyödyntämistä seospoltossa. Seospoltoa tutkitaan tällä hetkellä varsinkin USA:ssa, jossa olevien National Energy Technology Laboratory'n (NETL) ja Stanfordin yliopiston kanssa tehdään projektissa yhteistyötä. Projektin yhtenä tavoitteena onkin luoda tutkimusyhteistyötä suomalaisten ja amerikkalaisten tutkimuslaitosten välille.

Projekti sisältää useita osatehtäviä. NETL:ssä VTT:n tutkija on perehtynyt USA:ssa meneillä oleviin seospolttoprojekteihin ja koonnut niistä kirjallisuus- ja tausta-aineistoa. Stanfordin yliopistossa on valmisteltu biomassan ja hiilen polttokokeita. Kokeiden avulla määritetään, miten polttoainepartikkelien palaminen etenee erilaisissa kaasuympäristöissä. Kokeilla määritetään mm. miten polttoaineen massa ja sen reaktiivisuus ja ominaispinta-ala muuttuvat palamisen edistyessä. Kokeet tehdään kuluvan vuoden elokuun loppuun mennessä.

Lisäksi on analysoitu mittaustuloksia CFB-laboratoriokoelaitteella tehdyistä kokeista, joilla tutkittiin biomassan vaikutusta rikin erotukseen. Tutkittuja seikkoja ja parametrejä olivat mm. kuoren osuus polttoaineseoksessa, Ca/S-suhde polttoaineessa, ilma-ylimäärä ja lämpötila nousuputkessa. Polttoaineseoksessa kuoren osuus oli 0, 30, 40 tai 50 % energiasta, jolloin rikin erotusasteeksi tuli 25–60 %. Nousuputken (pohja)lämpötilalla oli myös selkeä vaikutus rikin erotukseen n. 870–900 C:n kohdalla. Kalkkia käytettiin sorbenttina joissain kokeissa, vastaten Ca/S-suhteita 1–2. Rikin erotusaste oli tällöin 60–75 %.

Key words: sulphur emissions, sulphur removal, biofuels, biomass, peat, wood fuel, co-firing, fluidised bed combustion, pulverised fuel combustion

1. Introduction

The objective of the United Nations Climate Convention is to stabilise the concentrations of greenhouse gases in the atmosphere at a safe level. The emission reduction commitments for the period 2008–2012 were agreed in Kyoto in 1997 for the industrialised countries between the different parties to the Climate Convention. These commitments for Finland for instance, limit the greenhouse gas emissions not to exceed the level of 1990 during the mentioned period. On European level the greenhouse gas emissions should be reduced by 8 per cent within the period.

There are various measures to reduce greenhouse gases. An effective means is to replace fossil fuels with biomass that is considered neutral in regard to greenhouse effect. Co-firing of wood waste with coal in existing power plants reduces the emissions of fossil-based carbon dioxide and usually also the emissions of sulphur dioxide and nitrogen oxides. Wood waste is an “opportunity fuel” for electric power generating systems because it is usually inexpensive and environmentally friendly.

The most typical means to reduce SO₂ emissions in FB and CFB power plants is to use limestone as a removal sorbent. Unfortunately desulphurisation by limestone increases operating and ash disposal costs. The operating cost of limestone being used for desulphurisation is typically USD 1150/t_{SO₂} in fluidised bed combustion. It has been observed that it is possible to reduce sulphur emission by

adding wood into the peat combustion process. Sulphur dioxide emissions can be reduced, as the sulphur content of wood is very low and the alkaline ash of wood can bind sulphur dioxide formed from other fuels [1, 2]. The analysis of wood and peat ashes has shown that the calcium content of both ashes is relatively high, but the compositions of the compounds in the ashes differ from each other. The calcium in wood ash is mainly in the form of carbonates, which promotes the binding of sulphur to ash. Peat calcium is mainly in the form of sulfates.

Strict restrictions demand increasingly stronger means of reducing sulphur emissions formed in combustion. In Finland for instance, the new power plants of more than 50 MW_{fuel} have to meet the SO₂ emissions limit of 140 mg/MJ_{fuel}. It will probably be further decreased since a new suggested limit for SO₂ emissions in the European Union is 70mg/MJ_{fuel}.

2. Project objectives

The primary project objectives are to examine biomass use in co-firing, to gather existing information on it, and to accomplish the planned tests related to sulphur reduction, fuel reactivities and some other fuel characteristics in co-firing. On a more general level, the project for its part aims to increasing co-operation between Finnish and American energy research institutes. The research is being made in cooperation between Technical Research Centre of Finland, NETL, and Stanford University.

3. Project tasks and implementation

Biomass and coal co-firing including main related factors and effects are examined in the project. In Finland co-firing is of present interest primarily because of the Kyoto Protocol and its commitments for Finland. In addition, co-firing brings other benefits like usually lower emissions of sulphur and nitrogen oxides, and an option to replace imported fuels with domestic ones. For these reasons, replacing of coal with biomass and its associated effects are studied in this project.

Project consists of several subtasks. In NETL, a researcher from VTT has obtained information on the state-of-the-art of co-firing, on American co-firing projects and on their results and experiences. In addition, the measurement results from the tests with a CFB combustor have been analysed. The tests and analysis deal with sulphur reduction in co-firing. In Stanford University, co-firing tests are about to be started. Co-firing tests include fuel reactivity and specific surface area measurements and they will be carried out by the end of August, 2002.

4. State-of-the-art/Co-firing

Co-firing is defined as simultaneous combustion of different fuels in the same boiler. Especially if biomass is used in co-firing, it represents one alternative for reducing greenhouse gas emissions as well as most other emissions. Coal and biomass co-firing has been successfully demonstrated in all kind of coal boilers including pulverised coal boilers, cyclones, stokers, and bubbling and circulating fluidised beds [3]. On European level biomass has been used, in addition to domestic use, mainly in fluidised bed and grate boilers, especially in Sweden and Finland. However, it is quite rarely combusted with coal or other fossil fuels in those boilers. Pulverised fuel co-firing is extensively studied in Europe and U.S, but practically not at all in use yet.

In the U.S., several co-firing demonstrations have been carried out or are being carried out, mainly based upon programs sponsored by the U.S. Department of Energy. By the year 2000, co-firing studies and tests had been conducted at 10 boiler plants. Pulverised fuel co-firing was tested at eight of these plants [4]. Encouraged by the results of these tests, commercial demonstrations have started at several locations including the Seward and Greenidge stations (coal/wood, wood waste). The Seward generating station has been used to demonstrate moderate percentage co-firing in a wall-fired boiler, injecting biomass separately into the boiler without introducing it through the pulverizers [5, 6]. Biomass is injected into the center of the coal flame and burned there. At the Seward station, sawdust was co-fired up to 7% on an energy basis. Co-firing sawdust with separate injection had no impact on boiler capacity. Boiler efficiency decreased about 0.5% when maximum biomass fraction in fuel blend was used. The major impact was on emissions, where co-firing had favorable results. SO₂ emissions

decreased in proportion to the co-firing percentage, NO_x emissions decreased clearly more. The major single problem was unburned carbon in the bottom ash [5]. The authors believe that its fraction could be reduced through burner design.

At the Greenidge station an existing coal burner was removed and replaced with a wood fuel pipe. Biomass is only screened and transported and fed then to the burner [7]. Biomass is screened to have a maximum particle size of 1/8 inch. Its fraction in the fuel blend has been about 10% at maximum. Biomass fuels include sawdust, furniture factory wood residues, and chipped pallets. Willow energy crop fuels have been test-fired also. However, in 1999 for instance, nearly all of the plant's wood supply was coming from two furniture manufacturers. Co-firing has not affected the boiler capacity, mainly since the boiler can maintain full load with one burner out of service. The SO_2 and NO_x emissions were decreased like at the Seward station and to about same extent as at the Seward station. Fly ash analysis indicated that unburned in it increased during wood co-firing to 3.1–4.3%, from a coal-only range of 2.8–3.8%. However, no adverse impacts were seen in the fly ash that would make it unmarketable. Operation of the ESP was not impacted by the addition of the wood fuel. Stack opacity remained at pre-test levels of 9–14%. Co-firing has continued several years at the Greenidge station. Presently, extensive research and demonstration projects are underway at many power plants like Albright and Willow Island stations for instance. At the Albright station, no mixing of biomass and coal will occur prior to injection into the boiler, whereas at the Willow Island station the fuels will be pre-mixed.

The potential for utilizing biomass as a reburn fuel for nitrogen oxides control has been studied, among others, by Harding et al. [8]. NO_x reductions of as high as 70% were obtained when wood fuel accounted for 10–15% of the total heat input. The highest reductions were found at a reburn stoichiometric ratio of 0.85. At slightly higher ratios the effect decreased substantially.

In Europe, Elsamprojekt in Denmark has conducted a number of biomass co-firing experiments and demonstrations like the demonstration at the Studstrup power station. At the Studstrup plant straw has been co-fired up to 20% on an energy basis. Straw was fired through the core pipe of the burner. It was possible to burn straw without any major problems. Corrosion increased slightly, but not more than if medium-corrosive coal would have been used. Slagging increased

with increasing straw fraction [9, 10, 11]. Pedersen et al. report similar results concerning the slagging based on the 250 MW boiler tests [12]. If sawdust or some other wood-based fuels will be used as biomass fuels in a boiler, similar slagging or corrosion problems are not anticipated. This is due to low alkali and chlorine contents in sawdust.

The EPON 635 MWe power plant in the Netherlands has been co-firing pulverised wood waste with coal since 1998. A separate handling process has been installed for the wood waste and there are 4 separate burners for its combustion in the boiler. Wood waste, consisting of forestry and demolition waste, accounts only for about 4.5% of the total power output. Its particle size should not exceed 800 μm causing that only 15% of the particles pass a classifier and a sieve whereas the larger particles have to be returned to the grinder. In addition, wood waste handling and combustion have been implemented in a relatively complicated way, which has increased the energy production costs. However, the plant reports substantial savings in comparison to coal combustion. Reduced emissions of CO_2 , SO_2 , NO_x and fly ash are also reported [13]. On the other hand, the abovementioned limitations and flaws could be avoided. Wood fraction in fuel blend and its particle size could be higher and the handling process more advanced and simpler resulting in lower investment costs. Emissions could be still reduced by using chemically or otherwise untreated, clean wood fuel.

Co-firing tests of sawdust and coal have been carried out at Fortum's 315 MW plant in Finland. Coal and sawdust were blended in the coal yard, and the mixture was fed into the boiler through coal mills [14, 15]. Several test periods indicated that sawdust moisture, up to 65%, did not cause any problems as the wood fraction in fuel blend did not exceed 4% on an energy basis. The co-firing tests were successful in all respects excluding the behaviour of the coal mills that caused problems. Milling capacity limited wood fraction in fuel blend to the mentioned percentage. In addition, milling of the fuel blend increased fuel particle size in comparison to coal milling and caused smoke formation.

5. Sulphur reduction in CFB co-firing

5.1 Laboratory-scale tests

5.1.1 Experimental facility

Figure 1 shows a schematic figure of VTT's CFB combustor. Thermal output of the CFB reactor is 50 kW and less depending on fuel characteristics. The reactor has air/water-cooled refractory lining at the lower part of ceramic freeboard area. At the upper parts there are electrical heaters for maintaining required temperatures along the reactor. This kind of cooling and heating system allows stable conditions during combustion tests. Combustion temperature and emission formation can be controlled by air staging between the primary and the secondary air. The mass flow rates of primary and secondary air are controlled and measured with thermal mass flow meters. Steady temperature distribution along the riser is maintained with the aid of circulating material.

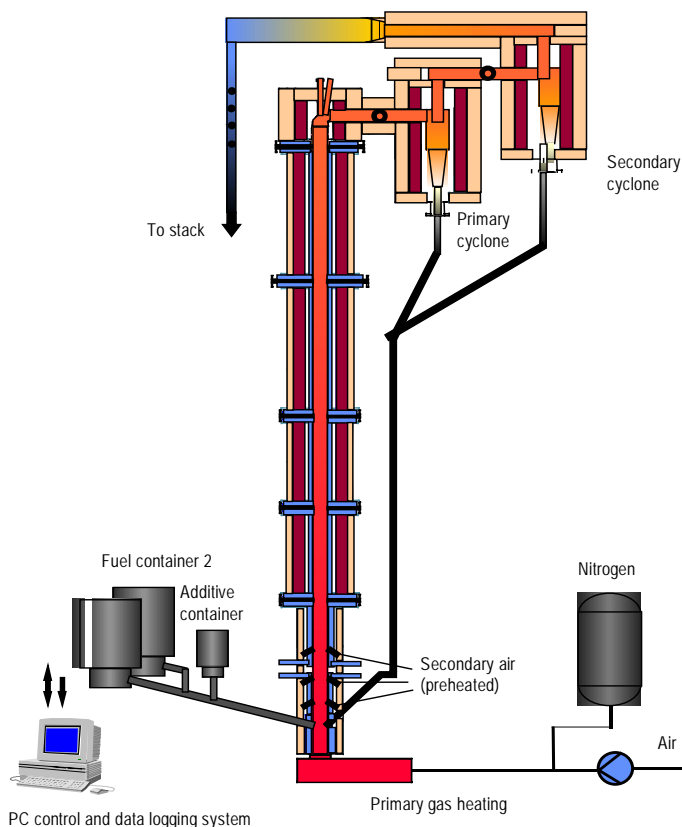


Figure 1. VTT's CFB test reactor.

The diameter of the riser is 0.17 m and its length is 8.0 m. Due to the 8-m riser height, a sufficient residence time is achieved with moderate flue gas velocity. The CFB reactor has two cyclones. The primary cyclone is the separator of bed material for circulation whereas the secondary cyclone is used for separation and recirculation of fly ash if needed. Cyclone ashes can be collected for further analysis. The sampling ports for fly ash are located in a vertical pipe after the reactor. There are several measurement ports for FTIR gas analysis and conventional on-line gas analysers in flue gas duct.

Fuel feeding system of the CFB reactor is designed for co-firing of different types of fuels; coal, peat, biomass and recycled fuels. There are two fuel tanks;

one for coal and another for biomass and other fuels that have lower densities than coal. The fuel blend is fed into the fluidised bed using a screw feeder.

5.1.2 Fuel characteristics and test parameters

The main variables in the experiments were riser temperature, excess of air, bark fraction in fuel feed, Ca/S ratio and coal type. Their effects on the desulphurisation were determined with several tests. Table 1 shows how main parameters were varied in the tests. Other variables in the tests were thermal output and limestone calcination conditions. Output (measurement based on gas flow rate and its temperature) was varied between 20 and 50 kW. Gas flow rate and particle size in bed material are slightly lower than in full-scale CFB combustion.

Table 1. Experimental conditions for CFB tests.

Fuel feeding rate	3–4.5 kg/h
Temperature	820–930°C
Air ratio	1.2–1.6
Gas flow rate at riser	2.0–3.5 m/s

The experimental program also included limestone addition tests with varying Ca/S ratio. Ca/S ratio was varied between 1.0 and 2.0 in the tests. The combustion experiments were performed using fuel blends as listed in Table 2 where main fuel characteristics are also presented.

Table 2. Fuel blends tested in laboratory-scale CFB.

Fuel blends	Fuel ratio (energy basis)	Limestone addition tested	
Polish coal + bark	100/0	x	
	74/26		
	63/37	x	
	48/52		
South African coal + bark	100/0	x	
	68/32		
US coal + bark	100/0	x	
	76/24		
	60/40	x	
Fuel/Fuel characteristic	S content, %	Lower heating value, MJ/kg	Moisture, %
Polish coal	0.73	29.14	12.8
South African coal	0.65	27.06	10.7
U.S. coal	1.87	31.44	8.0
Bark	0.05	20.47	60.7

Sulphur content and lower heat value determined on a dry basis.

Contents of CO₂, CO, O₂, NO and SO₂ in flue gas were measured in each test. In addition, bottom and fly ash samples as well as samples from the circulating material were taken. These samples were analysed with XRF to check mass balances for sulphur and contents of the other relevant components.

5.1.3 Test results

Sulphur retention without bark or limestone addition: The results are presented in Figure 2a where the sulphur retention is shown as a function of calcium content in coal ash. The average combustion temperature during these tests was around 850°C. The results indicate poor sulphur retention activity of US coal.

When this coal was combusted alone without additional bark or limestone addition the conversion of fuel sulphur to SO_2 was about 95%. With Polish coal the measured SO_2 emissions corresponded 74% conversion, being 374 mg/MJ. South-African coal showed even higher autodesulphurisation activity.

US coal has high sulphur and low calcium content resulting in poor autodesulphurisation whereas South-African coal with high calcium content could bind almost 50% of sulphur in ash. According to the thermogravimetric studies South African coal contained higher amounts of calcium carbonate compared to other coals. This can explain partially the observed high retention of sulphur in ash during combustion. Moderate sulphur retention of Polish coal may be at least partially due to a higher percentage of sulphates that do not decompose during combustion.

Figure 2b presents the same results as Figure 2a, but now the ordinate axis shows how many moles sulphur has been removed per every Ca mole in fuel feed (upper curve). If calcium could form only CaSO_4 or other compounds which contain as many moles calcium and sulphur and all calcium would react, ordinate value would be 1. Thus Figure 2b indicates that if the previous assumption is valid, all calcium will not react with sulphur (Polish and South African coals) and on the other hand that a significant fraction of sulphur can be removed in compounds which do not contain calcium (US coal).

In the lower curve in Figure 2b, other relevant ash constituents (Na, K, Mg) in addition to Ca has also been taken into account. The overall amounts of these two alkali and alkaline earth metals are high enough to bind all the sulphur that has been removed, even in case of US coal. If assumed that sulphur is bound primarily in these four elements, Figure 2b indicates that in case of US coal, roughly half of the removed sulphur is bound in Ca and the rest in three other constituents. Both Polish and South African coals contain enough calcium to bind all the removed sulphur and therefore it is not possible to estimate how much sulphur is bound in three other constituents. However, since $\text{Ca}/(\text{Mg}+0.5*(\text{Na}+\text{K}))$ ratios for Polish and US coals are almost exactly equal, probably in case of Polish coal also roughly half of the removed sulphur is bound in calcium.

Effect of bark on sulphur retention: Bark was blended with coal in different ratios to study how it affects sulphur retention. Intended coal/bark ratios on an energy basis were 100/0, 70/30, 60/40 and 50/50% for Polish coal and 100/0, 70/30 and 60/40% for other coals. The actual ratios in the tests were slightly different, as is shown in Table 2 and in Figure 3. Figure 3 shows the results obtained with Polish coal. Measured SO₂ emissions and riser temperatures are shown in the white boxes near markers.

As expected, sulphur retention increases as the bark fraction in feed increases. In the whole range from 0 to about 50%, the sulphur retention rises from about 26% up to 63%, SO₂ emissions decreasing correspondingly from about 370 to 110 mg/MJ. Figure 3 slightly indicates that the combustion temperature also affects sulphur retention. As the bark fraction was increased to 52% in fuel blend and the combustion temperature was retained moderate, the lowest SO₂ emissions without limestone addition were 106 mg/MJ.

Figure 4 shows the measured and calculated SO₂ emissions for Polish coal. The calculated line is hypothetical excluding the first data point. It shows how the SO₂ emissions would change as a function of bark fraction if the sulphur retention would stay in 26% like in case when there is no bark in fuel feed (first data point). Thus the difference between the calculated and measured emissions shows how much the SO₂ emission has decreased as a consequence of interaction between coal and bark. This is an additional decrease to the reduction that is a result of the higher bark fraction (solid line). For instance in the test where the bark fraction was 52%, the total SO₂ emissions reduction was 268 mg/MJ, of which the higher bark fraction accounted for about 64% and the interaction between coal and bark accounted for about 36%. In two other tests shown in Figure 4, the bark and coal interaction accounted for about 30 and 47% of the total emission reduction.

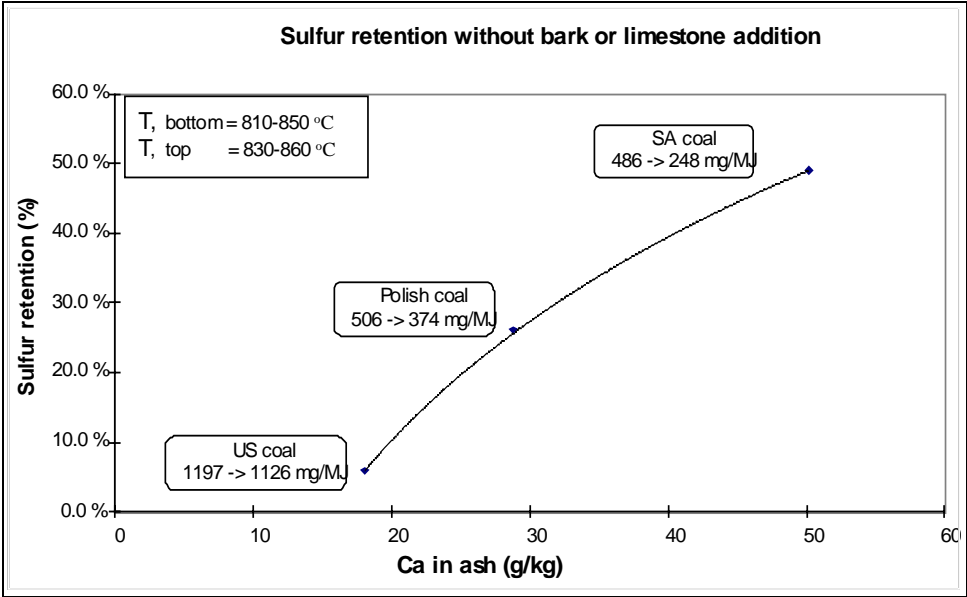


Figure 2a. Sulphur retention, CFB coal combustion tests.

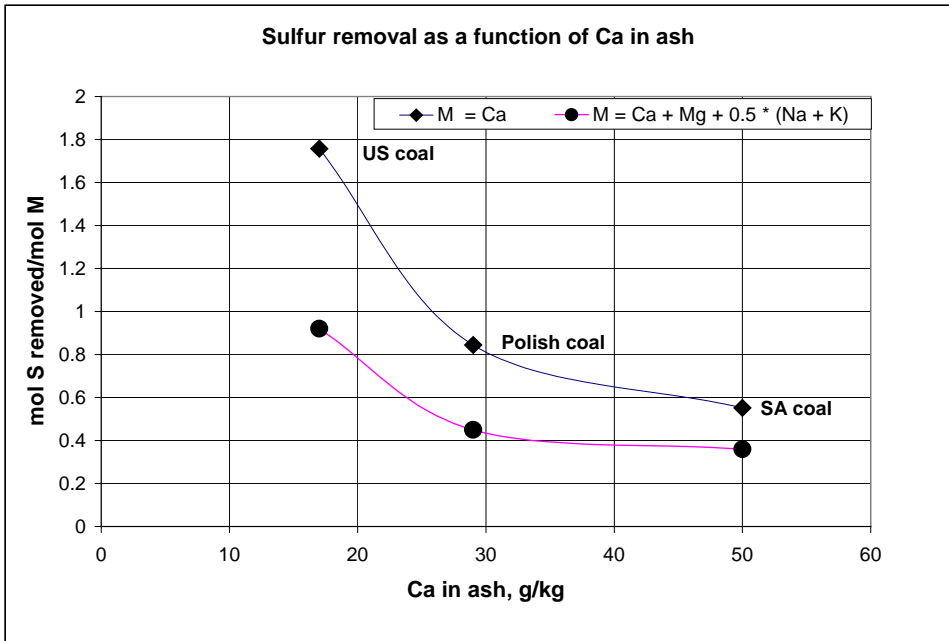


Figure 2b. Sulphur removal as a function of Ca in ash.

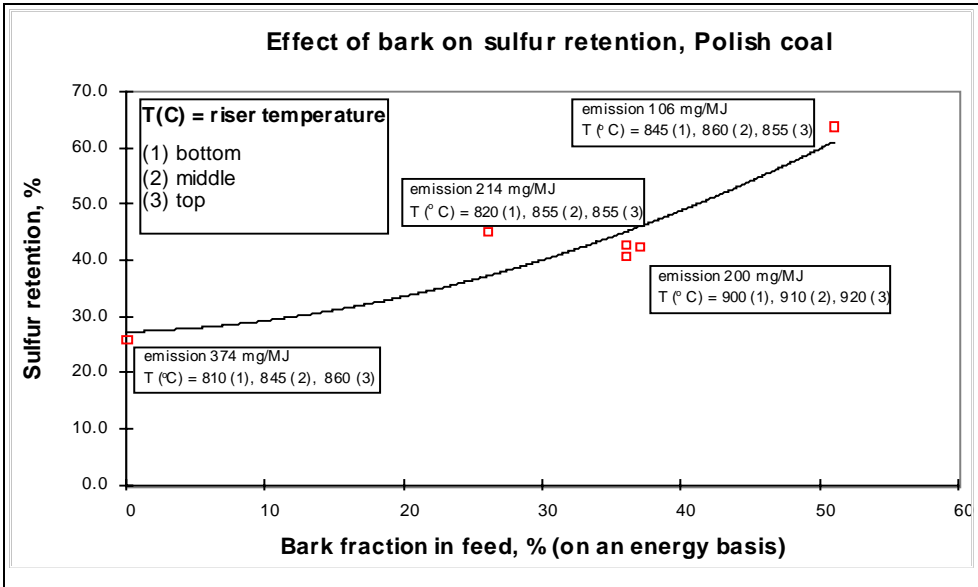


Figure 3. Effect of bark on sulphur retention, Polish coal.

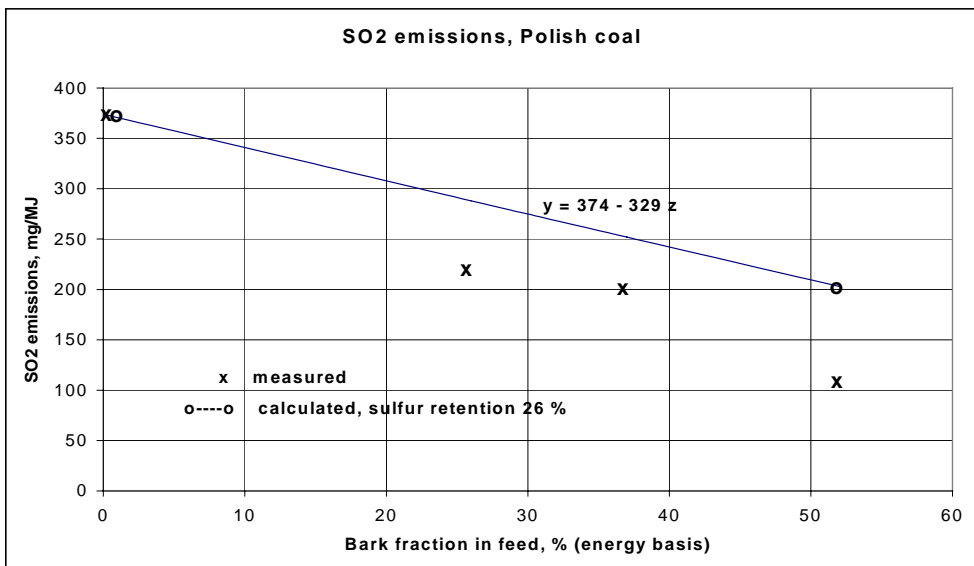


Figure 4. Measured and calculated SO₂ emissions, Polish coal. Calculated emissions are hypothetic corresponding sulphur retention 26% like in case when there is no bark in fuel feed (first data point on the left).

Bark addition in large-scale boilers may significantly alter combustion conditions in the freeboard section, since bark as biomass usually contains high amounts of volatile compounds. These volatiles may create strongly reducing conditions above the dense fluidised bed and consequently prevent the formation of CaSO_4 and other sulphur-containing compounds. In addition, variation in biomass feed and quality may also result in local reducing zones where the sulphated sorbent can be reduced (by CO or H_2 , for example) in the case of calcium to CaS or CaO , for instance. This is especially possible in large-scale boilers since mixing of bark and coal as well as mixing of fuel blend and combustion air is more complicated and usually more incomplete than in laboratory-scale reactors. To minimise the formation of local reducing zones, the fuel feeding system should be able to keep fuel feed as stable as possible. This also helps to prevent high local alkaline peaks that may cause various problems.

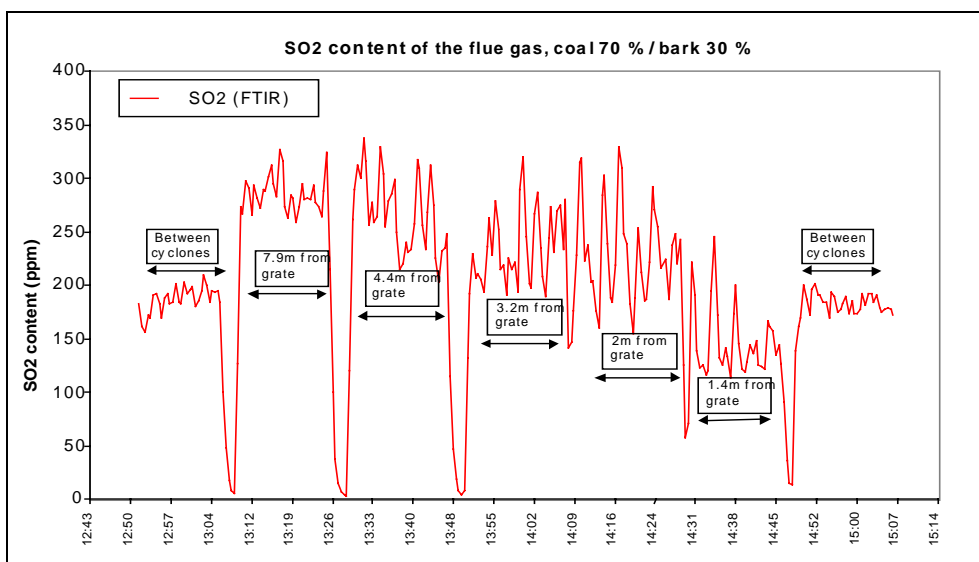


Figure 5. SO_2 distribution along riser when co-firing Polish coal with bark.

SO₂ distribution in the combustor: To study sulphur reduction mechanism more in detail, SO_2 profile was measured along the riser. The measurements showed that the cyclone acts as a very efficient section for the reactions between fly ash and sulphur dioxide. In this kind of small reactor the effect may be stronger as in large-scale boilers since the temperatures along the riser and in the cyclones are well controlled making the conditions for sulphur retention optimal. The results

are presented in Figure 5. In this particular case the SO₂ emissions decreased about one third when the gas passed the first cyclone.

Effect of temperature on sulphur removal: In the previous sections the effect of temperature on sulphur retention was briefly discussed. Co-firing tests of Polish coal and bark showed that as the bark fraction in fuel feed was increased from 26 to 37%, SO₂ emissions decreased but the sulphur retention was lower than expected, as seen in Figures 3 and 4. The reason for this seems to be the higher temperature in the riser tube. When the measured temperatures in the riser were between 820–855°C, the sulphur retention efficiency was some percent higher than when the temperatures were between 900–920°C, even though the bark fraction in fuel was lower.

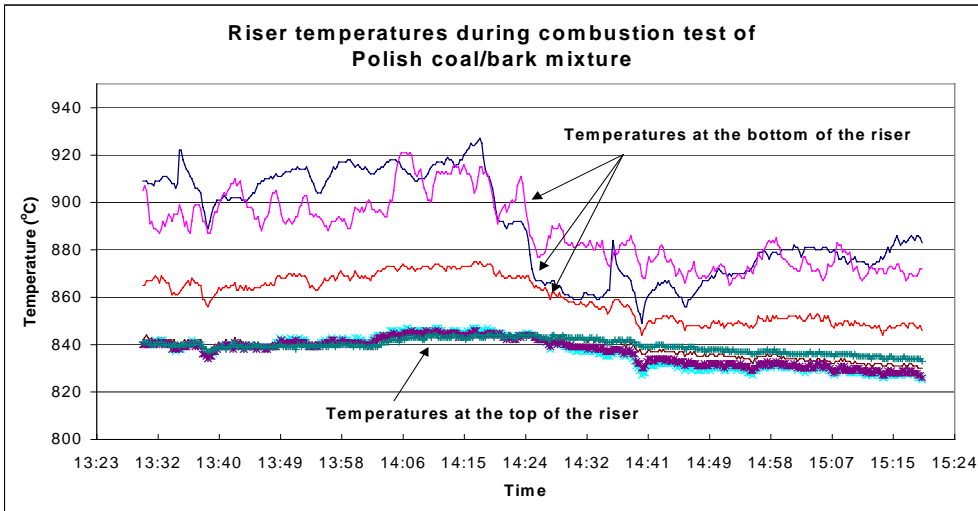


Figure 6. Temperature profiles in the riser in a combustion test of Polish coal/bark blend.

The effect of temperature was tested also by decreasing riser bottom temperatures. This was accomplished by adding nitrogen into primary air. Figure 6 shows the measured temperature profiles in the riser. When the temperature at the bottom of the riser was decreased from 900 to 870°C by diluting primary air, a sharp decrease in SO₂ emissions was observed at the same time, Figure 7. This behaviour was confirmed with additional tests. However, when the riser top temperature was raised up to 920°C, the temperature decrease of bottom tem-

peratures did not affect any more as much as Figure 7 shows. This probably depends on resulting higher temperature in the first cyclone. Reaction rates between fly ash constituents and sulphur oxides are consequently lower in the first cyclone and the overall SO₂ reduction slower.

Effect of Ca/S ratio on sulphur removal: The experiments included also tests of limestone addition on sulphur retention using variable Ca/S ratio. Ca/S ratio was varied between 1.0 and 2.0 in the tests. Figure 8 shows the results obtained in co-firing of Polish coal and bark blends. As expected, SO₂ emissions decreased when Ca/S ratio was increased. Sulphur retention could be increased from about 60 to 75% as Ca/S ratio was increased from 1.1 to 2.0. Figure 8 indicates like Figure 3 that the riser temperature affects sulphur retention to some extent, for instance the data points at Ca/S ratio 1.6.

Effect of flue gas oxygen content on sulphur reduction: As mentioned, excess of air is one variable that contributes to sulphur retention efficiency. Figures 9 and 10 show how air excess (correlated with oxygen content in flue gas) affects SO₂ emissions. Figure 9 shows the SO₂ emissions as a function of increasing oxygen content in flue gas whereas Figure 10 shows the contents of some flue gas components as a function of time. Figures are not based on the same measurements.

As the oxygen content in flue gas decreased from 6 to 4%, SO₂ emission increased from about 400 to 470 ppm, Figure 10. This effect was not as strong in the test corresponding Figure 9. However, these results show that air excess contributes to SO₂ emissions to some extent. However, if air excess is increased onto a level favourable for SO₂ emissions reduction, the emissions of nitrogen oxides may increase and the boiler efficiency decreases due to a higher enthalpy loss in flue gas.

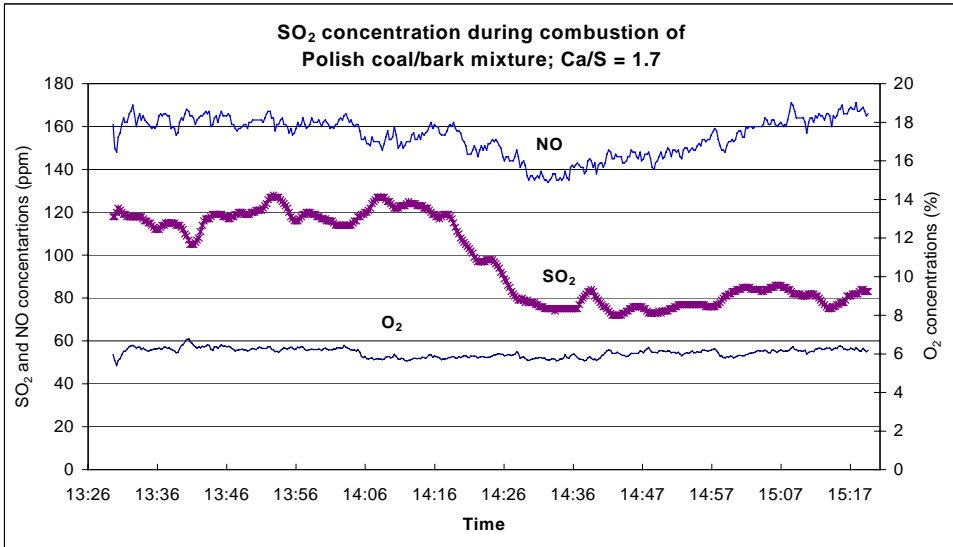


Figure 7. Measured contents of flue gas components, combustion of Polish coal/bark blend.

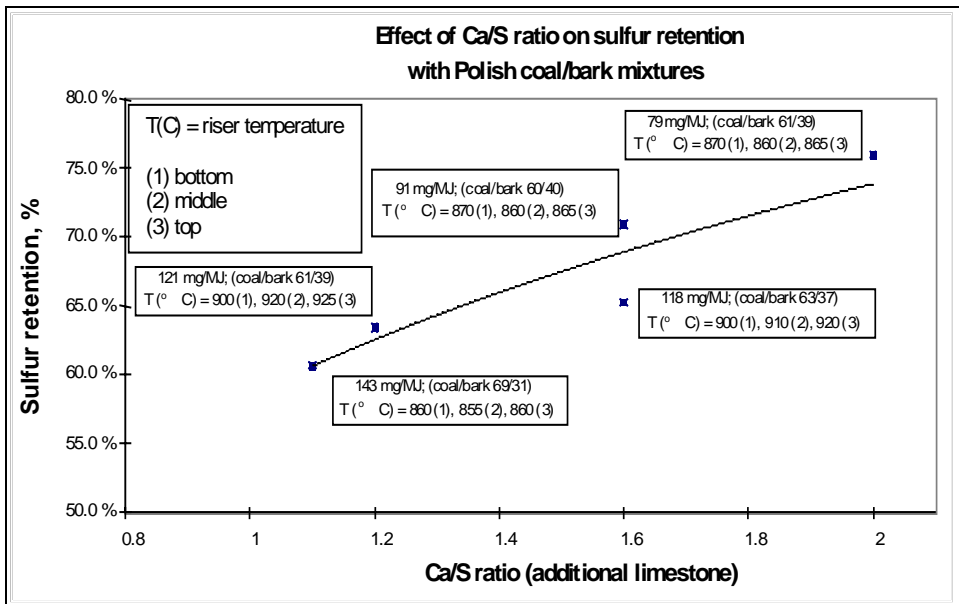


Figure 8. Effect of limestone addition on sulphur removal efficiency.

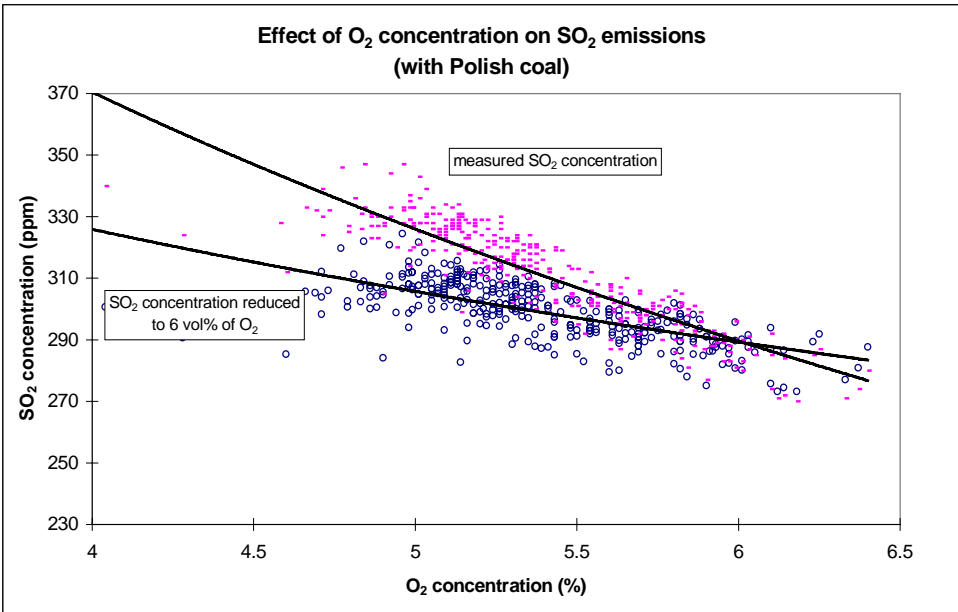


Figure 9. Effect of flue gas oxygen content on sulphur retention with Polish coal.

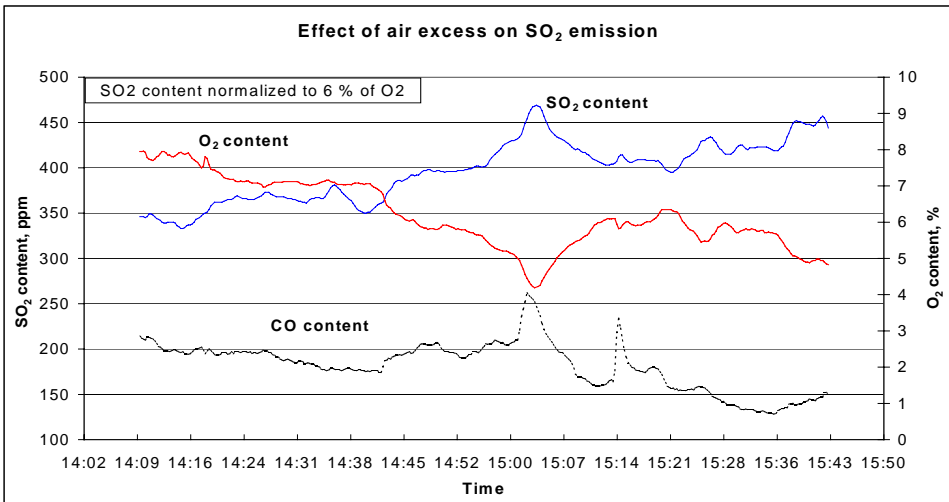


Figure 10. Effect of flue gas oxygen content on SO₂ emissions and CO.

Effect of calcination temperature on SO₂ removal with GS 500 limestone: Calcination conditions affect limestone physical properties. Low calcination temperature is supposed to increase the porosity of the limestone. The effect of calcination temperature on sulphur removal was studied by calcinating limestone in a laboratory furnace at 800°C with a low heating rate. This slowly calcinated limestone was used in CFB tests in order to be compared with regular, unheated limestone. The results are shown in Table 3. No significant differences were observed in the retention efficiencies as a result of the furnace calcination. Instead, the riser temperature seems to have more significant effect on the sulphur retention. The lowest riser temperature 850°C resulted in clearly lowest SO₂ emissions notwithstanding what the values of the other parameters were.

Table 3. Comparison of calcination conditions on sulphur retention, Polish coal.

Fuel mixture (Polish coal/bark), on an energy basis	Ca/S ratio	Measured SO ₂ emission, mg/MJ	Average riser temperature, °C
64/36	1.5*	120	880
60/40	1.6	91	850
63/37	1.6	118	900
63/37	1.7*	119	880
64/36	1.7*	78	850

*denotes calcination in a laboratory furnace

The lowest SO₂ emission, however, was measured when the pre-calcinated limestone was used, Ca/S ratio was 1.7 and the reference temperature in the riser was 850°C.

5.2 Conclusions/tests

SO₂ emissions from fluidised bed combustion of coal can be substantially decreased by adding wood into combustion process. In the whole range from 0 to about 50% of wood on an energy basis, the sulphur retention increased from about 25 up to over 60%. Tests showed that SO₂ emissions decreased for at least

two reasons. First because of replacing high-sulphur coal with bark that contains very little sulphur. In addition, reduction is a consequence of interactions between coal and bark in the course of the combustion process. This is mainly due to the calcium compounds in wood that contribute to forming solid products with coal sulphur. Alkali and other alkaline earth metals (Na, K, Mg) may also improve sulphur capture significantly as they do in pulverised fuel combustion according to references [16, 17, 10]. The tests showed that the interactions between coal and bark accounted for about 30–45% of the overall sulphur retention, depending on the coal type.

As expected on the basis of literature, combustion temperature has a clear effect on sulphur retention, increasing very strongly when the temperature is decreased from about 900 to 850°C. Effective mixing in the first cyclone after the combustor improved sulphur capture even more than combustion temperature, but on the other hand was also dependent on the temperature. As the oxygen content in flue gas was decreased from 6 to 4% in combustion of coal/bark blend, SO₂ emissions increased almost 20%. However, this effect was not as strong in most conditions. Calcination temperature seemed to have only a minor effect on sulphur retention.

One aim of the studies discussed above was to discover the potential of biomass utilisation to reduce sulphur dioxide emissions. If biomass is used to substitute fossil fuels in power generation, it will directly decrease sulphur emissions since biofuels usually are lower in sulphur contents compared to coals. In addition, biofuel ash contains species such as CaO and MgO that can be used as sulphur reduction agents in the combustion process to decrease the consumption of limestone and consequently save costs. Therefore, the utilisation of biomass seems to be one way to respond for tightening emissions requirements without increasing and perhaps even decreasing the costs of sulphur emissions reduction.

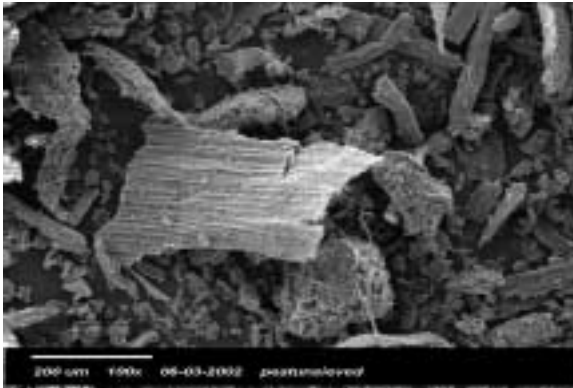
6. Characterisation of fuel properties

Biomass and coal characterisation and combustion tests have been in preparation in Stanford University, and presently preliminary tests are underway. Preliminary tests with biomass and coal samples include SEM analyses, determination of particle size distributions, and fuel density measurements. Figure 11 shows

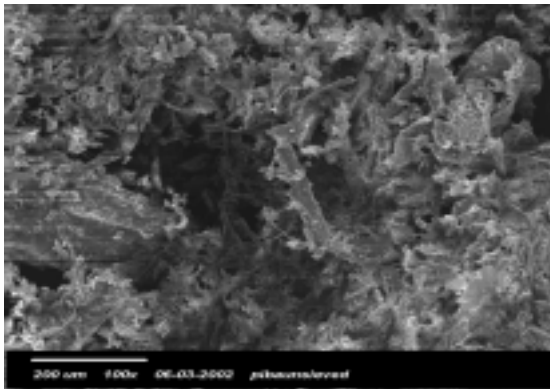
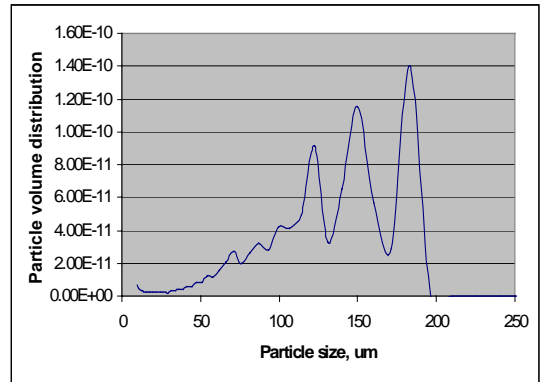
examples of SEM images and particle size (volume) distributions of peat and pine bark samples. SEM images represent unsieved samples, whereas the particle volume distributions were determined using sieved samples. The samples were sieved using standard sieves 90, 106, 125 and 150 μm . The distributions in Figure 11 represent fuel particles between 125 and 150 μm . SEM images show clearly how inhomogeneous and irregular both biomass samples are. It is characteristic for most biomass samples. A consequence of this inhomogeneity and irregularity is that the particle size range of sieved fuel is much wider than 125–150 μm . It is also much wider than the analogously sieved coal particle samples would be.

Eventually, the same samples will be used in entrained flow reactor tests, in which they are introduced to gas environments that correspond to those in practical combustors and in industrial furnaces. Char samples will be extracted from the flow reactor at successive residence times. Figure 12 shows a schematic layout of the flow reactor. Any required gas condition in the reactor is established by using appropriate fuel and oxidiser feeding rates. Particle feed rate in the reactor is kept so low that it has no significant effect on the combustion gas temperature or on its composition.

Furthermore, the char samples will be used in thermogravimetric analyser tests. The thermogravimetric analyser will be used to obtain char conversion rate data and to make gas adsorption measurements for specific surface areas. Figure 13 shows a schematic layout of the thermogravimetric analyser. For gasification experiments the char samples are heated typically 10–30 K/min to the desired final temperature and are reacted in an isothermal environment for a specified length of time, depending on whether partial or complete gasification is desired. A lower heating rate is used in order to obtain better resolution of the temperature dependence of char mass loss rate in different gas mixture environments. More than one temperature ramp can be programmed so that multiple sets of rate-temperature data could be obtained from the same sample in one test. At the end of a gasification experiment, the reactor is purged with nitrogen and cooled down to prevent further reaction of the sample [18].



peat



pine bark

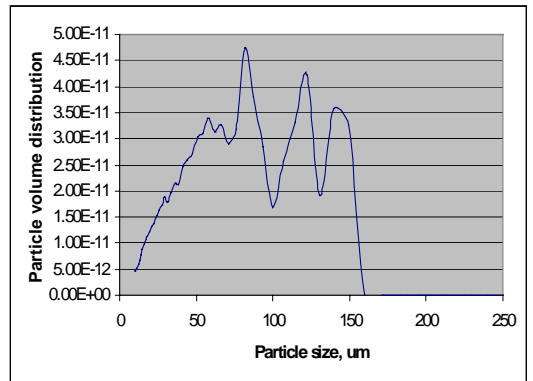


Figure 11. Examples of SEM analysis and particle volume distributions.

Gas adsorption surface area measurements are conducted at room temperatures. The adsorption weight is measured in isothermal conditions of constant total pressure but varying adsorbate partial pressure. The adsorption weight is a function of only the partial pressure and saturation pressure of the adsorbate gas at the temperature of adsorption. Therefore, adsorption weight obtained on a sample at the same (partial) pressure of the adsorbate gas at the same temperature should be same regardless of the total pressure of the environment. Adsorption equilibrium is reached when the weight reading stabilises at each adsorbate concentration. The approach for analysing surface area from adsorption measurements is discussed in detail in reference [18].

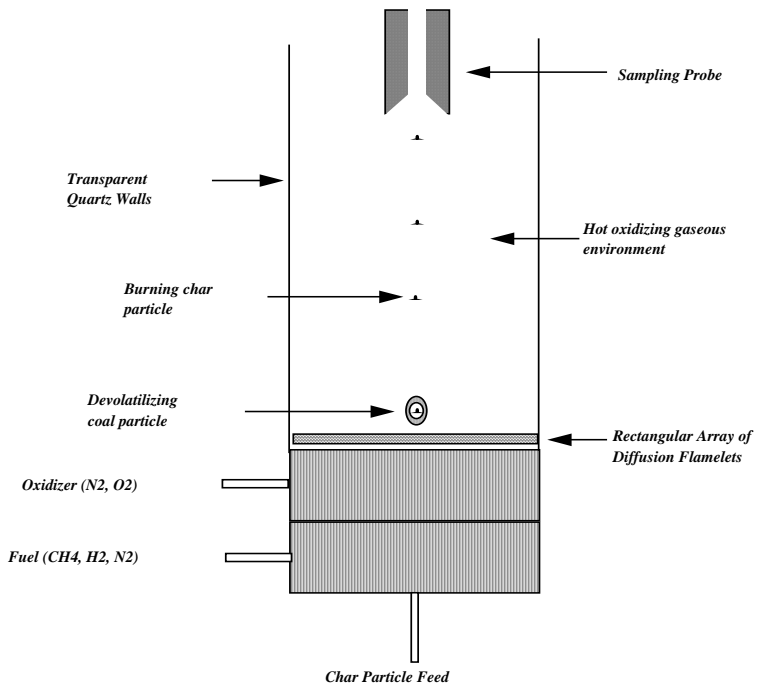


Figure 12. Stanford University's entrained flow reactor.

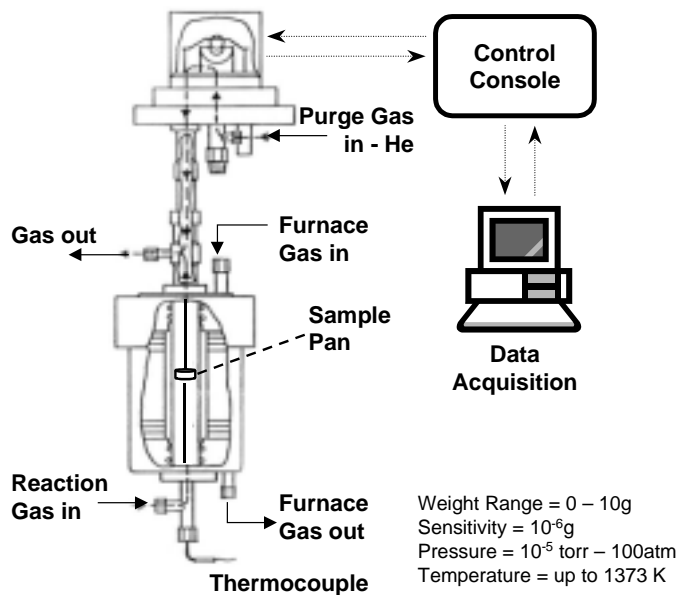


Figure 13. Stanford University's thermogravimetric analyzer.

7. Following project period

The project has proceeded as originally planned. There is therefore no reason for changes in implementing of the project and it will be carried out according to the original project plan. The experiments in Stanford University will be finished by August, 2002 and the final report will be given before the end of 2002.

References

1. *Orjala, M. & Ingalsuo, R.* 1999. Sulphur dioxide reduction in co-firing of peat and wood in fluidised bed boilers. Proceedings of the fifth international conference on technologies and combustion for a clean environment, Lissabon, Portugal. July 12–15. Pp. 685–689.
2. *Nordin, A.* 1995. Optimisation of sulphur retention in ash when co-combusting high sulphur fuels and biomass fuels in a small pilot scale fluidised bed. *Fuel* 74/4, pp. 615–622.
3. *Winslow, J. C., Smouse, S. M., Ekmann, J. M. et al.* 1996. Co-firing of coal and waste. IEA Coal Research, London. Report IEACR/90.
4. *Tillman, D.* 2000. Biomass co-firing: the technology, the experience, the combustion consequences. Elsevier Science Ltd. *Biomass and Bioenergy* 19, pp. 365–384.
5. *Battista, J., Hughes, E. & Tillman, D.* 2000. Biomass co-firing at Seward Station. Elsevier Science Ltd. *Biomass and Bioenergy* 19, pp. 419–427.
6. *Plasynski, S. I., Costello, R., Hughes, E. & Tillman, D.* 1998. Biomass co-firing in full-sized coal-fired boilers. Pittsburgh Coal Conference, Pittsburgh, PA, 1998.
7. *Wallace, B.* 1996. Building biomass into the utility fuel mix at NYSEG: System conversion and testing results for Greenidge Station. *Bioenergy* 96, Nashville, Tennessee, September 15–20, 1996.

8. *Harding, N. & Adams, B.* 2000. Biomass as a reburning fuel: a specialised co-firing application. Elsevier Science Ltd. Biomass and Bioenergy 19, pp. 429–445.
9. *Wieck-Hansen, K. et al.* 2000. Co-firing coal and straw in a 150 MWe power boiler: experiences. Elsevier Science Ltd. Biomass and Bioenergy 19, pp. 395–409.
10. *Hansen, P. et al.* 1998. Co-firing straw and coal in a 150 MWe utility boiler: in situ measurements. Elsevier Science B.V. Fuel Processing Technology 54, pp. 207–225.
11. *Andersen, K. et al.* 1996. Co-firing coal and straw in a 150 MWe utility boiler: deposition propensities. Proceedings of the 9th European bioenergy conference. Pp. 1102–1107.
12. *Pedersen, L. et al.* 1996. Full-scale co-firing of straw and coal. Fuel 75, pp. 1584–1590.
13. Wood waste as a substitute for coal. CADDET technical brochure 114, CADDET Centre for Renewable Energy, 2000.
14. *Kostamo, J.* 1999. Co-firing tests at Naantali-3 power plant. Presented in Swedish-Finnish Flame Day 1999.
15. *Savolainen, K. & Sormunen, R.* 2001. Co-firing of biomass and coal: a means to reducing greenhouse gas emissions. Presented in PowerGen '01, Bryssel, Belgium, 29.–31.5.2001.
16. *Spliethoff, H. & Hein, K.* 1998. Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverised fuel furnaces. Fuel Processing Technology 54, pp. 189–205.
17. *Robinson A. et al.* 1998. Cofiring biomass and coal to reduce CO₂ emissions from coal-fired utility boilers. Sandia combustion research, technical review. 7 p.
18. *Tsai, N.* 1988. Influence of high CO concentration on the CO₂ gasification of a selected coal char. Ph.D. Thesis. Mechanical Engineering Dept., Stanford University. 175 p.

Teknologiasiiirto biopolttoaineiden tuotannossa USA:n ja Suomen välillä – PUUT27

Arvo Leinonen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 677, faksi (014) 672 597
e-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

Abstract

The main aim of the research work was to intensify technology transfer between Finland and USA in the field of biofuel production. Technology transfer should intensify technology exports from Finland to USA and to contribute to the development of more efficient and competitive production technology for wood chips. The project was carried out in co-operation with VTT Processes and Oak Ridge National Laboratory (ORNL) of Tennessee, USA. Timberjack and Forest Service of USA also supported the work. About 204 million hectares of the total forest area of 302 million hectares in USA are available for forest industries. In 1996, about 460 million m³ of merchantable wood was cut in USA, and the amount of slash amounted to about 70 million t of dry matter. The production potential of forest chips in USA has been estimated at about 21.6 million t of dry matter (118 TWh), the production costs being less than €6.6/MWh. In 1997, the energy use of different wood species amounted to about 713 TWh in USA. The proportion of wood in the total consumption of energy was around 2.7% in 1999, and the use of forest chips in 1997 has been estimated at about 81.2 TWh. In USA, mainly whole-tree harvesting is employed, the trees being felled with a harvester equipped with a harvesting head. The harvester moves the whole-tree bundles to a strip road, and a skidder moves the bundles further to a roadside landing. At the roadside landing the trees are delimbed and cut to the desired length. Sawn timber can also be transported as tree-length logs to the site of use. At the roadside landing, the logging residues, like branches, tops and small-wood can be processed to energy with a chipper-truck combination.

1. Tausta

USA:n 302 milj. hehtaarin metsäpinta-alasta noin 204 milj. ha on metsäteollisuuden käytettävissä. Vuonna 1996 ainespuuta hakattiin USA:ssa noin 460 milj. m³. Hakkuutähdettä USA:ssa vuonna 1996 syntyi kaikkiaan noin 70 milj. kuiva-ainetonnia. Tästä vain osa on taloudellisesti ja teknisesti hyödynnettävissä energiaksi. On arvioitu, että metsähakkeen tuotantopotentiaali USA:ssa on noin 21,6 milj. kuiva-ainetonnia (118 TWh) kun tuotantokustannus on alle 6,6 euroa MWh:a kohti. Kun tuotantokustannusrajana on 11 euroa MWh:a kohti, niin metsähakkeen tuotantopotentiaali on noin 41 milj. kuiva-ainetonnia (224 TWh).

Vuonna 1997 erilaisen puun käyttö energiaksi USA:ssa oli noin 713 TWh. Puun osuus kokonaisenergian kulutuksesta vuonna 1999 oli noin 2,7 %, kun uusiutuvien energialähteiden osuus oli tällöin noin 7,5 %. Puun energiakäytöstä suuri osa (79 %) käytettiin metsäteollisuudessa yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Puuta käytettiin myös talojen ja muiden rakennusten lämmittämiseen (20,4 %). Pieni osa puusta käytettiin pelkästään sähköä tuottavissa laitoksissa kuten Shastan laitoksella. Metsähakkeen käytön vuonna 1997 on arvioitu olleen noin 81,2 TWh. Tämä on noin 11 % puun kokonaisenergiankulutuksesta.

2. Tutkimuksen tavoite ja toteutus

Tutkimuksen tavoitteena on verrata Suomessa ja USA:ssa käytössä olevaa metsähakkeen korjuuteknologiaa ja tällä tavoin pyrkiä kehittämään molemmissa maissa käytettävää korjuuteknologiaa.

Työ toteutetaan yhteistyössä VTT Prosessit ja Oak Ridge National Laboratory (ORNL) kanssa. Arvo Leinonen VTT Prosesseista toimii vaihtotutkijana 1.9.2001–31.8.2002 välisen ajan ORNL:ssä, joka sijaitsee Tennesseen osavaltiossa USA:ssa. Työ toteutetaan keräämällä tietoa vierailuilla metsähaketta käyttävissä laitoksissa ja luonnollisesti myös alan kirjallisuuteen tutustumalla. Tutkimusta on tukenut myös Timberjack ja Forest Service USA:sta.

3. Tehtävät

Tutkimus sisältää seuraavat tehtävät:

1. metsähakkeen tuotanto ja käyttö (Metsähakkeen tuotanto ja käyttö)
2. Suomessa ja USA:ssa metsähakkeen tuotannossa käytettyjen menetelmien vertailu (Tuotantomenetelmien vertailu Suomen ja USA:n välillä)
3. metsähakkeen tuotannon tutkimus- ja kehitystarpeiden määrittely (Tutkimus- ja kehitystarveanalyysi)
4. pilottiprojektin käynnistäminen (Pilot-projekti)
5. raportointi (Raportti).

Tehtävässä 1 (Metsähakkeen tuotanto ja käyttö) käydään läpi metsähakkeen tuotanto ja käyttö USA:ssa. Tuotannon osalta käydään läpi tuotantoteknologia ja tuotantokustannukset niin luonnontilaisilta kuin myös istutusmetsiköistä tapahtuvassa metsähakkeen tuotannossa. Metsähakkeen käytön osalta tarkastellaan metsähakkeen tuotantopotentiaali, nykyinen käyttö ja nykyiset käyttöpaikat USA:ssa. Tämän lisäksi käydään läpi metsähakkeen tuotantoteknologia Suomessa.

Tehtävässä 2 (Teknis-taloudellinen vertailu) tehdään teknis-taloudellinen vertailu metsähakkeen (pienpuu ja hakkuutähde) suomalaisesta ja yhdysvaltalaisesta tuotantoteknologiasta. Tarkastelun pohjalta etsitään tehokkaampia tuotantoketjuja. Lisäksi tarkastellaan mahdollisuudet teknologian siirtoon molempiin suuntiin. Erityisesti tarkastellaan suomalaisen laiteteknologian vientimahdollisuudet Yhdysvaltoihin.

Tehtävässä 3 (Tutkimus- ja kehitystarveanalyysi) käydään läpi tehdyn analyysin pohjalta, mitä tutkimus- ja kehitystarvetta metsähakkeen tuotannossa on USA:ssa. Siinä kartoitetaan myös mahdolliset t&k-yhteistyökohteet Suomen ja USA:n välillä.

Tehtävässä 4 (Pilot-projekti) suunnitellaan demonstraatio-projekti, jossa tutkitaan metsähakkeen niputukseen perustuvaa menetelmää metsästä käyttöpaikalle asti. Mahdollisia kohteita ovat Montana, Kalifornia ja Minnesota.

Tehtävässä 5 (Raportti) raportoidaan osatehtävissä saadut tulokset.

4. Tulokset

Metsähaketta käytetään USA:ssa pääasiassa metsäteollisuudessa. Kuitenkin metsähaketta käytetään myös puhtaasti sähköä tuottavissa laitoksissa. Tässä on esitetty tuloksia esimerkinluonteisesti metsähakkeen tuotannosta ja käytöstä Kaliforniassa sijaitsevassa Shastan voimalaitoksessa.

Shastan voimalaitos

Shastan voimalaitos on sähköä tuottava voimalaitos, joka on valmistunut vuonna 1987. Laitoksen sähkön tuotantokapasiteetti on 55 MW_e. Laitos tuottaa yli 400 milj. kWh sähköä vuodessa Pacific Gas and Electric Companylle pitkäaikaisella sopimuksella. Laitos koostuu kolmesta liikkuvalla arinalla varustetusta stokerkattilasta. Kattilat kuluttavat noin 45,5 kuiva-ainetonnin erilaista puuhaketta tunnissa. Hakkeen keskimääräinen kosteus on noin 50 %. Hakkeen kokonaiskulutus on noin 320 000–365 000 kuiva-ainetonnin (1,6–1,8 TWh) haketta vuodessa. Laitoksen hyötysuhde on pieni, noin 25 %.

Shastan polttoaine ja sen hankinta

Alkuvaiheessa laitoksen polttoaine koostui pääasiassa metsäteollisuuden sivutuotteista (kuori, puru, lahopuut) ja harvennuksista tulleesta kokopuuhakkeesta. Kuitenkin metsäteollisuus on Kaliforniassa koko ajan vähentynyt ja laitos on joutunut etsimään uusia hakkeen raaka-ainelähteitä. Tällä hetkellä laitoksen puuhakkeen hankinta on saatu monipuoliseksi polttoaineen toimituksen turvaamiseksi. Polttoaine toimitetaan hakkeena laitokselle mm. luonnonmetsien harvennuksista ja eucalyptus- ja poppelipuuviljelmiltä. Lisäksi rakennuspuujätteesistä, pihojen siistimisestä ja teiden raivauksesta saadaan polttihaketta laitokselle. Myös voimalaitokselle tulee jonkin verran oksahaketta hedelmäpuutarhoilta, missä leikkuujäte haketetaan. Laitoksella on myös mahdollisuus hakettaa sahoille kelpaamatonta järeää puutavaraa laitoksella olevalla murskaimella.

Puu ostetaan pääasiassa hakkeena urakoitsijoilta. Metsähakkeen osuus on vajaat 50 % koko hakkeen käytöstä, 137 000 kuiva-ainetonnin (0,75 TWh). Metsähake on kokopuuhaketta harvennuksista ja lyhytkiertopuuviljelmiltä. Avohakkuuta tehdään vähän. Hake hankitaan alle 50 mailin (80 km) säteellä laitoksesta. Laitos

sijaitsee laaksossa ja hake tulee sitä ympäröiviltä vuorilta Pääasiallinen puulaji on Ponderosa-mänty.

4.1 Polttoaineen tuottaminen harvennuksista

Metsähake tuotetaan Shastan ympäristössä pääasiassa harvennuksista käyttäen ns. kokopuumenetelmää. Menetelmän nimi tulee siitä, että puut kuljetetaan kokopuuna tienvarteen. Tämä on pääasiallinen menetelmä metsän hakkuissa USA:ssa. Vierailukohde Shastassa oli vanha Ponderosa-mäntyleimikko. Alueella oli isojen tukkipuiden lisäksi runsaasti pienpuuta. Harvennuksessa leimikosta hakattiin pienpuusto ja hieman isompaakin puustoa. Koska alueella ei ollut markkinoita ainespuulle, niin kaikki kerätty puu haketettiin energiaksi. Leimikosta saatiin noin 55,6 tonnia hehtaarilta (300 MWh). Saanto on normaalia energiapuusaantoa suurempi, sillä ainespuuta ei hyödynnetty.

Kokopuumenetelmä koostui kaatokoneesta ja juontokoneesta. Kaatokone (ns. feller-buncher) pelkäästään kaataa puut. Se on varustettu keräävällä kaatopäällä, mihin sopii kerralla useampia pienempiä puita. Kaatokone voi olla pyörillä tai teloilla varustettu. Pyörillä oleva kone on nopea ja tehokas. Sen puutteena on, että se ei sovellu mäkisiin eikä pehmeisiin olosuhteisiin eikä se sovellu isojen puiden kaatoon. Näihin olosuhteisiin on tehty teloilla varustetut kaatokoneet. Tämä muistuttaa harvesteria ja siinä kaatopää on kiinnitetty nivelpuominosturin päähän. Kun kaatopäässä on riittävästi puita, niin kaatokone siirtää puunipun pitäen puunippua pystyssä palstatien varteen. Tuottavuus kaatokoneella vaihtelee riippuen palstan puusto- ja maasto-ominaisuuksista ja kaatokoneesta aina 12:sta jopa 61:een kuiva-ainetoniin tehotuntia kohti. Puun keskimääräinen kuivatiheys USA:ssa on noin 480 kg/m^3 . Shastassa kaatokone oli pyörillä varustettu kone sillä maaston kantavuus oli hyvä ja maasto oli tasaista (kuvat 1 ja 2).



Kuva 1. Pyörillä varustettu kaatokone New Mexicossa (huhtikuu 2002).



Kuva 2. Kaatokoneen keräämiä nippuja palstatien varressa Shastassa (marraskuu 2001).

Palstatie varresta kokopuumenetelmässä puuniput siirrettiin juontokoneella tienvarsivarastoon. Yksi tai useampi nippu kiinnitetään juontokoneen takaosaan puristamalla niput kahden puolikaaren muotoisen pihdin väliin nippujen tyvipäästä ja kohotetaan hieman maasta ylös. Juontokone vetää kuorman perässään sitten varastolle, jolloin puun latvat ja osa rungostakin laahaa maata. Huonona puolena juontokoneessa on, että puut likaantuvat jonkin verran maahan koskiessaan. Lisäksi puiden ollessa pitkiä, niin ne voivat kaarteessa rikkoa palstalle kasvamaan jätettyjä puita. Lisäksi koska juontokoneen taakka on pieni, niin kuljetusmatka ei voi olla pitkä. Juontokoneen tuottavuus vaihtelee aina 11–21 kuiva-ainetonnia tehotunnissa. Shastassa juontomatka oli alle 500 metriä (kuva 3).



Kuva 3. Juontokone vetää puut perässään varastolle tienvarteen Vermontissa (tammikuu 2002).

Normaalisti tienvarsivarastolla puut karsitaan ja katkotaan määrämittaan näihin työvaiheisiin kehitetyillä koneilla. Koska vierailukohteella Shastassa ei hyödynnetty ainespuuta, niin puut haketettiin kokonaan energiaksi. Puita ei tarkoituksella kuivattu varastolla lämpöarvon lisäämiseksi, vaan ne hakkuun yhteydessä haketettiin suoraan rekan puoliperävaunuun. Käytössä ovat Suomessakin tutut laikka- ja rumpuhakkurit. Hakkurien tuotos on ollut eri kokeissa 20–30 kuiva-ainetonnia tunnissa (kuva 4).



Kuva 4. Kokopuun haketusta suoraan rekan puoliperävaunuun Vermontissa (tammikuu 2002).

Hakkuri puhalsi hakkeen suoraan rekan puoliperävaunuun rekan takaosasta. Rekan peräkärryn tilavuus yleensä USA:ssa on $72,5 \text{ m}^3$ (95 kuutiojalkaa). Hakkeen kuljetusmatka Shastassa oli alle 80 kilometriä.

Metsähakkeen tuotantokustannus lämpölaitoksella harvennushakkuista Kaliforniassa oli keskimäärin noin 6,6–8,8 euroa MWh:a kohti.

Hakkeen käsittely laitoksella

Rekan perävaunua ei oltu varustettu millään purkulaitteella. Rekka ajettiin laitoksella alustalle, mihin se lukittiin. Alustaa kallistettiin siten, että hake purkautui kuljettimelle rekan peräpäältä. Tämä on valtamenetelmä hakkeen kuljetuksessa ja purkauksessa USA:ssa. Sen etuna on, että kuormatilaa saadaan lisää, kun purkulaitteita ei ole rekassa (kuva 5).



Kuva 5. Hakkeen purkua rekasta laitoksella Vermontissa (tammikuu 2002).

Laitoksella on kaksi suurta kattamatonta polttoainevarastoa, joiden kokonaistilavuus oli yli 46 000 tonnia kuiva-ainetta (0,25 TWh) talvikuukausien käytön ajalle, jolloin metsänhakkuu ei ole sallittua Kaliforniassa. Hakkuiden kieltö johtuu siitä, että Kaliforniassa sataa talvella runsaasti ja tällöin hakkuut turmelisivat liikaa maastoa. Laitoksen varastoista hake syötettiin automaattisesti kolakuljettimella hihnakuljettimelle millä se siirrettiin edelleen kattilaan. Kolakuljetin syöti koko varaston kyljen pituudelta haketta hihnakuljettimelle ja tasasi tällä tavoin hakkeen laatua (kosteus ja eri hakelaadut). Kolakuljettimia oli kaksi, yksi molemmille varastoauomoille ja ne sijaitsivat varastojen välissä (kuva 6).



Kuva 6. Hakkeen talvivarasto Shastassa (marraskuu 2001).

Johtopäätöksiä

Sähköä tuottavat biomassalaitokset toimivat Kaliforniassa kuin myös muuallakin USA:ssa kannattavuuden rajoilla. Tällä hetkellä mitään tukiaisia puuta käyttävät laitokset eivät saa osavaltio- eikä liittovaltiotasolla. 1980-luvun lopulla Kaliforniassa oli toiminnassa 70 biomassalaitosta käyttäen noin 5,0 milj. kuiva-ainetonna puuhaketta. Maakaasun hinnan romahdettua pian tämän jälkeen, niin tällä hetkellä laitoksia on enää 35 käyttäen kuitenkin vielä 3,2 milj. kuiva-ainetonna puuhaketta polttoaineena.

Kaliforniassa on tällä hetkellä suurena vaarana ja uhkana vuosittaiset metsäpalot, hoitamattomien metsien suuresta puuainesmäärästä johtuen. Tämä on otollista metsäpalojen syttymiselle ja leviämiselle. Käyttämällä metsähake energiaksi vähennetään metsäpalojen riskiä. Joissakin paikoissa, missä hakkuutähteille ei ole kysyntää, niin hakkuutähteet poltetaan tienvarsivarastolla avoimissa nuotioissa.

Tällä hetkellä USA:ssa ei olla panostamassa metsähakkeen käyttöön suorassa poltossa, ei tutkimuksellisesti eikä investointitukien muodossa. Tulevaisuuden käyttökohteita USA:ssa on puun ja hiilen yhteispoltto nykyisissä voimalaitoksissa. Tätä on tutkittu ja tutkitaan paljon USA:ssa niin laboratoriossa kuin myös käytännössä. Myös Tennesseeen ja North Carolinan osavaltioissa sitä on tutkittu. Kuitenkaan tällä hetkellä laitokset eivät yhteispolttoa harjoita, sillä se ei ole kannattavaa.

Toinen tulevaisuuden teknologia, jota voimakkaasti USA:ssa tutkitaan ja kehitetään, on biomassan kaasutusteknologia sähkön tuotannossa. Menetelmässä puu kaasutetaan ja sähkö tuotetaan kaasuturbiinia ja höyryturbiinia käyttäen (IGCC). Teknologian etuna on laitoksen parempi hyötysuhde (30–40 %) nykyisiin (alle 25 %) sähköä tuottaviin laitoksiin verrattuna.

Kolmas puun käyttökohte, johon USA:ssa tutkimuksellisesti panostetaan, ovat pienet 15–25 kW puuhaketta raaka-aineena käyttävät ja sähköä ja lämpöä tuottavat yksiköt. Nämä on tarkoitettu syrjässä sähköverkosta oleville talouksille. Yksiköitä testataan tällä hetkellä eri puolilla USA:ta.

5. Jatkotoimenpiteet

Tutkimuksessa on tähän mennessä kerätty ja analysoitu tieto USA:n metsähakkeen tuotantopotentiaalista, käyttömäärästä ja käyttöpaikoista tällä hetkellä ja tulevaisuudessa sekä tuotantoteknologiasta. Tämän pohjalta suoritetaan vertailu metsähakkeen tuotantoteknologian ja tuotantokustannusten osalta USA:n ja Suomen välillä. Tarkastelun pohjalta esitetään parannusehdotuksia tuotantoteknologiaan niin Suomessa kuin USA:ssa. Myös yhteistyön mahdollisuudet tarkastellaan.

Metsähakkeen niputtamiseen liittyvän demonstraation käynnistämiseen USA:ssa ei ole löytynyt liittovaltiotasolla rahoitusta. Tällä hetkellä katsotaan mahdollisuuksia saada rahoitusta projektiin osavaltiotasolla Kaliforniasta ja Montanasta.

Projektissa syntyneet julkaisut

Kokopuuhakkeen käyttöä sähkön tuotannossa Kaliforniassa. Suo ja turve
1/2002.

Maximum biomass use and efficiency in large-scale cofiring – PUUT31

Anne Suomalainen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 521, faksi (014) 672 597
e-mail: anne.suomalainen@vtt.fi

Tiivistelmä

Tämän EU:n viidenteen puiteohjelmaan kuuluvan hankkeen tavoitteena on tutkia koko energian tuotantoketjua alkaen polttoaineen hankinnasta ja käsittelystä, sisältäen kattilan palamisolosuhteet sekä likaantumisen ja korroosion ja päätyen päästöihin ja niiden hallitsemiseen. Projekti antaa erinomaisen mahdollisuuden tutkia biopolttoaineiden käyttöä suuressa mitassa maailman suurimmalla, Alholmens Kraft Oy:n biopolttoainevoimalaitoksella Pietarsaassa. Laitoksella on kiertoleijukattila (CFB), jonka höyryteho on 550 MW. Tutkimuksessa tehtävistä kokeista osa tehdään voimalaitoksella ja osa kahdella eri pilot-laitteistolla.

Tavoitteena on osoittaa modernin CFB-tekniikan soveltuvuus biopolttoaineiden maksimaaliseen käyttöön energian tuotannossa. Biopolttoaineiden kilpailukykyä voidaan parantaa kehittämällä polttoaineen käsittelyä ja syöttöä sekä ratkaisemalla likaantumisen ja korroosio-ongelmia.

Projektista saatavien tulosten avulla voidaan parantaa biopolttoainetta käyttävien laitosten käytettävyyttä ja hyötysuhdetta ja näin edistää paikallisten resurssien käyttöä ja vähentää ympäristöhaittoja. CFB-kattilat mahdollistavat joustavan monipolttoainekäytön ja sitä kautta edullisten polttoaineiden hyödyntämisen. Lisäksi CFB-tekniikalla saavutetaan korkea käytettävyys, mikä johtaa vähäisempään käyttö- ja kunnossapitokustannuksiin. Päästöjen vähentäminen CFB-tekniikalla on tehokasta ja edullista.

1. Background

The project combines in a novel way the research in the whole chain of energy conversion from biomass production, fuel handling and power production all the way to emission monitoring. The inclusion of the whole chain enables holistic examination and optimization of energy production both in an environmental and an economical point of view. The power plant used here as a case example – the world’s largest power plant for biofuel combustion – introduces the “best-practice” biomass/fossil fuel co-fired power plant concept with extremely diverse fuel selection – suitable to be copied almost anywhere in Europe. This is a unique opportunity to study biofuel utilization in a very large scale and to get valuable new information about combining utility CHP plant to steam production for industrial needs.

2. Objective

The major objective of this project is to show the viability of modern Circulating Fluidized Bed (CFB) technology to maximize the use of biomass-based fuels in power generation. The case power plant is a 550 MW_{th}, high-efficiency co-firing power plant designed for 0–100% capacity for biomass operation. The plant is also designed to operate in condensing mode. To increase the competitiveness of biomass-based fuels several obstacles characteristic for biofuels need to be solved and optimized. The major obstacles are fuel handling, stable steam generation and high temperature corrosion. Generally, it can be said, that the performance of biofuelled power plants must still be improved to achieve competitive power production.

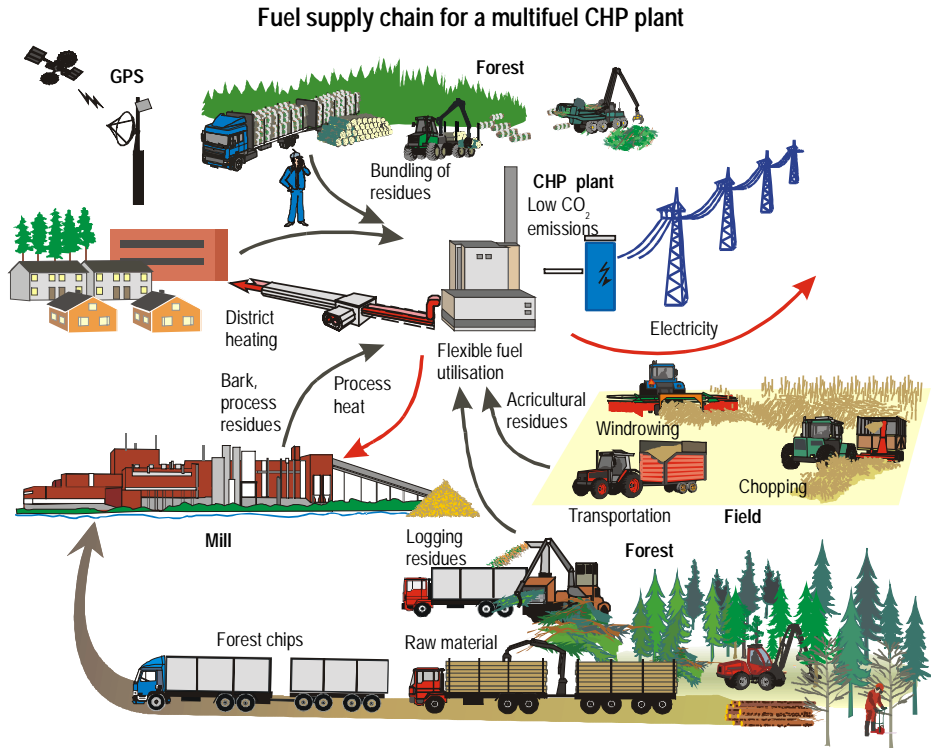


Figure 1. Research covers the whole chain of energy conversion from biomass production, fuel handling and power production all way to emission monitoring.

3. Description of work

The project is addressing the following needs:

- Determination of maximum share of different types of biofuels and feasibility by optimizing the fuel mixture for minimum coal (1 % S) and peat (0.1 % S) shares, based on plant performance and fouling tests. High superheating temperatures are fundamentally important for high efficiencies in power production.
- Planning and realization of safe and efficient handling of organic biomass fuels, which may create dust, mould and other organisms, and which have different self-ignition and explosion characteristics.

- Minimization of ammonium consumption for selective non-catalytic reduction (SNCR) of NO_x emissions and realization of efficient sulfur dioxide reduction using ash recycling.

Plant operators, manufacturers and research organizations are co-operating to demonstrate a high-efficiency and cost-effective concept for renewable energy production based on biomass in Europe.

Partners in this project are:

- Technical Research Centre of Finland, Finland (VTT Processes)
- Alholmens Kraft Ltd, Finland
- Fundación CIRCE, Spain
- Kvaerner Pulping Oy, Finland
- Tech-wise A/S, Denmark
- Åbo Akademi University, Finland.

The project is planned for 30 months, equivalent to 135 person months.

The general workplan includes both experimental and theoretical activities. The basis of the practical work is focused on one or more of the following strongly interacting activities:

- Experimental studies of various phenomena and overall performance using appropriate scales of test equipment ranging from laboratory scale to operating CFB boilers.
- Calculations and models will be used for analyzing results of the experiments.
- Collection and integration of results of various tasks to create guidelines for operation and design of power plants, criteria for operation, limits for fuel mixture ratios, design criteria for new boilers, etc.

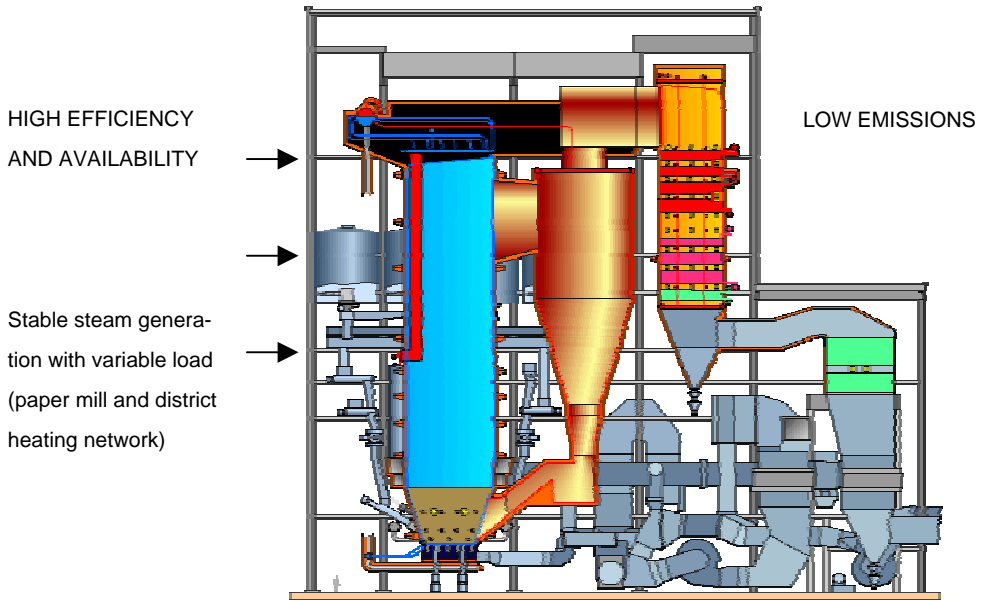


Figure 2. Innovation in the power plant.

The project is broken down in the following work packages:

WP1: Fuel procurement and logistics

The need of fuel quality control requires understanding of the effect of quality variation of different fuels. This is emphasized particularly, when large quantities of logging residue (300 GWh/a in case plant) are used. Guidelines for storage methods and times will be developed taking into account seasonal variations. The main emphasis will be on logging residue and logging residue bales.

A proper storage method will contribute to decrease the moisture content of the fuel thus increasing the heat value. The amounts of dust, mould and other harmful organisms will also be decreased. The effect of different storage methods and storing time on moisture content and microbe content will be determined.

Safe and efficient logistics management and utilization of different fuel types require thorough knowledge of their properties and the geographical location of different sources. The location and property register, especially for peat, logging

residue and logging residue bales will be developed to enable more efficient utilisation of biofuels.

WP2: Fuel receiving and handling

The unloading and transfer capacities, quality control and homogenization of fuels by logistics at the receiving station will be monitored. At the same time occupational conditions and environmental effects, like dust concentration and mechanical functions are controlled. Fuel particle size distribution from screening and crushing will be studied in order to achieve suitable material flow for further crushing to get an appropriate particle size distribution acceptable to the combustion process. A new specified sampling method and sampling device have been developed and will be modified and tested.

WP3: High plant availability with low operation and maintenance costs

The goal of WP 3 is to study the fuel behavior at CFB conditions. Especially the fouling and corrosion propensities of biofuels and their mixtures will be evaluated according to the fuel ash characteristics and ash chemical analyses. Special attention will be paid to alkaline and chlorine behavior during the combustion process. The results will be used to determine suitable fuel mixtures to be utilized for power generation.

The basic criteria for fuel selection will be to achieve high power plant performance with high efficiency and low emissions. The results obtained with fuel analyses and laboratory experiments will be confirmed with a pilot scale CFB test program. During the tests, deposit-probing studies will be performed to characterize ash behavior and the information will be used for planning a full-scale test program.

CIRCULATING FLUIDIZED BED REACTOR

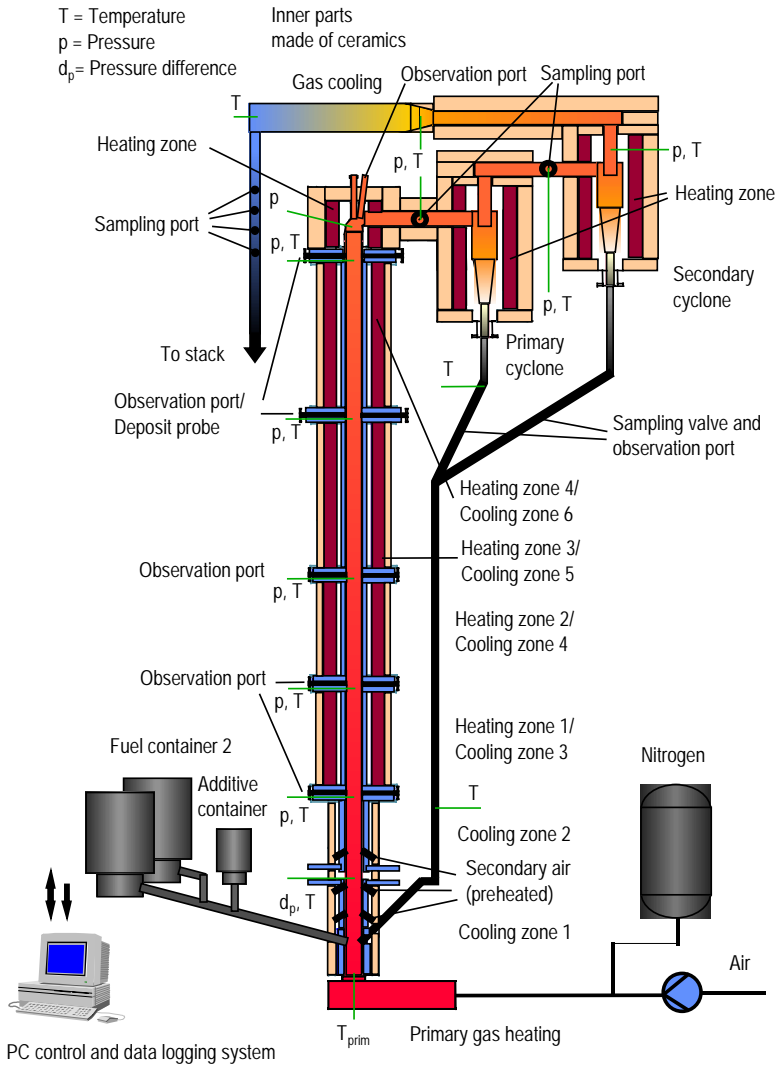


Figure 3. VTT's circulating fluidized bed reactor (pilot).

Using these results the overall targets of the project, i.e., to achieve high plant performance will be fulfilled. However, additional results on fuel behavior at CFB conditions will be achieved during full-scale operation, and therefore, the final decision on most proper fuel selection will be done after these experiences.

WP4: Power plant monitoring to increase availability

Full-scale deposit probe tests will be performed at the CFB boiler owned by Alholmens Kraft. The effect of limestone addition on fouling propensity will be tested also in full-scale.

Based on the fouling studies in the full-scale CFB-boiler, the corrosivity of different fuel mixtures will be determined. Potentially corrosive fuel mixtures, will be tested with and without limestone addition. Effect of different factors, such as the sulfur to chlorine ratio in the fuel will be investigated. The most important places from the corrosive point of view will be selected according to the deposit studies.

Extensive material evaluations with optical microscopy and SEM-EDXA studies will be made to find out the corrosion potential of the fuels and the corrosion rate of different materials.

A diagnosis and monitoring system focused on fouling detection, performance deviation and emissions assessment will be developed. The goal of the software developed is to track the actual operating parameters, to calculate the deviation vs. the baseline and to record the operating history. The web-based software will allow generating periodic or on-request reports and queries.

4. Results

- Viability of the multi-fuel plant applicable in European area where biomass is utilized as energy source to contribute on Target of Kyoto objectives.
- Fuel handling technique that enables better control of fuel flows and safe and efficient utilization of different fuels with uneven quality. Minimized dust emission at fuel receiving and storage.

- Critical fuel mixtures and fuel components for fouling and corrosion.
- The evaluation of the most critical sections of the boiler from the corrosive point of view.
- Emissions level of the biofuelled power plant.
- Improved boiler efficiency.
- High power plant performance with efficient emission control to achieve low operation and maintenance costs.
- Extremely low investment for the proposed multi-fuel technology.
- Advanced boiler control procedure to achieve stable steam generation in multi-fuel operation.
- The results will be verified during two years at the take over of the world biggest biofuelled power plant
- Dissemination of the results to promote advantages of multi-fuel technologies for power generation.

5. Exploitation of results

The EU area has wide opportunities to exploit modern multi-fuel technologies. The fuel reserves; coal, lignite and renewables, are suitable for power production with multi-fuel technology. However, to increase exploitation of the technologies in power production efforts to increase plant availability and power production efficiencies are highly needed. The benefits (low emissions, flexible utilization of different fuel sources, low capital and operational costs) of the technologies (fluidized bed combustion and gasification) have been noticed earlier by the industry but efforts to increase competitiveness in utility size power plants must still be addressed. The results of the project will be efficiently disseminated during the progress of the project.

Market potential for the proposed concept

The technology

- enables clean and flexible utilization of low grade coals and renewable fuels in power production with high power production efficiency ($\eta_e > 40\%$) and with low SO_2 ($< 100 \text{ mg/MJ}$) and NO_x ($< 50 \text{ mg/MJ}$) emissions
- increases utilization of renewable fuels as well as other local European fuels thus decreasing the dependency of energy import.

Possibilities to increase competitiveness by lowering power production costs:

- Capability to multi-fuel operation \Rightarrow low priced fuels like waste streams, wood residues can be utilized.
- Relatively small size CFB furnace reduces capital costs of the power plant. CFB technology enables high availability that reduces operational and maintenance costs.
- Significant decrease, from 25 to 40%, in sulfur reduction costs compared to current deSO_x application.
- Longer lifetime of the superheaters and higher boiler efficiency both decrease production costs.

The results will have a very wide exploitation potential. Power plant availability can be increased in the short and long term. In addition, the results can be exploited as follows:

- in design of new power plants
- to estimate and decrease corrosion risk, which also can be utilized in existing plants
- in development and choice of new superheater materials
- in evaluation of best available combustion technology for investment decisions of new power plants

- to develop new advanced methods and models for prediction of deposit formation and corrosion where information about behavior of fuel, sorbent and ash particles is required.

Publications and reports

The results obtained in the fundamental research areas will be disseminated through scientific publications and conferences. Particularly the results of development of the methods for advanced emission prediction and progress to estimate ash related problems will be thoroughly disseminated in public forums. Information on the previously mentioned topics will be widely exchanged between the partners.

Kaukoidän puupolttoaineiden laadunmääritys – PUUY25

Dan Asplund
Jyväskylän Teknologikeskus Oy
PL 27, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 4451 112, faksi (014) 4451 199
e-mail: dan.asplund@jsp.fi

1. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena on selvittää Kaukoidän puupolttoaineominaisuuksia, jotta voidaan arvioida niiden soveltuvuutta arina- ja leijukerrospoltoon. Projekti tukee suomalaisia yrityksiä niiden pyrkimyksissä Kauko-Idän markkinoille, jossa on suuri potentiaali bioenergiaa käyttäville kattilalaitoksille.

2. Projektin toteutus

Projekti koostuu polttoaineiden ominaisuuksien peruskartoituksesta sekä yksityiskohtaisemmista polttokokeista. Kaukoidästä toimitetaan erilaisia biopolttoaineita Suomeen. Polttoaineiden perusanalyysit tehdään VTT Prosessien toimipisteessä Jyväskylässä. Perusanalyysijä ovat kosteus-, tuhkapitoisuus, haihtuvien aineiden pitoisuus, lämpöarvot sekä polttoaineen elementaarianalyysi. Lisäksi määritetään tuhkan sulamisominaisuudet sekä tuhkan koostumus.

Projektissa on tähän mennessä tutkittu tapioca-kasvin sekä öljypalmun eri osien ominaisuuksia sekä maissin- ja riisintuotannon jätteitä. On tehty myös yleinen kirjallisuuskatsaus aasialaisten polttoaineiden ominaisuuksista.

Perusanalyysien perusteella valitaan polttoaineet, joilla tehdään arinapolttua ja leijukerrospolttua kuvaavat polttokokeet VTT Prosessien olemassa olevilla koelaitteilla.

Polttokokeet toteutetaan syksyn 2002 ja kevään 2003 aikana.

3. Projektin rahoitus

Tekes rahoittaa projektin kustannuksista 50 % ja Sermet Oy, Fortum Energy Solutions, Power Plant Engineering ja Jyväskylän teknologiakeskus Oy yhteensä 50 %.

IEA Bioenergia -yhteistyö

Kai Sipilä
VTT Prosessit
PL 1601, 02044 VTT
Puh. (09) 456 5440, faksi (09) 460 493
kai.sipila@vtt.fi

IEA:n Bioenergian yhteistyö (IEA Bioenergy Agreement) on tärkein kansainvälinen alan verkosto, johon kuulu kaksikymmentä eri maata. Se antaa Euroopan lisäksi myös erinomaiset kontaktit muillekin mantereille, mm. USA, Kanada, Brasilia, Australia ja Uusi-Seelanti. Ilmastomuutoksen torjunta ja Kioton kaudella bioenergian käytön voimakas lisäämistavoite on antanut viime vuosina huomattavasti lisämielenkiintoa yhteistyön tehostamiselle sekä yhteisten kansainvälisten näkökulmien luomiselle. Vaikka bioenergia on paikallinen ja ”kansallinen” polttoaine, kansainvälisellä yhteistyöllä on saatavissa merkittävä lisämomentti yhteisten ongelmien ja kehitystarpeiden ratkaisemisessa ja toteuttamisessa. Lisäksi Euroopassa päästökaupan aloittaminen luonee myös uusia liiketoimintakonsepteja ja bioenergiatuotteita kansainvälisille markkinoille.

Tärkeimpiä hyötyjä IEA:n yhteistyöstä ovat:

- tutkimus- ja kehitystoiminnan yhteistyöhankkeet ja tiedonsiirto
- tutustumiskäynnit eri maiden bioenergian käyttö- ja tuotantokohteisiin
- suomalaisen bioenergiaklusterin tunnettavuuden lisääminen
- yhteisten bioenergia-alan teemojen tunnistus, tutkimushankkeet ja ratkaisut. Kuten bioenergia ilmastokaasupäästöjen vähentäjänä
- bioenergia-alan tunnettavuuden ja imagon nosto, position paper -tiedotteet
- avaa uusia kansainvälisiä yhteistyömahdollisuuksia niin tutkijoille, yrityksille kuin viranomaisille.

Toiminta etenee kolmivuotiskausittain ja se on organisoitu Tekesin Puuenergiaohjelman piiriin. Nykyinen kausi kattaa vuodet 2001–2003. Osanottomaksut ovat noin 95 000 euroa vuodessa ja yhdeksään osatehtävään osallistuvien henkilöiden kustannukset rahoitetaan eri tutkimusprojektien budjettien kautta heijastellen yhteistyön laajuutta. Yhteistyön raportointi ja toteutus tapahtuukin tehokkaimmin näiden lukuisten eri tutkimusprojektien piirissä. Liitteenä on IEA:n bioenergiatoimintamme eri osaprojektien kontaktihenkilöt. Kaikki tärkeimmät bioenergia-alan toiminnat ovat edustettuina puupolttoaineiden korjuusta polttoon ja kaasutukseen, liikenteen biopolttoaineisiin, jätteiden energiakäyttöön sekä ympäristövaikutuksiin. Eräs IEA:n ohjelmaverkoston vahvuus onkin juuri koko laajan bioenergiakentän verkottaminen, jotta ymmärretään laajat ja vuorovaikutteiset eri tuotanto- ja käyttötapojen synergiamahdollisuudet.

Seuraava johtoryhmän kokous on lokakuun lopulla 2002 Helsingissä. Kaksipäiväisen kokouksen lisäksi noin kolmenkymmenen hengen kokousväelle järjestetään ekskursio metsätähteiden korjuukohteisiin ja niitä käyttäville voimalaitoksille. Johtoryhmä käsittelee nykyisen kolmivuotiskauden tuloksia eri osaprojekteista niiden vetäjien raportoinnin ja esitysten pohjalta. Lisäksi päätetään vuoden 2004 alusta alkavan kauden työohjelman linjaukset ja uusien projektien ja niiden koordinaattorien tarjous- ja kilpailuttamistavat. Tällä hetkellä Suomi koordinoi yhtä projektia kolmestatoista eri hankkeesta. IEA:n Bioenergy Agreementin johtoryhmän puitteissa on alettu laatia ns. position paper -tiedotteita osana sen strategista suunnitelmaa. Niistä ensimmäisinä ovat valmistumassa jätteiden energiakäyttöä, puuenergiaa osana kestäväää metsätaloutta sekä bioenergian merkitystä ilmastokaasujen vähentäjänä koskevat tiedotteet.

Edellinen johtoryhmän kokous pidettiin Wienissä 24.–25.4.2002, ja eksursiolla tutustuttiin biodieseltuotantoon sekä uuteen kaasutusmoottorivoimalaitokseen. Kokouksen tärkeimmät asiat on esitelty IEA Bioenergyn tiedotuslehdessä, parhaiten nähtävissä nettiosoitteesta www.ieabioenergy.com. Sitä voi lisäksi tilata paperiversiona suoraan ohjelman sihteeriöstöltä Uudesta-Seelannista, osoite on niin ikään ko. nettisivulla. Useamman kerran vuodessa julkaistavasta IEA Bioenergy News -tiedotteesta saa hyvän kuvan eri maissa tapahtuvasta kehitystoiminnasta, tärkeimmistä ilmestyneistä raporteista sekä tulevista kongresseista ja tapahtumista. Meidän suomalaisten tulisi olla huomattavasti aktiivisempia myös välittämään omia tuloksiamme ja tapahtumiamme IEA:n verkostolle. Siinä

kansallisten projektien ja johtoryhmän edustajat auttavat mielellään niin eri tutkijoita kuin yritysten edustajia.

Tällä hetkellä ohjelman johtoryhmän puheenjohtajana on Dr. Kyriakos Maniatis EU:n komissiosta, Suomen edustajana toimii Kai Sipilä VTT:stä ja varamiehenä Marjatta Aarniala Tekesistä.

IEA ja EU:n tutkimusohjelmien välinen yhteistyö etenee suomattomasti ja tehokkaasti verkottuen. IEA:n projektien pääperiaatteena on tiedonvaihto, jolloin projektien budjetit kattavat vain tiedonvaihdosta ja yhteistyökokouksista koostuvat kustannukset. Useinkaan projektit eivät sisällä isoja koehankkeita, joita rahoitettaisiin yhteisesti eri maiden toimesta. IEA:n kautta saadut kontaktit ovat luoneet erinomaisen pohjan EU:n tutkimusohjelmissa toteuttaa yhteiset koetointi- ja kehityshankkeet niiden tutkimus- ja yritystahojen kesken, jotka haluavat panostaa pienemmällä avainryhmällä fokusoituun kehityshankkeeseen. Tämä on hyväksi todettu yhteistyömalli, etenkin kun uudessa EU:n kuudennessa puiteohjelmassa v. 2003 myös mm. USA, Kanada, Kiina jne. voivat olla yhteistyötahoina mukana. Koska USA:lla on kahdenvälinen bioenergian yhteistyösopimus sekä Suomen että EU:n komission kanssa, ovat erityisesti leijupolton ja liikenteen biopoltonesteiden yhteistyömahdollisuudet olleet aika-ajoin yhteisneuvottelujen aiheina. Jos EU:ssa hyväksytään valmisteilla oleva liikenteen biopoltonesteitä koskeva direktiivi lähiaikoina, nousee puupohjaisten bensiini- ja dieseltuotteiden kehitystoiminta erääksi painopistealueeksi.

Miten voisimme kehittää IEA:n yhteistyötämme? Tässä on selkeästi kaksi suuntaa, niin tiedottaa paremmin Suomessa IEA:n verkoston toiminnasta ja tapahtumista sekä toisaalta viestittää suomalaisista projekteista, tapahtumista ja uusista tuotteista IEA:n verkoston kautta kansainvälisille markkinoille ja lisätä bioenergiaklusterimme tunnettavuutta. Puuenergiaohjelman vuosiseminaari osana Tekesin teknologiaohjelmakokonaisuutta onkin tehokkainta tiedottamista ja uusien ideoiden ja ajatusten luomista tähänkin toimintaan.

Liite A

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 Bio-energy 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 Bio-energy Systems</i>	Suomi ei osallistu

IEA Bioenergy Task 31: Conventional Forestry Systems for Sustainable Production of Bioenergy

Antti Asikainen
Metsäntutkimuslaitos
PL 68, 80101 Joensuu
Puh. (013) 251 4042
e-mail: antti.asikainen@metla.fi

Task 31:n tavoitteena on koostaa ja siirtää keskeistä bioenergiatietämystä alan toimijoille ja väittää informaatiota uusista teknisistä innovaatioista bioenergian hankintaan ja käyttöön liittyen. Hanke keskittyy bioenergian tuottamiseen tavanomaisen metsätalouden yhteydessä. Hankkeeseen osallistuvat maat ovat Australia, Belgia, Kanada, Tanska, Suomi, Hollanti, Uusi-Seelanti, Norja, Ruotsi, Iso-Britannia ja USA.

Task 31 on julkaissut Kluverin kustantamana kirjan ”Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practises”. Teos kattaa mm. metsäenergian tuotannon biologiset perusteet ja ympäristövaikutukset, korjuuteknologian ja hankintalogistiikan, materiaalin varastoinnin ja laatuksymykset sekä tuotantoon ja käyttöön liittyvät kustannustekijät. Kirja soveltuu niin oppikirjaksi kuin perustietopaketiiksi metsäenergiasta alan ammattilaisille ja asiantuntijoille. Task 31:ssä valmistellaan myös internetpalvelua, jonka kautta eri intressiryhmille välitetään tietoa sekä Taskin tapahtumista että bioenergian tuotantoon ja käyttöön liittyvistä teknis-taloudellisista ja ekologisista kysymyksistä. Syyskuussa 2001 järjestettiin Hollannissa seminaari otsikolla ”Principles and practise of forestry and bioenergy in densely populated regions”. Syksyn 2002 seminaari järjestetään Brasiliassa yhteistyössä Task 30:n kanssa ja sen otsikko on ”Sustainable Bioenergy Production Systems: Environmental, Operational and Social Implications”

Suomen kannalta keskeinen hyöty on meillä kehitettyjen bioenergiateknologioiden tekeminen tunnetuksi osallistujamaissa. Taskin seminaareissa ja niiden

yhteydessä järjestetyillä teollisuuspäivillä ovat olleet edustettuina maidensa johtavat bioenergia-asiantuntijat. Tätä kautta suomalainen teknologia ja käytännöt ovat tulleet heille tutuiksi, mikä aikanaan konkretisoituu kone- ja laitetilauksina sekä konsulttitoimeksiantoina.

IEA Bioenergy Task 32: Biomass Combustion and Cofiring

Heikki Oravainen
VTT Prosessit
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (014) 672 532 tai 0400-619263
Faksi (014) 672 597
e-mail: heikki.oravainen@vtt.fi

1. Introduction

Worldwide, combustion already provides over 90% of the energy generated from biomass. The main benefits of combustion compared to other thermochemical conversion technologies (i.e. gasification, pyrolysis, liquefaction) is that combustion technologies are commercially available and can be integrated with existing infrastructure.

For further implementation of biomass combustion, combustion technology should nevertheless be optimised to keep it competitive as gasification and pyrolysis develop. Co-firing biomass with coal in traditional coal-fired boilers (subsequently referred to as co-firing) represents one combination of renewable and fossil energy utilisation that derives the greatest benefit from both fuel types. An overview of the most important issues that should be considered is provided here.

Within the IEA Bioenergy agreement, Task 32: Biomass Combustion and Co-firing works on further expansion of the use of biomass combustion for heat and power generation, with special emphasis on small and medium scale CHP plants and co-firing biomass with coal in traditional coal-fired boilers. This is done by generating and disseminating information on technical and on non-technical barriers and anticipated solutions. Task 32 is a continuation of Task 19 and runs for the period 2001–2003.

2. Objectives

Significant factors in Task 32 are industrial participation, the interaction between IEA activities and the interaction with the European Union. Enhancement of the industrial participation can be realised by formulating joint projects between participating members and industry.

The emphasis of the activities in the Task is therefore on

1. Market introduction for expanding the use of Biomass Combustion at a short term
2. Optimisation of biomass combustion technology to remain competitive at a longer term.

Task 32 is closely related to other IEA Bioenergy activities, especially to activities in the field of Biomass Gasification and Techno-economic Analysis.

3. Operating Agent / Task Leader

The Operating Agent for the Task is the Netherlands agency for energy and the environment (NOVEM), represented by Kees Kwant.

The Task Leader for the Task is the TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation (TNO-MEP), represented by Sjaak van Loo.

4. Participation

The country participation includes European Commission, Australia, Austria, Belgium, Brazil, Canada, Denmark, Finland, Netherlands, Norway, New Zealand, Sweden, Switzerland, United Kingdom and USA.

5. Publications

All following publications can be downloaded from the www-site of TASK 32:
<http://www.ieabioenergy-task32.com/>

Co-combustion

- Addressing the constraints for successful replication of demonstrated technologies for co-combustion of biomass/waste, brochure, 2000.
- Addressing the constraints for successful replication of demonstrated technologies for co-combustion of biomass/waste, report of the final seminar, 2000.

Modelling

- Workshop on biomass combustion modelling in Sevilla, June 2000.
- Questionnaires on bioenergy modelling activities from different.
- FUELSIM model for the calculation of combustion conditions for a given fuel.

Ash Utilization

- Exploratory investigation into the possibilities of processing ash produced in the combustion of reject wood.
- Database on biomass fuel and ash Composition.

Overviews

- Handbook on biomass combustion and cofiring.
- Brochure on biomass combustion and cofiring.

Aerosol emissions

Papers from the IEA seminar "Aerosol emissions from biomass combustion", 27 June 2001.

Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing

This book has been written as a collaborative effort of all task members.

Task member of Finland has been responsible of the chapter 4 – Domestic Wood Burning Appliances. Editors of the book are Sjaak van Loo and Jaap Koppejan from the Netherlands (task coordinators).

Orders can be made through [www-site](#).

Published 2002, hard cover, 352 pages

ISBN 9036517737

Price €44.00 excl postage

Table of Contents

1 Introduction

2 Basic Principles of Biomass Combustion

3 Biomass Fuel Supply and Pre-Treatment

4 Domestic Wood Burning Appliances

5 Industrial Combustion

6 Power Generation and Co-Generation

7 Co-Combustion

8 Environmental Aspects of Biomass Combustion

9 Research and Development – Needs and Ongoing Activities.

All this information has been copied from the [www-site](#) of TASK 32
<http://www.ieabioenergy-task32.com/>.

IEA Bioenergy Task 34: PyNe

Country representative: Anja Oasmaa
VTT Processes
P.O.Box 1601, 02044VTT
Tel. +358 9 456 5594, fax +358 9 460 493
e-mail: Anja.Oasmaa@vtt.fi

Summary

The Pyrolysis Task continues the activities of the former Task but with a more significant focus on implementation and the market opportunities. The objectives are to review the field of fast pyrolysis of biomass and related wastes in order to identify impediments to more rapid and wider spread implementation of the technology. This will include both technical and non-technical barriers.

The scope of the Task will be production and utilisation of liquid fuels for heat and power and chemicals. Charcoal is also included. In order to meet these objectives every effort will be made to actively involve industry and decision makers in the Task.

The programme of work will be based on traditional approach of IEA Bioenergy with a well defined technical and non-technical work programme which is delegated to small groups of members to contribute. Regular meetings will provide the opportunity to review progress and targets. Special reports will be commissioned from experts in identified areas to meet the major areas of providing information need. Information dissemination will be through the biannual PyNe newsletter, which has a circulation of 3000, and the PyNe website (www.pyne.co.uk).

The Task is managed by Tony Bridgwater who has operated both the IEA Bioenergy Task since 1995 and a parallel EC Network since 1995 and these have been integrated since 1998. Within EU the Task is structured as ThermoNet shown in Figure 1. There are five PyNe topics, three GasNet topics and three joint topics each with its own Topic Leader who form the next tier of the structure.

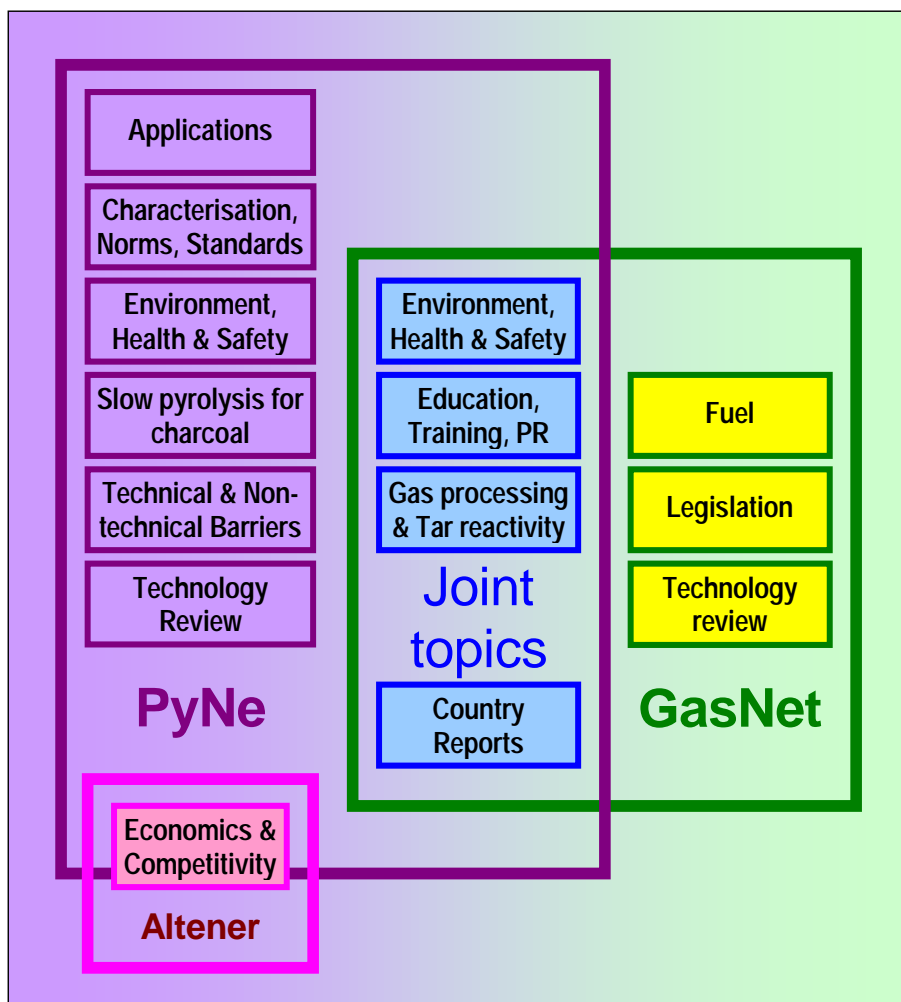


Figure 1. ThermoNet Topics Structure.

IEA Bioenergy Task 35: Techno-Economic Assessments for Bioenergy Applications

Yrjö Solantausta
VTT Processes
P.O.Box 1601, FIN-02044 VTT
Tel. +358 9 456 5517, fax +358 9 460 493
e-mail: yrjo.solantausta@vtt.fi

The objective of the work is to evaluate the most economic options in transferring biomass from its source locations to users at the regional, intra-continental and intercontinental locations.

Four distinct stages may be distinguished in the work:

- resource supply
- local conversion
- long distance logistics
- final conversion and end use.

Different stages are shown schematically in Figure 1. Initially at least following biomass resources are considered:

- woody biomasses (including forest industry by-products, forest residues, and other wood fuels)
- agricultural by-products (straw, bagasse, and other volume products)
- Specifically grown biomass (short rotation forestry, grasses).

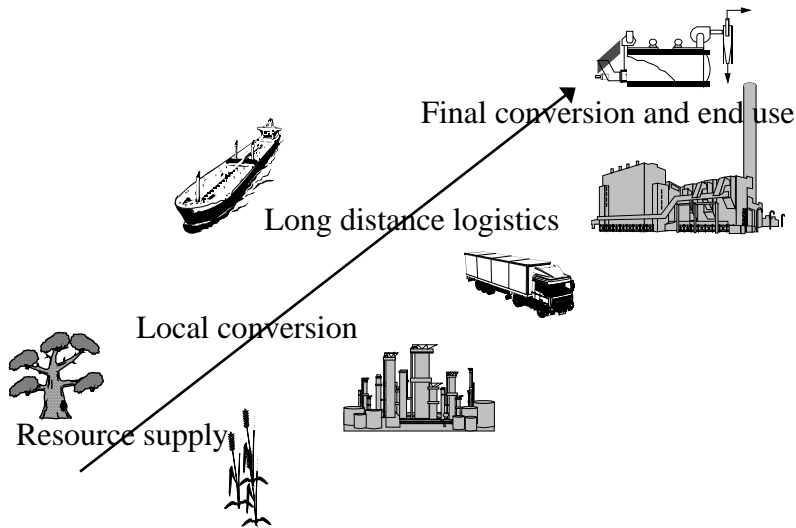


Figure 1. Elements in assessing biofuel trade.

Solid biomasses may be transported as such, but converted biomasses will also be considered for long distance transport. Therefore local conversion will be considered. Conversion processes include for example:

- drying (also included with most of the other conversion routes)
- pellet production
- liquid biofuels (including ethanol, methanol, Fischer-Tropsch liquids, and bio-oils).

Long distance transport will be taken into account in addition to the transportation needed at resources sites. The long distance transport alternatives considered are road, rail, and water.

Resources or converted products will be transported either to final conversion, or directly to end use site. An example of using resources directly at a remote user site would be using wood chips at a power plant after chip transport. An example of using converted products would be converting wood to pellets close to resource site, and transporting pellets to a remote power plant.

All the conversion processes considered above in local conversion are included in final conversion (close to user site). Final uses for biomass are as heat and/or power plant fuel, or as transportation fuel.

The Task working group will analyse and collect data for the above assessment. Criteria used in the analysis are a low overall end product production cost (€/GJ), low CO₂-emissions, and a high overall efficiency. Based on the results, costs for reducing CO₂-emissions may be evaluated.

IEA Bioenergy Task 38: Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems

Kim Pingoud
VTT Prosessit
PL 1606, 02044 VTT
Puh. (09) 456 5074, faksi (09) 456 6538
e-mail: kim.pingoud@vtt.fi

Task 38:n tavoitteena on kehittää laskentamalleja sekä muita työkaluja ja apuvälineitä bioenergian kasvihuonevaikutusten arviointiin. Yksi kasvihuonekaasutukseen osatekijä on bioenergian tapauksessa myös itse hyödynnettävän biomassan hiilitase. Task 38 perustuu sitä edeltäneeseen Task 25:een, jossa keskityttiin metodologian ja teorian kehittämiseen. Task 38 on tavoitteiltaan lähempänä käytäntöä. Tavoitteena on kehitetyn metodologian soveltaminen konkreettisiin käytännön projekteihin ja ohjelmiin, joiden tavoitteena on kasvihuonevaikutusten vähentäminen. Tärkeäksi sovellusalueeksi on Kioton ilmastopimuksen myötä tullut laskentasääntöjen kehittäminen ja käytännön soveltaminen, joilla voidaan arvioida yksittäisten metsittämiseen ja biomassan hyödyntämiseen liittyvien hankkeiden kasvihuonevaikutuksia. Näitä hankkeita synnyttävät mm. Kioton sopimukseen liittyvät Puhtaan kehityksen mekanismi (CDM) sekä Yhteistoteutus (JI). Task 38:n verkostoon kuuluvat tutkijat osallistuvat aktiivisesti Hallitustenvälisen Ilmastopaneelin (IPCC) erilaisten asiantuntijaryhmien työhön, jossa kehitetään raportointi- ja laskentasääntöjä energia- sekä metsäsektoreille sekä toimivat asiantuntijoina ilmastopimusneuvotteluissa. Uudeksi haasteelliseksi ongelmaksi on muodostumassa Kioton sopimuksen nieluja koskevien päätösten käytännön soveltaminen, joka koskee mm. laskenta- ja arviointimenetelmien epävarmuuksia, ei-toivottuja kannustevaikutuksia ja porsaanreikiä, jotka toimivat vastoin sopimuksen tavoitteita.

Sovellettavan metodologian perusajatuksena on suorittaa vertailulaskelma uuden, bionergiaa hyödyntävän energiajärjestelmän ja fossiilisia polttoaineita käyttävän vanhan ja mahdollisesti korvattavan järjestelmän välillä. Näiden jär-

jestelmien kasvihuonevaikutusten erotus kuvaa saavutettavia hyötyjä. Taseet on laskettava järjestelmien koko elinkaaren yli, koska biomassan kasvuun ja hiilen sitomiseen liittyvä dynamiikka on otettava huomioon. Hankkeessa tehdään konkreettisia tapaustarkasteluita, jotka koskevat paitsi bioenergiajärjestelmiä myös muiden materiaalien korvaamista biomassaperäisillä tuotteilla. Jälkimmäisessä tapauksessa voidaan saavuttaa merkittäviä välillisiä kasvihuonekaasujen päästönvähennyksiä: puuperäisen tuotteen valmistaminen vaatii useimmiten vähemmän energiapanoksia ja siitä aiheutuu alhaisempia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä kuin korvattavan materiaalin kuten teräksen tai betonin valmistus. Lisäksi bioenergiaa voidaan paremmin hyödyntää puutuotteiden valmistusproses- sissa. Tavoitteena on myös verrata erilaisia biomassaan ja bioenergian käyttöön perustuvia päästönvähennysstrategioita ja etsiä ongelmalle kustannustehokkaita ratkaisuja.

Task 38:aa koordinoi Itävalta. Muut osanottajamaat ovat tällä hetkellä Alanko- maat, Australia, Britannia, Kanada, Kroatia, Norja, Ruotsi, Suomi, Tanska, Uusi-Seelanti ja Yhdysvallat.

Julkaisija



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Julkaisun sarja, numero ja
raporttikoodi

VTT Symposium 221
VTT-SYMP-221

Tekijä(t) Alakangas, Eija (toim.)			
Nimeke Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002			
Tiivistelmä Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on luoda teknis-taloudelliset edellytykset metsähakkeen käytön viisinkertaistamiseksi vuoteen 2003 mennessä eli lisätä käyttöä 2,5 miljoonaan m ³ :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 puupolttoaineitten laatua. Vuonna 2001 metsähakkeen käyttö oli 1,3 miljoonaa m ³ , mikä on noin puolet ohjelman tavoitteesta. Tekes on siis keskittänyt puuenergian kehitystoiminnan Puuenergian teknologiaohjelmaan, jonka kokonaisbudjetin arvio vuosille 1999–2003 on 42 M € Vuoden 2002 heinäkuun loppuun alkuun mennessä oli käynnistynyt 35 tutkimuslaitos-, 35 yritys- ja 15 demonstraatiohanketta. Niiden kokonaislaajuus on 27,6 M € Tässä ohjelman kolmannessa vuosikirjassa esitellään 35 käynnissä olevan projektin tuloksia vuosilta 2001–2002. Kirjan lopussa on myös katsaukset IEA:n bioenergiatoimintaan.			
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			
Toimintayksikö VTT Prosessit, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ			
ISBN 951-38-5732-8 (nid.) 951-38-5733-6 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number C2SU00002	
Julkaisu-aika Syyskuu 2002	Kieli Suomi, englanti	Sivuja 428 s.	Hinta I
Projektin nimi Puuenergian teknologiaohjelma		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus Tekes	
Avainnimeke ja ISSN VTT Symposium 0357-9387 (soft back ed.) 1455-0873 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 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 221
VTT-SYMP-221

Author(s) Alakangas, Eija (toim.)			
Title The Yearbook 2002 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 July 2002, the Programme consisted of 35 research institute projects, 35 industrial projects and 15 demonstration projects. The total expenditure for these 70 research and development projects will be 27.6 M€</p> <p>The Programme also participates in international co-operation such as the ALTENER Bioenergy Network-EUBIONET, OPET network (Organization Promoting for Energy Technologies) of EU, and the IEA Bioenergy Agreement.</p> <p>This third yearbook presents the results of 35 ongoing projects and it is published in the year-seminar arranged on 18th–19th September in 2002, in Joensuu, Finland.</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 Processes, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ			
ISBN 951-38-5732-8 (soft back ed.) 951-38-5733-6 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number C2SU00002	
Date September 2002	Language Finnish, English	Pages 428 p.	Price I
Name of project The Finnish Wood Energy Technology Programme		Commissioned by 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	

Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on luoda teknis-taloudelliset edellytykset metsähakkeen käytön viisinkertaistamiseksi vuoteen 2003 mennessä eli lisätä käyttö 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 puupolttoaineitten laatua. Vuonna 2001 metsähakkeen käyttö oli 1,3 miljoonaa m³.

Vuoden 2002 heinäkuun loppuun mennessä ohjelmassa oli käynnistynyt 35 tutkimushanketta, 35 yritysten tuotekehityshanketta ja 15 demonstraatiohanketta. Niiden kokonaislaajuus on 27,6 miljoonaa euroa. Tässä ohjelman kolmannessa vuosikirjassa esitellään 35 käynnissä olevan projektin tuloksia vuosilta 2001–2002. Vuosikirja julkistettiin ohjelman vuosiseminaarissa 18.–19. syyskuuta 2002 Joensuussa.

Tätä julkaisua myy
VTT TIETOPALVELU
PL 2000
02044 VTT
Puh. (09) 456 4404
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av
VTT INFORMATIONSTJÄNST
PB 2000
02044 VTT
Tel. (09) 456 4404
Fax (09) 456 4374

This publication is available from
VTT INFORMATION SERVICE
P.O. Box 2000
FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 456 4404
Fax +358 9 456 4374
